

На правах рукописи



Воробьев Евгений Александрович

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОССТАНОВЛЕНИЯ
КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ
ПЛАЗМЕННО-ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКОЙ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Орел – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Юго-Западный государственный университет» на кафедре автомобилей, транспортных систем и процессов

- Научный руководитель:** **Агеев Евгений Викторович**
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», профессор кафедры автомобилей, транспортных систем и процессов.
- Официальные оппоненты:** **Лялякин Валентин Павлович**
заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», ведущий научный сотрудник, г. Москва;
- Колмыков Денис Валерьевич**
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Курский государственный университет», доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и сервиса транспортных средств, г. Курск.
- Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», г. Воронеж.

Защита диссертации состоится « » июля 2017 г. в __:00 часов на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.111.03 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на базе ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» по адресу: **302030, г. Орел, ул. Московская, д.77.**

С диссертацией можно ознакомиться на официальном сайте (www.oreluniver.ru) ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» и в фундаментальной библиотеке и по адресу: 302028, г. Орел, пл. Каменская, д 1.

Автореферат разослан «26» мая 2017 г. Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» (www.oreluniver.ru) и на официальном сайте Министерства образования и науки Российской Федерации (vak.ed.gov.ru).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации направлять в диссертационный совет по адресу: 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95. Телефон для справок +79155080508. E-mail: katunin57@gmail.com.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 999.111.03



Катунин А.А.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Затраты на обеспечение работоспособности автомобилей за весь срок службы в несколько раз превышают затраты на их изготовление. Значительная доля затрат и простоев в ремонте приходится на двигатель (до 30%), в том числе на кривошипно-шатунный механизм (до 25%).

В процессе эксплуатации автомобилей происходит изменение их технического состояния, основными причинами которого являются изнашивание, усталостное разрушение, пластическая деформация, коррозия. Пластическая деформация и усталостное разрушение являются следствием конструктивно-технологических недоработок или нарушения правил эксплуатации. Указанные явления приводят к выходу коленчатого вала из строя, а также к задиру шеек коленчатого вала из-за проворачивания вкладышей, разлому коленчатого вала, что является одной из основных причин ремонта семейства двигателей КамАЗ-740.

Основа повышения качества – применение передовых технологий восстановления деталей. При восстановлении коленчатых валов двигателей возникает необходимость изыскания новых, более прогрессивных способов восстановления, которые смогли бы повысить ресурс деталей при сравнительно низких затратах.

Степень ее разработанности.

Выбором рациональных методов восстановления деталей начали заниматься с появлением промышленных видов ремонта. Значительный вклад в решение этих вопросов внесли ведущие специалисты в области ремонта, такие как: Батищев А.Н., Бурумкулов Ф.Х., Голубев И.Г., Денисов В.А., Дехтеринский Л.В., Дюмин И.Е., Иванов В.И., Казарцев В.И., Карагодин В.И., Колмыков В.И., Коломейченко А.В., Ли Р.И., Лялякин В.П., Латыпов Р.А., Молодык Н.В., Новиков А.Н., Сенин П.В., Серебровский В.И., Слинко Д.Б., Соловьев С.А., Шадричев В.А., Червоиванов В.И., Ульман И.Е. и другие.

Изложенное выше подтверждает, что тема диссертационного исследования является актуальной и направлена на решение научно-практической задачи, имеющей важное народно-хозяйственное значение.

Цель работы. Совершенствование технологии восстановления коленчатых валов двигателей автомобилей плазменно-порошковой наплавкой (ППН) электроэрозионных материалов.

В соответствии с поставленной целью необходимо решить следующие задачи:

1. Провести обзор дефектов коленчатых валов автомобилей, а также анализ методов их восстановления.

2. Выполнить анализ материалов, используемых для ППН деталей, и технологических особенностей получения материалов электроэрозионным диспергированием.

3. Теоретически обосновать возможность обеспечения эксплуатационных свойств восстановленных коленчатых валов автомобилей.

4. Провести экспериментальные исследования износостойкости, коэффициента трения, шероховатости, микроструктуры, микротвердости плазменных покрытий восстановленных коленчатых валов, влияющих на его ресурс.

5. Разработать технологию восстановления коленчатого вала электроэрозионными материалами.

6. Провести производственные и эксплуатационные испытания коленчатого вала, восстановленного по разработанной технологии.

7. Выполнить технико-экономическое обоснование внедрения разработанной технологии.

Объект исследования – коленчатые валы двигателей автомобилей, подлежащие восстановлению.

Предмет исследования – технология восстановления изношенных коленчатых валов плазменно-порошковой наплавкой с использованием электроэрозионных материалов.

Научная новизна работы состоит:

– в научном обосновании применения эффективной технологии для восстановления изношенных деталей автомобилей путем применения новых плазменных покрытий на основе электроэрозионных материалов;

– в установлении зависимости влияния свойств электроэрозионных материалов на свойства плазменных покрытий восстановленных деталей автомобилей, позволяющей обеспечить необходимое качество поверхности;

– в установлении взаимосвязей характеристик плазменных покрытий и эксплуатационных свойств восстановленных коленчатых валов, в частности ресурса, усталостной прочностью, износостойкостью.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в исследовании и разработке технологий:

– получения металлического порошка быстрорежущей стали электроэрозионным диспергированием в керосине (патент РФ № 2590045), пригодного для плазменно-порошковой наплавки (ППН) изношенных шеек коленчатых валов;

– восстановления и упрочнения изношенных шеек коленчатых валов двигателей автомобилей ППН с использованием электроэрозионных материалов, обеспечивающих этим деталям высокие эксплуатационные свойства, в том числе высокую износостойкость в условиях абразивного изнашивания. Разработанная технология отличается технологической гибкостью, дешевизной, простотой, не требует использования дорогих и дефицитных материалов и оборудования, а также отвечает требованиям экологической безопасности. Предлагаемая технология может быть использована для восстановления широкой номенклатуры деталей автомобилей, тракторов и других машин.

