

Контрольный экземпляр

Кыргыз Республикасынын
Министерство образования и культуры
Кыргызской Республики

**КЫРГЫЗСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. И. РАЗЗАКОВА**

На правах рукописи
УДК 621.436.018.7:629.114

БАРПИЕВ Алтынбек Жарашбекович

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ОБОСНОВАНИЕ
РЕСУРСА КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА
АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ЗМЗ-53 В
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ
ЧУЙСКОЙ ОБЛАСТИ**

**05.22.10 — Эксплуатация автомобильного
транспорта**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

БИШКЕК 2002

Работа выполнена на кафедре "Тракторы и автомобили" Кыргызского аграрного университета им. К.И. Скрябина

Научный руководитель: академик Международной академии наук высшей школы, инженерной академии Кыргызской Республики, Международной инженерной академии, доктор технических наук профессор Нусупов Э.С.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Маткеримов С.Х.

кандидат технических наук, Акунов Б.У.

Ведущая организация – Казахский национальный аграрный университет.

Защита состоится « » _____ 2002 года в 14.00 часов на заседании Диссертационного совета К.05.01.168 при Кыргызском техническом университете по адресу: 720044, Кыргызская Республика, г.Бишкек, проспект Мира 66, Корпус 1. Малый актовый зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского технического университета.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах заверенный печатью учреждения просим направить в адрес Диссертационного совета.

Автореферат разослан " " _____ 2002 года.

Ученый секретарь
диссертационного Совета
к.т.н., доцент

Великодный М.М.

Общая характеристика работы.

Актуальность темы. Задача повышения надежности и долговечности узлов и деталей автотранспортных средств может быть решена с использованием современных достижений научно-технического прогресса. Сюда следует отнести анализ и прогнозирование ресурса основных агрегатов, методы повышения поверхностной прочности деталей и влияние закономерностей их изнашивания. Большие трудовые и материальные затраты на поддержание эксплуатационной надежности и долговечности агрегатов требуют более полного использования запланированного их ресурса. Сложные дорожно-климатические условия, работа на различных высотах над уровнем моря, тяжелые горные подъемы обязывают предъявлять к автомобильным двигателям, работающим в Кыргызстане, повышенные требования к показателям эксплуатационной надежности.

Ресурс автомобильного двигателя является базовым для прогнозирования и обоснования показателей эффективности эксплуатации транспортных средств в конкретных условиях. В самом же двигателе ресурс обеспечивается главным образом, техническим состоянием коленчатого вала. Практика показывает, что разброс показателей эксплуатационной долговечности новых валов двигателей ЗМЗ-53, эксплуатируемых в Кыргызстане, достаточно широк, поэтому решение задач по прогнозированию и обоснованию долговечности коленчатого вала и установление возможностей ее повышения является актуальной.

Решение поставленных задач предполагает теоретический анализ комплексных исследований для разработки математической модели прогнозирования ресурса эксплуатационной долговечности коленчатого вала при минимальных затратах на различные дорожные испытания.

Решение этой проблемы в конечном итоге будет способствовать повышению эксплуатационных показателей автомобильного транспорта в Кыргызской Республике.

Целью работы является разработка методики определения ресурса коленчатого вала автомобильного двигателя ЗМЗ-53 в конкретных эксплуатационных условиях Чуйской зоны Кыргызстана.

Для достижения поставленной цели было намечено последовательное решение следующих основных задач:

- разработка математической модели ресурса коленчатого вала;
- разработка методики определения скорости изнашивания шеек коленчатого вала и вкладышей подшипников;
- обоснование закономерности изнашивания шеек валов и вкладышей с учетом фактических эксплуатационных нагрузок;
- разработка методики прогнозирования среднего ресурса долговечности исследуемых коленчатых валов до достижения предельного состояния их шеек и вкладышей.

По результатам исследований на защиту вынесены:

- обоснование зависимости скорости изнашивания шеек коленчатых валов от воздействия различных эксплуатационных факторов в конкретных дорожно-климатических условиях;
- разработка и обоснование расчетно-экспериментальной методики ускоренных безмоторных испытаний по установлению долговечности коленчатых валов;
- выбор и обоснование методики измерения основных параметров оценки ресурса исследуемых коленчатых валов на основе сравнительного анализа результатов стендовых испытаний и статистических данных Токмакского авторемзавода;
- разработка методических рекомендаций авторемонтным предприятиям и научно-исследовательским, автотранспортным организациям по использованию предложенной методики прогнозирования ресурсов деталей и узлов двигателя при совершенствовании технологии ремонта и модернизации авторемонтного производства.

