

«УТВЕРЖДАЮ»

первый проректор – проректор по  
научной работе

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

кандидат ветеринарных наук, доцент

И.И. Богданов

2021 г.



### ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина» (ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, г. Ульяновск) на диссертационную работу Верхутова Алексея Александровича «Совершенствование дефектовки коленчатых валов автотракторных двигателей использованием виброакустического способа», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве.

#### Актуальность темы диссертации

На обеспечение работоспособности двигателей автомобилей и других машин в процессе эксплуатации затраты в 5-6 раз больше, чем на их изготовление. Значительная доля затрат и простоев в ремонте приходится на двигатель. Такие затраты на автотракторные двигатели в эксплуатации обусловлены несовершенством процессов смазывания деталей, особенно подшипников коленчатого вала (КВ). Это указывает на актуальность вопросов совершенствования технологических процессов восстановления деталей. От их решения зависят показатели эффективности использования автомобилей, тракторов и другой сельскохозяйственной техники.

#### Достоверность основных выводов и рекомендаций

**Первый вывод** показывает, что одним из наиболее дорогостоящих отказов двигателя это закономерно развивающееся усталостное разрушение коленчатого вала (11% отказов). Его развитие возможно обнаружить и прогнозировать с использованием виброакустической дефектовки. Кинетику разрушения при усталости задают движения и взаимодействия дислокаций и других дефектов кристаллической решетки. Результатом анализа литературных данных можно представить последовательность этапов схемы предела усталости: дислокации – субмикро – микро – макротрещины – разрушение. Достоверность вывода основывается на достаточных литературных источниках и практических данных.

**Второй вывод** отдаёт предпочтение виброакустическому (ВА) методу исследования, который использует ударный импульс. На основе этого составлен алгоритм обработки виброакустического сигнала с использованием программного обеспечения. С возрастанием количества циклов нагрузки в детали происходит рост вероятности разрушения. Это ведёт и к преодолению предела текучести и предела прочности. Деталь в дальнейшем испытывает хрупкое разрушение. Это описывается экспоненциальной зависимостью глубины трещины от количества нагружений и наработки, что позволяет прогнозировать наработку до разрушения. Вывод обоснован теоретическими исследованиями.

**Третий вывод** отражает теоретическое описание математических моделей динамической системы (ДС) КВ с дефектом (трещиной) и без дефекта. Установлен алгоритм определения дефектов в структуре КВ на основе распознавания импульсной переходной функции, по которой вычисляется добротность динамической системы КВ. Доказана линейная связь добротности и времени релаксации. Вывод обоснован теоретическими исследованиями.

**Четвертый вывод** устанавливает линейную зависимость добротности ДС КВ от глубины трещины. На этом основании принимается решения о пригодности КВ. Сходимость экспериментальных данных и обоснованной зависимости добротности ДС КВ от наработки высокая ( $R^2=0,99$ ). В процессе эксплуатации добротность ДС КВ закономерно снижается в 2,5-2,8 раза. Достоверность подтверждается большим объемом экспериментальных данных и корректным применением математических методов их обработки.

**Пятый вывод** утверждает, что с использованием виброакустического способа происходит сокращение трудоёмкости дефектовки КВ, что приводит к снижению удельных затрат на ремонт на 24%. Достоверность вывода основывается на предыдущих экспериментальных данных.

### **Новизна результатов исследований**

Научную новизну диссертационной работы представляют:

- математическая модель связи степени усталостных разрушений коленчатого вала с параметрами виброакустического сигнала, подтверждающая закономерности повышения его ресурсных показателей;
- алгоритм процесса дефектовки коленчатого вала методом импульсном воздействии.

### **Значимость результатов исследований для науки и практики**

**Научная ценность** работы заключается в следующем: по результатам исследования обоснован способ выявления усталостных трещин коленчатого вала, основные параметры виброакустического сигнала и их связь с параметрами трещин, получена зависимость

параметров виброакустического сигнала от наработки коленчатого вала и их предельные значения.

**Практическая значимость** работы состоит в следующем: усовершенствована операция дефектовки при восстановлении коленчатого вала с использованием виброакустического способа, позволяющая значительно повысить его долговечность и ремонтпригодность, что позволило снизить на 24% удельные затраты трудоёмкости дефектовки по усталостному разрушению коленчатого вала на один двигатель.