Результаты исследований внедрены в учебный процесс при чтении лекций, выполнении лабораторных работ, курсовых и выпускных

квалификационных работ со студентами и аспирантами в ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» г. Курск.

Методология и методы исследования. Исследование выполнено путем формирования новых подходов и научной аргументации предложений на основе трудов отечественных и зарубежных ученых в области восстановления изношенных деталей автомобилей. Решение поставленных задач проводилось с использованием современного оборудования по соответствующим методикам испытаний и исследований с использованием методов математической статистики, математического моделирования, молекулярно-механической теории трения.

Положения, выносимые на защиту

1. Технология восстановления коленчатых валов с изношенными шейками.

2. Совокупность результатов экспериментальных исследований влияния свойств электроэрозионных материалов, полученных из отходов быстрорежущих сталей методом электроэрозионного диспергирования, на качество восстановленных коленчатых валов и триботехнические свойства плазменных покрытий на коленвалах.

3. Технологические решения, позволяющие получать износостойкие покрытия на коленчатых валах автомобилей, требующих ремонта, путем применения плазменных покрытий на основе электроэрозионных материалов, обеспечивающих эксплуатационные свойства.

Степень достоверности полученных результатов. Обоснованность и достоверность научных положений и выводов, выносимых на защиту, обеспечиваются принятой методологией исследования, включающей в себя современные научные методы, апробацией при обсуждении результатов диссертации на международных научно-технических конференциях, а также оценкой погрешности эксперимента статистическими методами и успешной реализации разработанной технологии в производстве.

Это позволило обеспечить репрезентативность, доказательность и обоснованность разработанных положений и полученных результатов. Достоверность теоретических положений и выводов диссертации подтверждена положительными результатами при внедрении в практическую деятельность, отмеченных в подразделе «Реализация результатов работы».

Реализация результатов работы. Разработанные технологии и оборудование апробированы и внедрены в ООО АТП «РосАвтоТранс» г. Курск.

Материалы исследований внедрены в учебный процесс при чтении лекций, выполнении лабораторных работ, курсовых и выпускных квалификационных работ со студентами и аспирантами в ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет».

Апробация и реализация результатов работы. Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на Международных научных, научно-практических и научно-технических конференциях: «Динамика современной науки» (София, 2013); «Новейшие достижения европейской

науки» (София, 2013); «Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент» (Тамбов, 2013); «Перспективное развитие науки, техники и технологии» (Курск, 2013); «Современные автомобильные материалы и технологии» (Курск, 2013); «Поколение будущего: взгляд молодых ученых» (Курск, 2013); «Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации» (Курск, 2014); «Агропромышленный комплекс: контуры будущего» (Курск, 2014); «Современные автомобильные материалы и технологии» (Курск, 2014); «Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации» (Курск, 2015); «Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования» (Воронеж, 2015); «Перспективные технологии, оборудование и аналитические системы для материаловедения и наноматериалов» (Усть-Каменогорск, 2015) и др.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности. Выполненные исследования отвечают формуле паспорта научной специальности 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» по пункту 16 «Совершенствование методов восстановления деталей, агрегатов и управление авторемонтным производством».

Личный вклад автора заключается в постановке и решении актуальной и важной научно-производственной задачи, на основе разработанных: концепции исследования, идей и целей диссертационной работы; теоретико-методологических и научно-методических положений для решения всех элементов научной новизны; совершенствовании методов восстановления изношенных деталей, применении новых плазменных покрытий на основе электроэрозионных материалов. Автором лично выполнен весь объем экспериментальных исследований, проведены необходимые расчеты, обработка результатов и их анализ, выбран комплекс методик для аттестации порошков и изделий из порошковой быстрорежущей стали (ПБРС) и плазменных покрытий. Автор принимал непосредственное участие в разработке методики проведения эксперимента.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 28 печатных работ, в том числе 9 в ведущих изданиях из перечня рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложения. Общий объем работы составляет 160 страниц, в том числе 21 таблиц, 30 рисунков, 4 страницы приложений. Список литературы включает в себя 110 источников.

2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность решаемой проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, изложена научная новизна и

практическая значимость работы, а также приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Анализ состояния вопроса, цель и задачи исследований» выполнен анализ дефектов и методов восстановления коленчатых валов автомобилей. Представлены материалы, используемые для плазменно-порошковой наплавки деталей и технологические особенности получения материалов электроэрозионным диспергированием.

Анализ дефектов коленчатых валов двигателей КамАЗ-740 представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Анализ дефектов коленчатых валов

Отмечено, что средняя величина отклонения от номинального диаметра в зоне наибольшего износа (при нормальном износе) коренных шеек составляет 0,027 мм, а шатунных 0,029 м. Биение средней шейки для нормально изношенных валов находится в пределах от 0,02 мм до 0,17 мм, при этом средняя величина биения составляет 0,054 мм, а для аварийного износа в пределах от 0,040 мм до 0,730 мм, при средней величине биения - 0,227 мм.

Оценка методов восстановления показала, что одним из перспективных методов восстановления коленчатых валов является плазменно-порошковая наплавка.

Также проведен анализ материалов, используемых для плазменной наплавки деталей. Установлено, что содержание наноразмерных частиц в наплавочном материале, а также его сферическая форма способствует улучшению физико-механических свойств восстановительных покрытий. Проведена оценка возможности применения метода электроэрозионного диспергирования для получения частиц, содержащих наноразмерную фракцию.

Во второй главе рассмотрены теоретические основы повышения качества восстановленных коленчатых валов автомобилей, а также

теоретические основы улучшения триботехнических свойств восстановленных сопряжений.

Причина изнашивания сопряженных деталей – работа сил трения. Под действием этих сил происходит многократное деформирование участков контактной поверхности, их упрочнение и разупрочнение, выделение теплоты, изменение структуры, развитие процессов усталости, окисления и др.