Достоверность результатов исследований по прогнозированию и обоснованию ресурса коленчатого вала автомобильного двигателя ЗМЗ-53 в конкретных природно-климатических условиях Чуйской зоны Кыргызской Республики подтверждены данными стендовых испытаний, а также многолетними статистическими данными автотранспортных предприятий области.

Научная новизна работы включает:

- теоретическое обоснование возможности определения ресурса коленчатого вала, как функции зазоров и скоростей изнашивания;
- разработка метода и конструкции приборов для измерения износа шеек коленчатого вала;
- разработка математической модели процесса изнашивания шеек коленчатого вала и вкладышей двигателя;
- разработка схемы модернизации обкаточного стенда для испытания колесного вала на долговечность.

Практическая ценность работы. Разработанная методика прогнозирования ресурса коленчатого вала двигателя по результатам стендовых безмоторных испытаний позволяет за короткий период получить фактическую информацию об износостойкости сопряжений шейки – вкладыш и на их основании рассчитать средний ресурс коленчатого вала в конкретных эксплуатационных условиях. Предложенная методика может быть использована для прогнозирования эксплуатационной надежности любых деталей и узлов автотранспортных двигателей внутреннего сгорания.

Реализация результатов работы. На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны рекомендации по оценке эксплуатационной долговечности коленчатых валов на авторемонтном заводе г. Токмак и других автотранспортных предприятий Чуйской области Кыргызской Республики.

Результаты теоретических исследований и экспериментальных работ по изучению изнашиваемости и обоснованию долговечности коленчатых валов включен в учебные программы профилирующих дисциплин автотранспортных специальностей Кыргызского аграрного университета (КАА).

Апробация работы. Основные результаты исследований были представлены и обсуждены на заседаниях кафедры «Тракторы и автомобили» Кыргызской Аграрной Академии (1998 – 2001 гг.); на научно-практических конференциях КАА в 1996 – 2001 гг.; на международной научно-теоретической конференции, посвященной 5-летию образования КРСУ (сентябрь 1999); на международной научной конференции "Современные технологии и управление качеством в образовании, науке и производстве: опыт адаптации и внедрения" КТУ им. И. Раззакова (май, 2001 г.); на международной конференции посвященной I съезду инженеров Кыргызстана и 10-летию образования Инженерной академии Кыргызской Республики (ноябрь 2001 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 10 статей.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка использованной литературы и приложений. Работа содержит 171 страницу, в том числе: 132 страницы машинописного текста, 42 рисунка, 11 таблиц, 30 страниц приложений и список литературы (103 наименования).

Содержание работы.

Во введении изложены актуальность темы, цели и задачи исследований, научная новизна и практическая ценность работы.

Первая глава посвящена анализу исследований причин простоев автомобилей и заниженной долговечности его основного агрегата двигателя рассмотрены пути и методы повышения ресурса двигателя и основного сопряжения – в нем шейки коленчатого вала. Поскольку коленчатый вал в большинстве случаев определяет срок службы двигателя в целом, исследование его ресурсов долговечности является важным вопросом в проблеме повышения эксплуатационной надежности автомобиля. Исследователей интересует коленчатый вал на всех этапах его создания и эксплуатации. При использовании автотранспортных средств их технические показатели не всегда могут оставаться без изменений. Как бы ни была совершенна конструкция при изготовлении, с течением времени изменяются ее первоначальные размеры, происходит изменение эксплуатационных показателей: снижается мощность двигателя, растет расход топлива и смазочных материалов, технические показатели ухудшаются.

Отказ коленчатого вала происходит из-за естественного постепенного изнашивания шеек. В первую очередь для продления срока службы на шейки вала назначается ряд ремонтных размеров. Не менее важным вопросом в повышении долговечности коленчатых валов является их восстановление после того, как вал будет проточен на последний ремонтный размер.