### **Апробация результатов исследования**

Основные научные результаты, положения, выводы и рекомендации, полученные Верхутовым А.А. при работе над диссертацией, достаточно полно апробированы на научных конференциях международного и всероссийского уровней: Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, Межгосударственный постоянно действующий научно-технический семинар (Саратов 2013 - 2018г.); Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., ежегодные научно-технические конференции (Саратов, 2013 – 2019 г.); Международные научно-технические конференции. Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ) – (Москва, 2016, 2017, 2018 г.); Международные научно-технические конференции Орловского государственного университета имени И.С Тургенева (Орёл, 2017, 2018 г.).

Предложенные разработки внедрены в ОАО «Межгородтранс» и ООО «Газпром трансгаз Саратов», прошли производственную проверку в эксплуатации.

### **Рекомендации по использованию результатов исследования и выводов**

Результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований свидетельствуют о целесообразности применения технологического процесса дефектовки коленчатого вала виброакустическим способом. Разработанный технологический процесс рекомендуется применять при виброакустической дефектовке коленчатого вала по усталостным трещинам для снижения удельных затрат на 24 % на один КВ.

Результаты исследований и разработанный технологический процесс рекомендуются к применению:

– сельскохозяйственным и автотранспортным предприятиям различных форм собственности, осуществляющим самостоятельный ремонт своего парка техники;

– предприятиям, занимающимся восстановлением деталей авто-тракторной техники, в частности, двигателей внутреннего сгорания.

## Оценка содержания диссертации

Диссертационная работа Верхутова А.А. содержит 151 страницу машинописного текста, состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы из 119 наименований и приложений, содержит 52 рисунка и 12 таблиц.

**Во введении** приведена краткая характеристика работы и состояния задач обеспечения работоспособности коленчатых валов автотракторных двигателей, при ремонте, обоснована актуальность исследования.

**В первом разделе** дан анализ основных причин отказов коленчатых валов, изменения их технического состояния в процессе эксплуатации. Проанализированы известные методы дефектовки деталей при ремонте автотракторных двигателей. Сформулирована цель, определены пути ее достижения в виде задач исследования.

**Во втором разделе** проведён теоретический анализ изменения степени усталостного разрушения коленчатого вала в процессе эксплуатации, показано, что последовательность модели физического предела усталости такова: дислокации – субмикро – микро – макротрещины – разрушение. Показаны основные этапы и особенности распространения трещины в КВ.

Показано, что все показатели степени усталостного разрушения деталей (длина трещины и концентрация микротрещин) прямо пропорциональны глубине трещины и с ростом числа циклов нагружения возрастают по экспоненциальной зависимости.

Обоснована применимость ВА способа для обнаружения трещин в коленчатом вале как в динамической системе при ударе, построена соответствующая математическая модель, решение которой позволит выполнить экспресс-анализ дефектов КВ в условиях ремонтных предприятий при ремонте двигателей. Для математического моделирования колебаний принята рабочая гипотеза о закономерном рассеивании энергии колебаний от преград, связанных с ростом поверхности трещин.

Разработана методика определения и алгоритм идентификации добротности ДС КВ.

При использовании импульсного возмущающего воздействия на КВ была получена импульсная переходная функция на основании регистрации его свободных ВА колебаний.

Обоснован параметр дефектовки КВ как добротность колебательной системы и доказана экспоненциальная зависимость её от наработки КВ.

**В третьем разделе** описаны программа и общая методика исследования, сбора данных по техническому состоянию коленчатых валов двигателей КамАЗ в процессе эксплуатации и ремонта. Приведено описание измерительных и программных средств.

Изложены методики оценки усталостных разрушений коленчатого вала и вычисления минимального объёма выборки, исследуемых КВ.

**В четвертом разделе** по экспериментальным данным определены зависимости показателей, определялись коэффициенты зависимости виброакустических параметров в коленчатом вале от показателей уровня его усталостного разрушения. В результате анализа были получены зависимости добротности ДС КВ от параметров, характеризующих степень его усталостного разрушения. Добротность ДС КВ, как дефектовочный параметр с доверительной вероятностью не ниже 0,95 информативен и соответствует остальным требованиям.

Приведены зависимости добротности ДС КВ от глубины трещины и от наработки двигателя. Данные зависимости целесообразно использовать при прогнозировании технического состояния КВ в процессе эксплуатации и разработке нормативов.

**В пятом разделе** определены предельные значения добротности ДС КВ по экономическому критерию – минимуму суммарных удельных затрат на предупреждение усталостного разрушения КВ и устранения последствий его усталостной поломки.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований усовершенствован технологический процесс дефектовки КВ двигателей КАМАЗ-740 и КАМАЗ-ЕВРО при их восстановлении.