Сила трения, так же как и другая важная фрикционная характеристика – коэффициент трения f , по определению равен отношению силы трения к нормальной нагрузке N :

$$f = F/N.$$

Трение деталей, даже при наилучших условиях смазки, вызывает их изнашивание, которое проявляется в нарушении поверхностного слоя. Скорость изнашивания коленчатых валов с достаточной точностью можно представить в виде:

$$V \frac{dS}{dt} = C + KS,$$

где V – скорость изнашивания сопряжения (мкм/час)

S – зазор в сопряжении (мм);

t – наработка сопряжения (часы, км и т. д.);

C, K – постоянные для данного сопряжения.

Качество поверхностного слоя может быть повышено в результате применения как обычных методов при определенных режимах, так и специальных (упрочняющих) методов обработки.

Применение методов упрочняющей технологии повышает долговечность машин, сокращает потребность в материалах, позволяет уменьшить габаритные размеры и массу деталей вследствие повышения допускаемых напряжений, а также снижает расходы на изготовление и эксплуатацию машин.

Повышение твердости направлено на то, чтобы затруднить пластическую деформацию и исключить микрорезание поверхностей трения, обеспечив по возможности упругое деформирование участков контакта.

При восстановлении изношенных деталей необходимо обеспечить требуемые жесткость, прочность и износостойкость. В этом отношении большую роль играют глубина проплавления основного металла, величина зоны термического влияния, структура наплавленного слоя и качество его поверхности и др.

Количество теплоты в калориях, введенное в единицу времени в металл детали (эффективная тепловая мощность дуги), может быть определено по уравнению:

$$Q_{эф} = Q\eta = 0,24IU_d\eta,$$

где $Q_{эф}$ – эффективная тепловая мощность дуги, кал/с;

Q – полная тепловая мощность дуги, кал/с;

0,24 – коэффициент перевода электрических величин в тепловые, кал/Вт*с;

I – сила тока дуги, А;

U_d – напряжение дуги, В;

η – эффективный к.п.д. процесса нагрева, равный отношению $\eta = \frac{Q_{эф}}{Q}$.

В данной работе особое внимание уделено плазменной наплавке порошкового материала. От режима наплавки в большой мере зависит глубина проплавления и зона термического влияния, а от температуры детали и режимов наплавки – скорость охлаждения наплавленного металла, т.е. основные показатели, определяющие прочность и износостойкость детали и ее долговечность в эксплуатации. Отсюда ясно, насколько важно соблюдать режимы наплавки в процессе восстановления деталей.

Определение оптимальных параметров процесса наплавки и размера частиц наплавочного материала проводили постановкой полного факторного эксперимента по значению твердости полученного покрытия.

Нашли коэффициенты модели:

$$\begin{aligned} b_0 &= \sum y_i / N, \\ b_i &= \sum x_{ij} y_i / N, \\ b_0 &= 51,5; b_1 = 0,7; b_2 = 0,4; b_3 = 2,4. \end{aligned}$$

Получили модель в виде полинома первой степени:

$$Y = 51,5 + 0,7X_1 + 0,4X_2 + 2,4X_3.$$

Согласно полученной модели параметр оптимизации возрастает с увеличением значений факторов X_1 , X_2 и X_3 . Причем наибольшее влияние оказывает параметр X_3 , т.е. сила тока, подающаяся на деталь.

Отмечено, что электроэрозионные материалы и технология ППН восстанавливаемых соединений могут улучшить триботехнические характеристики узла, а именно снизить коэффициент трения, уменьшить шероховатость, увеличить микротвердость.

В третьей главе «Методики экспериментальных исследований» представлены: оборудование, используемое при выполнении исследований; методы исследования электроэрозионных порошков, используемых при восстановлении и упрочнении изношенных деталей автомобилей; методы исследования спеченных образцов; объект реновации; методы исследования покрытий, полученных ППН на коленвалах; методика проведения эксплуатационных испытаний; оценка достоверности при проведении эксплуатационных испытаний.

Для выполнения намеченных исследований в качестве исходного

материала был выбран инструмент из быстрорежущей стали Р6М5 (сверла, метчики, плашки). В качестве рабочей жидкости – керосин осветительный.

За объект восстановления был выбран коленчатый вал двигателя КамАЗ-740. При решении поставленных задач использовались современные методы испытаний и исследований, в том числе: материал для ППН получали методом электроэрозионного диспергирования на установке для получения электроэрозионных порошков из токопроводящих материалов (Патент РФ № 2449859); гранулометрический состав определяли на лазерном анализаторе размеров частиц «Analysette 22 NanoТес»; рентгеноспектральный микроанализ порошкового материала определяли с помощью энергодисперсионного анализатора рентгеновского излучения фирмы «EDAX», встроенного в растровый электронный микроскоп «Quanta600 FEG»; исследования формы и морфологии микрочастиц определяли с помощью растрового электронного микроскопа фирмы «FEI» (производства Голландии) «Quanta 600 FEG»; рентгеноструктурный анализ порошкового материала электродов проводили на аналитическом рентгеновском дифрактометре «ARL9900 Intellipower Workstation»; спеченный образец получали изостатическим прессованием порошка на прессе «EPSI» с последующим спеканием в высокотемпературной печи «Nabertherm»; удельную поверхность заготовок определяли по одно- и пятиточечному методу БЭТ на газо-адсорбционном анализаторе «TriStar II 3020»; микротвердость определяли с помощью полуавтоматического микротвердомера «Instron 402 MVD» по шкале Виккерса; механическую обработку спеченных образцов проводили на автоматическом высокоточном настольном отрезном станке «Accutom-5»; а также шлифовально-полировальном станке «LaboPol-5»; исследования плотности проводили с помощью пикнометра «MicromeriticsAccuPic II 1340» гелиевого типа; пористость и микроструктуру исследовали с помощью оптического инвертированного микроскопа «Olympus GX51», оснащенного системой автоматизированного анализа изображений «SimagisPhotolab»; плазменные покрытия наносили с помощью модернизированной установки УД-209 на основе переделанного токарного станка для наплавки и выпрямителя сварочного ВДУ-506; коэффициент трения и интенсивность износа поверхности образца с нанесенным на него плазменным покрытием и контртела исследовали на автоматизированной машине трения «Tribometer» фирмы «CSM Instruments»; шероховатость поверхности образцов исследовали на профилометре «Surtronic 25»; металлографические исследования проводили с помощью оптического инвертированного микроскопа «Olympus GX51», оснащенного системой автоматизированного анализа изображений «SimagisPhotolab» и электронно-ионного сканирующего микроскопа «Quanta 200 3D»; микротвердость образцов определяли с помощью микротвердомера «AFFRI DM-8» и др.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований и их анализ» представлены следующие результаты: исследования электроэрозионных порошков, используемых при восстановлении и