В настоящее время получило бурное развитие внедрение различных

методов для восстановления коленчатых валов, так как это приносит большую экономию в ремонте двигателя. В развитие ремонтного производства внесли большой вклад труды русских ученых Казарцева В.И., Ульмана И.Е., Левитского И.С., Шадричева В.А., Петрова Ю.Н., и др. Но, вместе с тем процесс восстановления коленчатого вала требует преодоления технологических трудностей из-за его сложной конфигурации и к тому же условия работы при высоких знакопеременных нагрузках требуют высокие показатели механической прочности, которые должны обеспечиваться многими свойствами нанесенного слоя.

Во всех случаях, когда речь идет об эффективности внедрения новой технологии в производство коленчатых валов или об определении межремонтного ресурса после перешлифовки или восстановления металлопокрытием, необходимы сведения по износостойкости коленчатых валов. Успешное решение этой задачи в значительной степени зависит от существующих методов экспериментальной проверки и расчетных методов оценки сроков службы изнашивающихся деталей двигателей.

Проблеме трения и изнашивания деталей автомашин посвящены труды Костецкого Б.И., Кугеля Р.В., Ульмана И.Е., Хрущева М.М., Левитского И.С., Ткачева Б.Н. и многих других ученых, которые установили основные закономерности изнашивания материалов и дали конкретные рекомендации по повышению их долговечности, надежности.

Исследования, посвященные этим направлениям, рассмотрены, проанализированы с целью определения эффективного способа восстановления при высокой долговечности. Для сокращения количества объектов наблюдения и времени на испытания по определению ресурса двигателя в целом или отдельных его деталей целесообразно проведение ускоренных испытаний.

Вопросы испытания машин на долговечность и, в частности, двигателей автомобилей, подробно изложены в работах Авдонкина Ф.Н., Величина Н.Н., Мишина И.А., Пешее Л.Я., Тенебума М.М. Анализ этих работ показывает, что существует множество методов определения срока службы двигателей и их деталей, которые можно условно разделить на моторные и безмоторные.

Разработанные к настоящему времени методики стендовых испытаний позволяют оценить относительную износостойкость испытываемых деталей, однако не учитывают большого разнообразия эксплуатационных условий изнашивания, влияния многообразия факторов на изучаемый процесс. А так же имеющейся методики не позволяют с минимальными затратами оценить срок службы отдельно взятых деталей.

Проведенный аналитический обзор литературы подтвердил актуальность проблемы и позволил сформулировать цель и поставить задачи исследований.

Во второй главе приведены теоретические исследования процесса изнашивания коленчатых валов. Проблема определения долговечности деталей машин фактически сводится к изучению вопросов изнашивания их рабочих поверхностей.

Анализ исследований по динамике изнашивания деталей машин показывает, что известные математические модели не всегда правильно описывают динамику изнашивания базовых деталей. Учитывая сказанное, в данной главе ставится цель установить следующие предпосылки:

- определить критерии подобия стендовых испытаний деталей на износ их эксплуатационному изнашиванию;
- обосновать математическую модель процесса изнашивания деталей;
- с точки зрения вероятностного характера процесса изнашивания установить аналитическую зависимость закона распределения ресурса деталей на примере коленчатых валов.

При определении долговечности коленчатых валов на стенде принята ориентация на использование реальных деталей. Для сохранения критериальных соотношений на стенде выдерживались режимы испытаний аналогичные эксплуатационным. Контроль правильности выбора режимов испытаний, проводился по сходству поверхностей изнашивания деталей сопряжения, сходству их геометрической формы, и структурному изменению материала деталей на стенде и в эксплуатации.

Таким образом, чтобы износные испытания на стенде были подобны эксплуатационному изнашиванию, соблюдалось основное положение - равенство скоростей изнашивания, и дополнительное положение - соотношение абсолютных величин изнашивания сопряженных деталей таким, какое имеет место в эксплуатации.

Результатами исследований, многих авторов установлено, что скорость изнашивания коленчатых валов с достаточной для инженерных расчетов точностью ее можно представить в виде линейной функции зазора в сопряжении, т.е.:

$$V \frac{dS}{dt} = C + KS, \quad (1)$$

где: V - скорость изнашивания сопряжения $\left(\frac{\text{мкм}}{\text{час}}\right)$;

S - зазор в сопряжении (мм);

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

C, K - постоянные для данного сопряжения.