За счёт снижения затрат на обеспечение работоспособности двигателей из-за сокращения трудоёмкости дефектовки КВ по усталостным трещинам и потерь доходов автомобилей из-за снижения простоев в ремонте определён годовой экономический эффект 2240 рублей для базовых двигателей и 3320 рублей для двигателей ЕВРО.

### **Замечания по диссертационной работе**

1) Имеются некоторые разночтения в диссертационной работе и автореферате диссертации в плане постановки задач исследования (пункты 4 и 5) и положений выносимых на защиту (пункт 3), что затрудняет оценку проведенных исследований.

2) В пункте 2.5 «Распознавание модели динамической системы коленчатого вала без трещины и с трещиной» при определении импульсной переходной функции (ИПФ) для КВ с трещиной и КВ без трещины, поступившего для дефектации не ясно, учитывается ли шероховатость шеек ремонтного КВ и как это повлияет на погрешность измерений при определении амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в целях оценки добротности динамической системы КВ? Так как на стр. 54 приведено, что для эталонной ИПФ рассматривался коленчатый вал, поверхность которого после шлифования имеет параметр шероховатости  $Ra \leq 0,16$  мкм.

3) Из второго раздела диссертации не ясно, какие именно теоретические исследования принадлежат автору и в чем заключается

математическая модель связи степени усталостных разрушений коленчатого вала с параметрами виброакустического сигнала, подтверждающая закономерности повышения его ресурсных показателей?

4) Неубедительно обоснованы параметры массы (пункт 3.2.1) и угла отклонения нити бойка (пункт 3.2.2). Не указано место удара бойка о коленчатый вал для создания виброакустических колебаний.

5) Из пункта 4.1 не ясно, как по добротности динамической системы КВ, определить уровень его усталостного разрушения (в частности: место расположения, количество, длину и глубину трещин)?

6) Из раздела 5 не ясно, возможно ли использовать предложенный технологический процесс виброакустической дефектовки КВ для других марок двигателей?

7) По тексту диссертации встречаются неудачные формулировки и некорректные предложения.

Указанные замечания не являются принципиальными, не ставят под сомнение значимость, достоверность и научную новизну диссертационного исследования и не влияют на ее основные теоретические и практические результаты.

### **Завершенность и качество оформления диссертационной работы**

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей результаты теоретических и экспериментальных исследований, которые имеют научное и практическое значение. Материал диссертационной работы изложен в логической последовательности, хорошо проиллюстрирован рисунками и таблицами. Структура, содержание и оформление диссертации соответствует требованиям ВАК.

Содержание автореферата отражает основные научные положения и результаты диссертации, что позволяет получить достаточно полное представление о сущности выполненной работы, оценить её научную и практическую значимость.

### **Публикации результатов исследований**

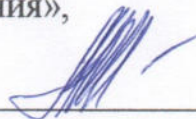
Основные результаты диссертации, полученные автором в процессе исследований, опубликованы в 17 научных работах, в том числе две статьи в рецензируемых научных изданиях из перечня, рекомендованного ВАК РФ, одна в научном издании, включённом в базы Web of Science и Scopus и 1 монография. В этих работах содержатся теоретические, методические и экспериментальные результаты диссертационного исследования. Общий объем публикаций составляет 9,35 п.л., из которых 4,5 п.л. принадлежит лично автору.

## Заключение

Диссертационная работа Верхутова Алексея Александровича на тему: «Совершенствование дефектовки коленчатых валов автотракторных двигателей использованием виброакустического способа» соответствует критериям, изложенным в пункте 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», является законченной самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технологические решения, имеющие существенное значение для ремонтного производства в сфере агропромышленного комплекса Российской Федерации, а ее автор Верхутов Алексей Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.03 – технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве.

Диссертационная работа, автореферат диссертационной работы, отзыв ведущей организации на диссертационную работу рассмотрены, обсуждены и одобрены на расширенном заседании кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», протокол № 4 от 22 ноября 2021 года.

Заведующий кафедрой «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования»,  
ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ,  
доктор технических наук, профессор



Хохлов Алексей  
Леонидович

### Контактная информация

Специальность по которой защищена докторская диссертация 05.20.03 – «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве»

**Место работы:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина» (ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ)

**Почтовый адрес:** 433431, Ульяновская область, Чердаклинский район, п. Октябрьский, улица Студенческая, д. 9.

Телефон: +7(84231)5-11-75, Email: [mobilemach-dep@ugsha.ru](mailto:mobilemach-dep@ugsha.ru), Сайт: <https://ulsau.ru/>