упрочнении изношенных деталей автомобилей; исследования плазменных покрытий коленчатых валов; проведения производственных испытаний.

Результаты исследований свойств ПБРС представлены на рисунках 2 и 3.

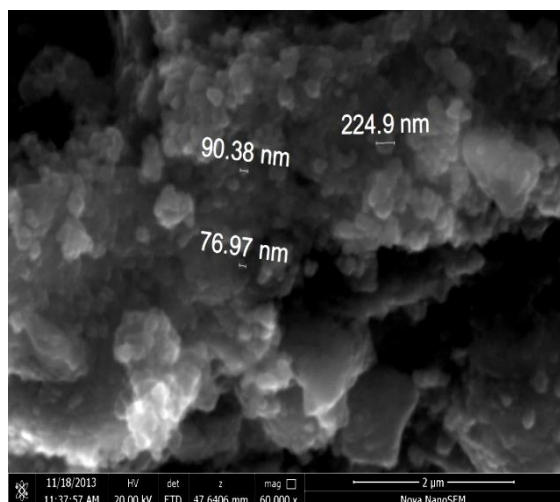


Рисунок 2 – Снимок с РЭМ частиц ПБРС, полученных ЭЭД

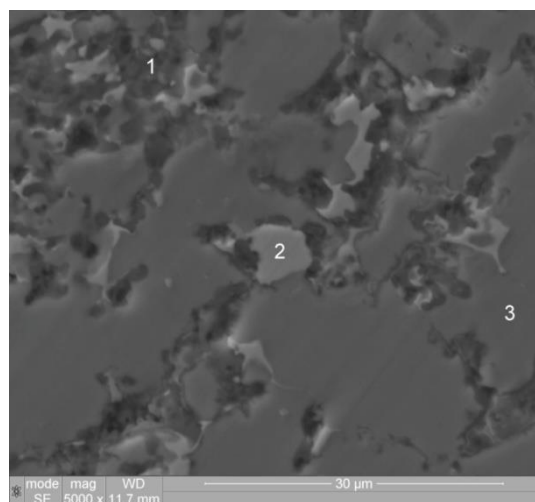


Рисунок 3– Микроструктура спеченного образца из ПБРС

Результаты исследований свойств плазменных покрытий представлены в таблицах 1 и 2 и на рисунках 4-7.

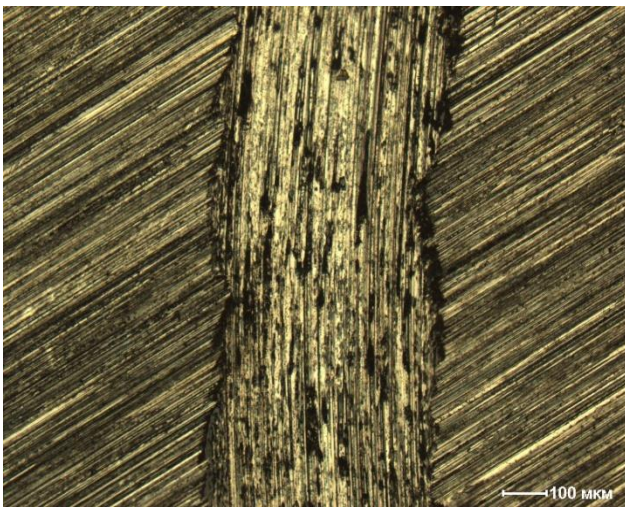
Таблица 1 – Значения измеренной микротвердости HV, ГПа

№ замера	Образец 1		Образец 2		Образец 3	
	Поверхность	Шлиф (приповерхностная зона)	Поверхность	Шлиф (приповерхностная зона)	Поверхность	Шлиф (приповерхностная зона)
1	335	240	322	201	302	245
2	332	216	337	200	274	244
3	373	247	353	233	313	230
4	345	225	342	222	297	255
5	327	249	330	235	325	250
6	330	241	335	238	304	235
7	293	238	385	248	337	240
8	279	255	367	237	388	211
9	373	240	340	247	412	208
10	379	277	305	267	389	209
Среднее значение (единицы измерения)						
HV	337,0	243,00	341,0	233,00	334,0	233,0
ГПа	3,370	2,430	3,410	2,330	3,340	2,330
Стандартное отклонение	33,16	16,50	22,57	20,70	46,49	17,59

*Разброс значений микротвердости по поверхности связан с пробоподготовкой поверхности образца.