На рис. 1. Приведены графики изменения скорости изнашивания сопряжений "шейка-вкладыш" коленчатого вала двигателя. Прямая I соответствует средним эксплуатационным условиям изнашивания сопряжения; прямая II - наиболее тяжелым эксплуатационным условиям (максимальная загрязненность смазочного масла абразивными частицами, высокая нагруженность и т.д.); прямая III - наиболее легким условиям работы.

После интегрирования уравнения (1) выражение приобретает следующую зависимость для определения величины наработки

$$t = \int \frac{dS}{C + KS} = \frac{1}{K} \ln(C + KS) + F; \quad (2)$$

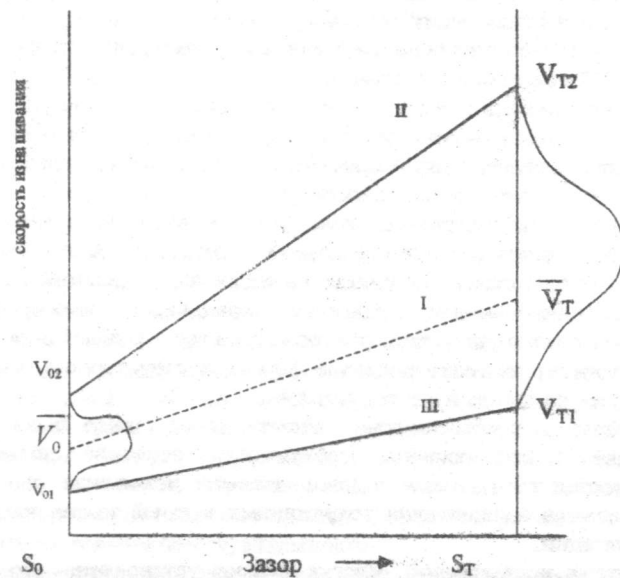


Рис.1. Изменение скорости изнашивания сопряжений "шейка-вкладыш" коленчатого вала. I — средние условия; II — тяжелые условия; III — легкие условия

Постоянная интегрирования F определяется из начальных условий. К моменту приработки сопряжения t_0 зазор S будет равен S_0 .

$$\text{Тогда } F = t_0 - \frac{1}{K} \ln(C + KS_0) \quad (3)$$

После подстановки постоянной интегрирования в уравнение (2) получим выражение для определения наработки:

$$t = \frac{1}{K} \ln \frac{C + KS}{C + KS_0} + t_0; \quad (4)$$

Из выражения (4) определим зависимость зазора от величины наработки, которая будет иметь вид:

$$S = Me^{k(t-t_0)} \delta, \quad (5)$$

где

$$\sigma = \frac{c}{k} \text{ и } M = \sigma + S_0; \quad (6)$$

В уравнении (4) видно, что под знаком логарифма в числителе стоит выражение скорости изнашивания $-V_1$, а в знаменателе — начальной скорости

изнашивания — V_0 .

Для определения коэффициента K в этом уравнении обратимся к рис.1., из которого следует:

$$K = \frac{V - V_0}{S - S_0}; \quad (7)$$

При достижении предельного зазора ($S = S_T$) скорость изнашивания сопряжения принимает максимальное значение ($V = V_T$). Учитывая все изложенные преобразования, ресурс (T) сопряжения коленчатого вала может быть определен из выражения:

$$T = \frac{S_T - S_0}{V_T - V_0} \ln \frac{V_T}{V_0} + t_0; \quad (8)$$

Величины S_T , S_0 и t_0 для каждой марки двигателя имеют определенные значения, и к тому времени, когда коленчатый вал требует восстановления, они уже обычно известны.

Из выражения (8) для определения долговечности вала необходимо установить граничные скорости изнашивания сопряжения (начальную — после приработки — V_0 и конечную — после достижения зазором величины S_T , V_T).

Анализ условий изнашивания коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания показывает, что они работают в сложных условиях, их изнашивание протекает под воздействием большого числа различных эксплуатационных факторов и не позволяет установить аналитическую зависимость выходного параметра от воздействующих факторов при исследовании однофакторным экспериментированием. Принимая скорость изнашивания коленчатых валов и вкладышей за выходной параметр, математический процесс изнашивания коленчатых валов можно представить как функциональную зависимость в виде:

$$V_{ш} = f_{ш}(x_1, x_2, \dots, x_k), \\ V_{в} = f_{в}(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (9)$$

где $V_{ш}$ — скорость изнашивания шеек коленчатого вала;

$V_{в}$ — скорость изнашивания вкладышей;

x_1, x_2, \dots, x_k — факторы, влияющие на износ сопряжения.