Таблица 2 – Трибологические характеристики исследуемых покрытий

№ образца	Коэффициент трения (μ)				Шероховатость поверхности (R_a), мкм	Микротвердость поверхности по Виккерсу, $HV_{0.2}$	Фактор износа статистического партнера, $мм^3 \cdot Н^{-1} \cdot м^{-1} \cdot 10^{-5}$	Фактор износа образца, $мм^3 \cdot Н^{-1} \cdot м^{-1} \cdot 10^{-5}$
	Начальный	Минимальный	Максимальный	Среднее значение				
1	0,36	0,18	0,78	0,71	0,73	337	0,131	5,263
2	0,21	0,18	0,86	0,7	1,25	341	0,396	6,821
3	0,1	0,1	0,8	0,67	1,52	334	0,108	7,789



а) ширина дорожки износа 469 мкм

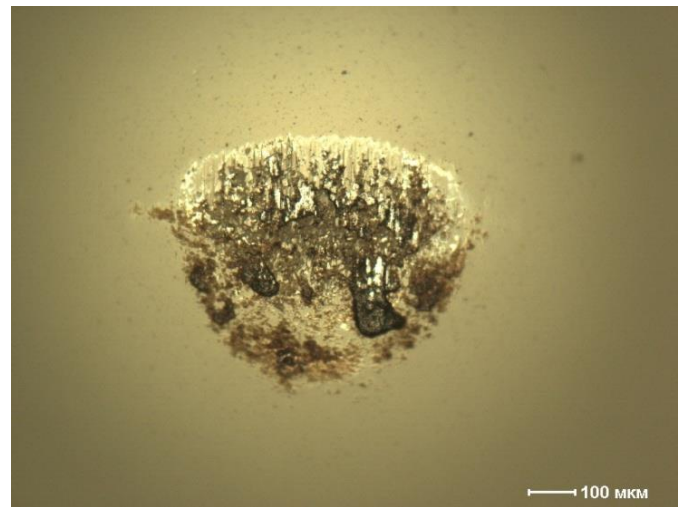
б) контртело Al_2O_3

Рисунок 4 – Оптическое изображение дорожки износа и пятна износа контртела (шарика) после многократных проходов по исследуемой поверхности экспериментальных образцов

Сравнение результатов испытаний образцов показывает, что наиболее износостойким является образец 1 (наименьший фактор износа).

Экспериментально установлено, что: средний размер частиц ПБРС, полученных в керосине осветительном, составляет 26,72 мкм; удельная площадь поверхности размер частиц ПБРС, полученного в керосине осветительном составляет 6725,95 $см^2/см^3$. Частицы порошка в основном имеют сферическую и эллиптическую форму. Основными элементами в порошке являются железо, кислород, углерод, вольфрам и молибден, а основными фазами являются железо (Fe), вольфрам (W), магнетит (Fe_3O_4) и карбид железа (Fe_3C).

Для проверки возможности применения полученного порошка в ППН было проведено прессование с последующим спеканием. Изучены свойства спеченных образцов из электроэрозионных порошков: среднее значение

твердости заготовок по микро-Виккерсу при нагрузке на индентор 30 Н – 212 HV; плотность – 5,6856 см³/г; основные элементы – Fe, W, Mo, Cr, C.

Экспериментально установлено, что среднее значение коэффициента трения (μ) у плазменного покрытия: образец 1 – 0,709; образец 2 – 0,704; образец 3 – 0,665. Отмечено, что износостойкость образца с плазменным покрытием выше износостойкости подложки. Определена шероховатость образца с плазменным покрытием, которая составляет (Ra): 0,73 мкм.

Среднее значение микротвердости покрытия, полученного ППН электроэрозионных порошков быстрорежущей стали, больше микротвердости подложки в среднем в 1,4 раза.

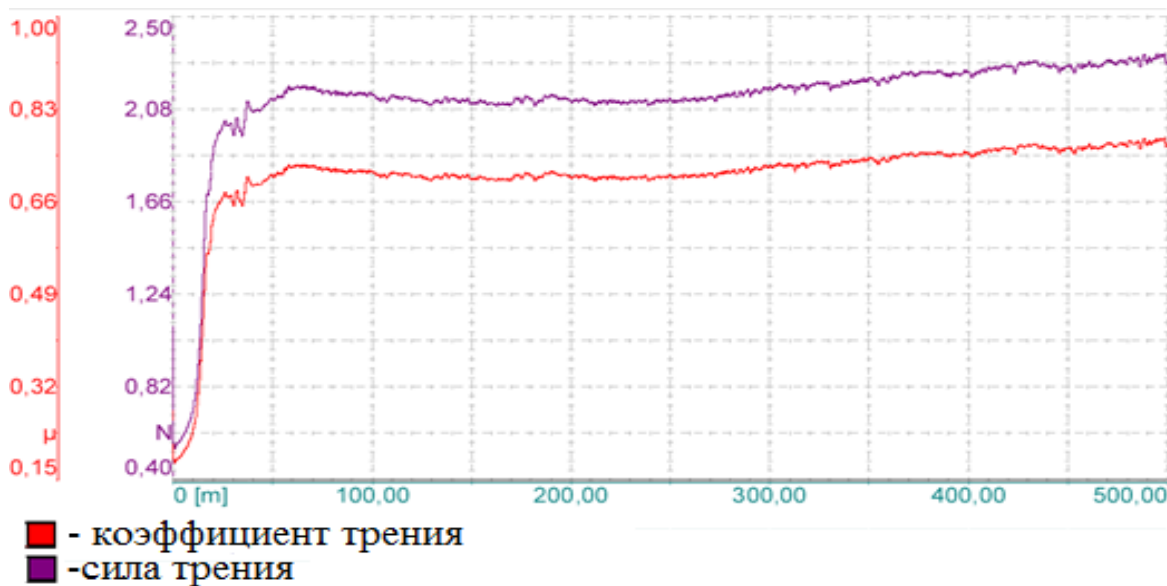


Рисунок 5 – Результаты трибологических испытаний образца

В пятой главе «Реализация результатов исследований и их технико-экономическая оценка» представлена разработанная технология восстановления и упрочнения коленчатого вала электроэрозионными наноматериалами (рисунок 8 и таблица 3), а также представлены результаты эксплуатационных испытаний коленчатого вала, восстановленного по разработанной технологии, и произведен расчет экономической эффективности от внедрения.

Предложенная технология позволяет увеличить ресурс восстановленных деталей в 1,5 раза по сравнению с новыми.

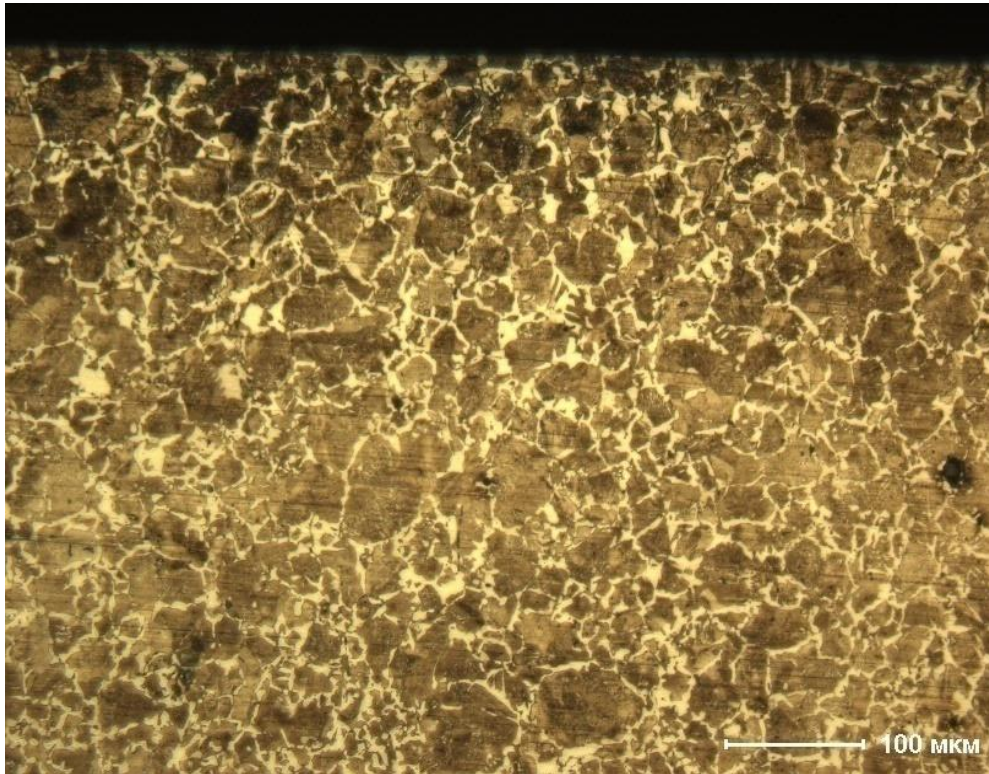


Рисунок 6 – Размер зерен полученного покрытия («Quanta 200 3D»)

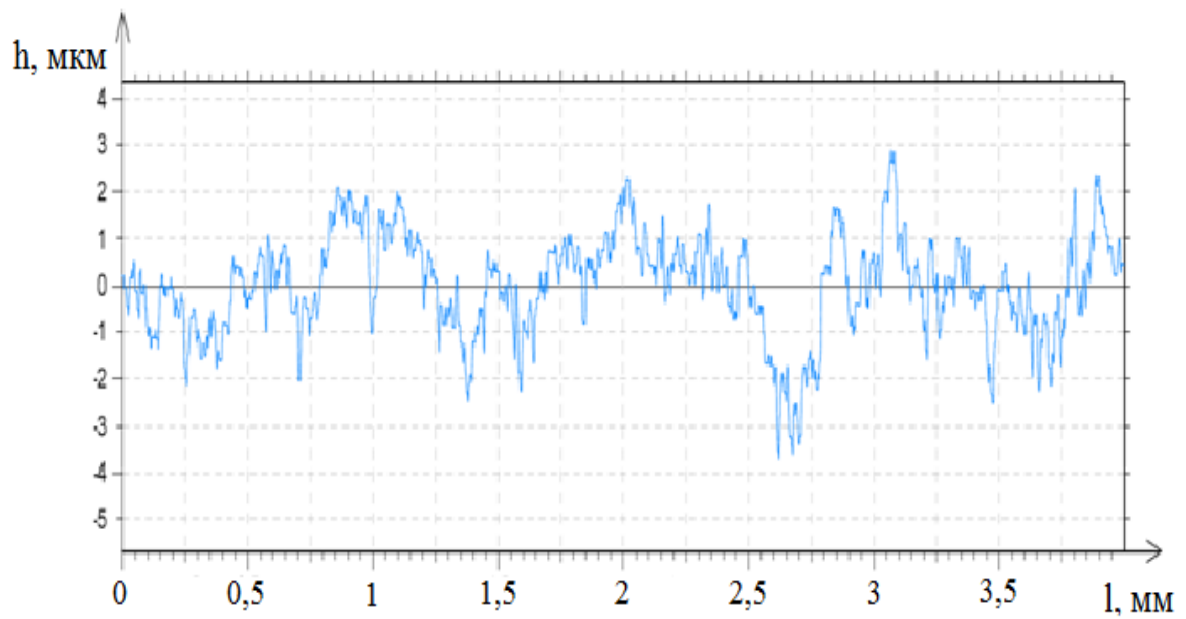


Рисунок 7 – Шероховатость поверхности (автоматизированный прецизионный контактный профилометр «SURTRONIC 25»)

Таблица 3– Порядок операций наплавочных работ по коленчатому валу КамАЗ-740

№ оп.	Наименование операции	Оборудование и приспособления	Инструменты и материалы
1	Зачистить коренную шейку до металлического блеска	Верстак слесарный	Шкурка шлифовальная
2	Заглушить отверстия масляных каналов, зачистить поверхность	Верстак слесарный	Асбестоцементная смесь, молоток слесарный, шкурка шлифовальная
3	Подогреть коренную шейку до 200 °С плазменной дугой без подачи порошка	Установка для плазменно-порошковой наплавки УД-209, выпрямитель сварочный ВДУ-506	Аргон ГОСТ 10157-79; магистральная вода ГОСТ 2844 – 82
4	Наплавить коренную шейку	Установка для плазменно-порошковой наплавки УД-209, выпрямитель сварочный ВДУ-506	Аргон ГОСТ 10157-79; магистральная вода ГОСТ 2844 – 82; порошковые электроэрозионные материалы

Примечание: наплавку шатунных шеек коленчатого вала выполнить в той же последовательности, что и коренных.



Рисунок 8 – Установка для плазменно-порошковой наплавки (общий вид)

Разработанная технология восстановления и упрочнения деталей двигателя методом плазменно-порошковой наплавки электроэрозионных частиц быстрорежущей стали марки Р6М5. Предложенная технология позволяет увеличить ресурс восстановленных деталей в 1,5 раза по сравнению с новыми.

Коленчатый вал двигателя КамАЗ-740, восстановленный по предложенной технологии, был установлен на двигатель автомобиля в условиях ООО АТП «РосАвтоТранс» 01.06.2016 г. и эксплуатировался в течение 1 года. За это время автомобиль прошел 80160 км. пробега. Результаты стендовых испытаний также показывали, что ресурс восстановленного коленчатого вала выше ресурса новой детали в 1,5 раза.

Расчет экономической эффективности внедрения технологического процесса восстановления коленчатых валов с аварийными дефектами в виде износа поверхностей шеек выполнен на примере коленчатого вала для двигателя КамАЗ-740 с годовой программой 50 коленчатых валов в год.

$$\mathcal{E} = [h \times C_n \times K_{пр} - (C_{вос} + E_n \times K)] \times N_{вос},$$

где h – коэффициент, учитывающий затраты по доставке деталей на ремонтное предприятие (равен 1,1);

C_n – оптовая цена производства нового коленчатого вала, руб.

$K_{пр}$ – коэффициент приведения цены коленчатого вала, восстановленного рекомендуемым способом к цене коленчатого вала, восстановленного действующим способом (при отсутствии действующего техпроцесса за основу сравнения принимается цена нового коленвала);

E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений
 $E_n = 0,15$;

$N_{вос}$ – годовая программа восстановления коленчатых валов, шт;

K – удельные капитальные вложения, руб.

$$\mathcal{E} = [h \times C_n \times K_{пр} - (C_{вос} + E_n \times K)] \times N_{вос} = [1,1 \times 90000 \times 0,91 - (6000 + 0,15 \times 400000)] \times 50 = (90090 - 66000) \times 50 = 1204500 \text{ руб.}$$

Экономический эффект от внедрения предложенного технологического процесса восстановления коленчатого вала методом ППН в ООО АТП «РосАвтоТранс» составил 1204500 руб.

Таким образом, даже на малых предприятиях с небольшими программами восстановления коленвалов экономический эффект от применения разработанного нового технологического проекта весьма значительный.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена важная научно-практическая задача, направленная на совершенствование на основе научных исследований технологии восстановления и поверхностного упрочнения изношенных деталей автомобилей путем применения плазменных покрытий на основе электроэрозионных материалов, обеспечивающих требуемые эксплуатационные свойства.

Основные результаты и выводы

1. Выполнен анализ дефектов коленчатых валов автомобилей, а также анализ методов их восстановления. Отмечено, что значительную часть дефектов составляют задиры и износы шеек. Рациональным способом восстановления изношенных поверхностей коленчатого вала признан метод плазменно-порошковой наплавки с использованием электроэрозионных порошков стали Р6М5 в качестве наплавочного материала.

2. Изучение теоретических основ восстановления деталей показало, что коленчатые валы, которые не могут более подвергаться механической обработке под ремонтные размеры и, соответственно, использоваться в автомобиле, целесообразно восстанавливать методом плазменно-порошковой наплавки с использованием электроэрозионных порошковых материалов.

3. Выполнен анализ материалов, используемых для ППН деталей, и технологических особенностей получения материалов электроэрозионным диспергированием. В результате проведенных исследований установлено, что:

- средний размер частиц составляет 26,72 мкм, арифметическое значение – 26,725 мкм, удельная площадь поверхности – 6725,95 см²/см³. Установлено также, что коэффициент элонгации (удлинения) частиц размером 27,084 мкм составляет 2,32. 10 % от общего объема частиц имеют наноразмеры;

- порошок, полученный методом ЭЭД из отходов БРС, состоит из частиц правильной сферической формы (или эллиптической), неправильной формы (конгломератов). Исследования показали, что его частицы имеют довольно малые размеры, что положительно скажется на его дальнейшем использовании в качестве наплавочного материала;

- исследуемый образец порошка БРС в качестве основных минералов содержит железо, оксиды и карбид железа, также присутствует в небольшом количестве вольфрам;

- в порошке, полученном электроэрозионным диспергированием отходов быстрорежущих сталей марки Р6М5 в керосине, основными фазами являются железо (Fe), магнетит (Fe₃O₄), гематит (Fe₂O₃), цементит (Fe₃C) и вольфрам (W);

- порошок, полученный из отходов стали Р6М5 в среде керосина, может успешно применяться для восстановления деталей автомобильных двигателей ППН, т.к. соответствует оптимальному размеру частиц и имеет в своем составе карбиды WC, положительно влияющие на процесс наплавки.

4. Проведено исследование спекаемости полученного порошкового материала. Методом изостатического прессования с последующим спеканием был получен спеченный образец. Поверхность изделия однородная и имеет

малую пористость. Плотность изделия составила около $5,7 \text{ г/см}^3$, что соответствует норме для пористого железа и обозначает возможность получения антифрикционных материалов.

Дальнейшие исследования спеченного образца показали, что средняя микротвердость составляет 212; основными элементами являются Fe, W, V, Cr.

Экспериментально установлено, что среднее значение коэффициента трения (μ) у плазменного покрытия: образец 1 – 0,71; образец 2 – 0,7; образец 3 – 0,67. Отмечено, что износостойкость образца с плазменным покрытием выше износостойкости подложки. Определена шероховатость образцов с плазменным покрытием, которая составляет (R_a) = 0,73 мкм.

Среднее значение микротвердости покрытия, полученного ППН электроэрозионных порошков быстрорежущей стали, больше микротвердости подложки в среднем в 1,4 раза.

5. Предложенная технология восстановления и упрочнения коленчатых валов основана на применении плазменно-порошковой наплавки с использованием электроэрозионных материалов и позволяет обеспечить необходимые триботехнические свойства покрытий.

6. По результатам производственных испытаний установлено, что продолжительность работы коленвала, восстановленного методом ППН с применением электроэрозионных материалов, в 1,5 раза увеличилась по сравнению с новым, промышленно изготовленным валом.

7. Разработанная технология и оборудование апробированы и внедрены в ООО АТП «РосАвтоТранс» г. Курск. Результаты исследований внедрены в учебный процесс при чтении лекций, выполнении лабораторных работ, курсовых и выпускных квалификационных работ со студентами и аспирантами в ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» г. Курск. Общий ожидаемый экономический эффект от внедрения составит 1204500 руб. в год.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

а) в рецензируемых научных журналах из «Перечня ...» ВАК:

1. Воробьев, Е.А. Применение электроэрозионного порошка быстрорежущей стали при восстановлении изношенных деталей автомобилей / Е.В. Агеев, А.Ю. Алтухов, Е.А. Воробьев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – №4. – С. 192-198.

2. Воробьев, Е.А. Трибологические характеристики плазменных покрытий коленчатого вала двигателя, полученных с использованием электроэрозионных материалов/ Е.А. Воробьев, Е.В. Агеев, И.П. Емельянов // Мир транспорта и технологических машин. – 2016. – № 3(54). – С. 32-38.

3. Воробьев, Е.А. Совершенствование технологии восстановления коленчатого вала двигателя КамАЗ-740 плазменно-порошковой наплавки путем применения порошковых электроэрозионных материалов / Е.В. Агеев, Е.А.

Воробьев, И.П. Емельянов // Мир транспорта и технологических машин. – 2016. – № 2 (53). – С. 53-61.

4. Воробьев, Е.А. Совершенствование технологии плазменно-порошковой наплавки коленчатого вала двигателя КамАЗ-740 / Е.В. Агеев, Е.А. Воробьев // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – том 124. – С. 8-12.

б) монографии:

5. Латыпов, Р.А. Состав и свойства порошков, полученных электроэрозионным диспергированием отходов быстрорежущей стали в керосине: монография / Р.А. Латыпов, Е.А. Воробьев, Е.В. Агеев, Е.В. Агеева; Юго-Зап. гос. ун-т; Курск: Университетская книга. – 2014. – 108 с.: ил. 24, табл. 12. ISBN 978-5-905939-0-9.

в) патенты РФ:

6. Пат. 2590045 Российская Федерация, МПК, В22F9/14, С22С 38/22. Способ получения металлического порошка из отходов быстрорежущей стали в керосине/ Е.В. Агеев, Е.А. Воробьев, А.Е. Гвоздев, Е.В. Агеева; заявитель и патентообладатель Юго-Западный государственный университет. – №2014135667, заявл. 03.09.2014; опубл. 27.03.2016.

г) статьи в иных рецензируемых научных журналах:

7. Воробьев, Е.А. Исследование микроструктуры и элементного состава изделия из электроэрозионных частиц быстрорежущей стали / Е.В. Агеева, Е.В.Агеев, Е.А. Воробьев, А.Н. Семернин, Н.А. Семернин // Механика и технологии. – 2014. – №4 (46) – С. 6-12.

8. Воробьев, Е.А. Антифрикционные материалы из электроэрозионных частиц быстрорежущей стали / Е.А. Воробьев, Е.В. Агеев // Нанотехнологии: наука и производство. – 2015. – №2. – С. 68-72.

д) статьи в сборниках материалов научных конференций:

9. Воробьев, Е.А. Использование порошков, полученных из отходов твердых сплавов методом электроэрозионного диспергирования, для получения износостойких покрытий / А.А.Давыдов, Е.А. Воробьев // Перспективы развития науки и образования. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции в 8 частях. Тамбов, 2013. – Ч. 4. – С. 10-11.

10. Воробьев, Е.А. Использование металлических порошков при восстановлении деталей машин плазменно-порошковой наплавкой / Е.А. Воробьев // Перспективное развитие науки, техники и технологии. Сборник докладов III-й международной научно-практической конференции, Курск: Юго-Западный государственный университет, 2013. – Том 1. – С. 253-257.

11. Воробьев, Е.А. Использование порошка при восстановлении распределителей методом плазменно-порошковой наплавки (ППН) / Е.А. Воробьев // Современные автомобильные материалы и технологии. Сборник докладов V международной научно-технической конференции. Курск: Юго-Западный государственный университет. – 2013. – С. 33-36.

12. Воробьев, Е.А. Исследование микротвердости изделия из порошка быстрорежущей стали, полученного методом электроэрозионного диспергирования / Е.А. Воробьев // Современные инструментальные системы,

информационные технологии и инновации: материалы XI международной научно-практической конференции в 4 томах, Курск: Юго-Западный государственный университет. – 2014. – Том 1. – С. 342-344.

13. Воробьев, Е.А. Получение наноразмерного вольфрамсодержащего порошка, пригодного для восстановления деталей автотракторной техники / Е.В. Агеев, Л.Н. Серебровская, В.В. Горяинов, Д.В. Воскобойников, Е.А. Воробьев // Актуальные проблемы и инновационная деятельность в агропромышленном производстве: материалы международной научно-практической конференции, Курск: Курская государственная сельскохозяйственная академия имени И.И. Иванова. – 2015. – С. 8-12.

14. Воробьев, Е.А. Ремонт клапанов ДВС наплавкой порошкового материала / Е.А. Воробьев // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. Сборник научных трудов XII-й международной научно-практической конференции в 4 томах, Курск: Юго-Западный государственный университет. – 2015. – Том 1. – С. 271-274.

Подписано в печать _____ 20__ г. Формат 60x84 1/16.

Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 11.

Юго-Западный государственный университет
305040, Курск, ул. 50 лет Октября,94