В каждом опыте факторы изменяются в определенных пределах, а в течении одного опыта остаются постоянными. Такое варьирование факторами позволяет охватить все возможные случаи их совместного воздействия на процесс изнашивания шеек коленчатого вала.

Таким образом, выполнив эксперимент и выявив влияние каждого

фактора на скорость изнашивания, можно будет определить не только среднюю скорость, но и функцию плотности ее распределения.

Скорость изнашивания коленчатых валов является случайной величиной, следовательно и их долговечность, как функция скорости, также величина случайная. Учитывая это обстоятельство, можно записать следующее соотношение:

$$\frac{V_{ш1}}{V_{ш0}} = \frac{V_{в1}}{V_{в0}} = \frac{\bar{V}_e}{V_{01}} = \dots = \frac{V_e}{V_{01}} = const, \quad (10)$$

т.е. это говорит о том, что отношение скоростей, полученных при 2-х различных зазорах при любых условиях изнашивания для данного сопряжения есть величина постоянная. Следовательно, в уравнении долговечности (8):

$$\ln \frac{V_T}{V_0} = \text{const} \quad (11)$$

Тогда на распределение долговечности будет оказывать влияние в основном разность скоростей, стоящих в знаменателе ($V_T = V_0$). В соответствии со сказанным, уравнение долговечности может быть записано в следующем виде:

$$T = \frac{A}{V_T - V_0} \quad \text{или} \quad T = \frac{A}{\Delta V}; \quad (12)$$

Для определения распределения долговечности коленчатых валов, необходимо установить параметры распределения скорости изнашивания (V и G), которые являются одновременно и параметрами распределения долговечности. Математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение скорости изнашивания можно определить при стендовых износных испытаниях с применением методики многофакторного анализа, сохранив определяющие показатели изнашивания такими, какие они в реальных условиях эксплуатации.

В третьей главе приведены обоснование выбора объекта исследования, изложены задачи, анализ существующих стендов, обоснована выбранная конструкция стенда, методика измерения износа и порядок проведения экспериментальных исследований.

При выборе объекта исследования руководствовались требованиями, поставленными задачами и планом на эксперимент. Согласно этим требованиям нужны достаточно обоснованные данные по долговечности принятой марки коленчатого вала, а также сведения о скорости и характере изнашивания его шеек и деталей, сопряженных с ними. Учитывая все изложенное, для экспериментальной проверки был принят коленчатый вал автомобильного двигателя ЗМЗ - 53, получивший наибольшее распространение в автотранспортных предприятиях Чуйской области.

Проведение износных испытаний связано с наличием большого числа факторов, определяющих износ объекта исследования. Многочисленными исследованиями установлено, что на изнашивание коленчатых валов воздействует множество факторов и влияют они на исследуемый процесс по-разному.

Анализ результатов многих исследований по повышению долговечности и надежности деталей и узлов автомобильных двигателей позволил установить, что основными факторами, определяющими износ, а, следовательно, и долговечность коленчатых валов, являются:

- g - загрязненность смазки абразивными частицами (%);
- p - нагрузка на шейку вала (частота вращения, об/мин.);
- S - зазор в сопряжении (мм).

Кроме указанных факторов, которые влияют на изнашивание изучаемых сопряжений, считаются следующие показатели: давление в системе смазки, температура в сопряжении и чистота обработки поверхности шеек. Но пределы изменения этих показателей, которые имеют место в эксплуатации, существенного влияния на износ коленчатых валов не оказывают.

Фактор загрязненности определяется в % абразивных частиц в масле.

По данным Григорьева М.А. в двигателе на различных этапах его эксплуатации находится несгораемых абразивных частиц от 0,09% до 0,43% по весу масла, которые получены из анализа пробы от катерного масла 50 автомобилей.

По результатам расчетов нами были приняты следующие уровни варьирования для фактора - (g)

$$g_{\text{нм}} = 0,05 \% ; \quad g_{\text{нб}} = 0,45 \% ; \quad g_{\text{ср}} = 0,625 \% ;$$

Известно, что нагрузка на шейки коленчатого вала создается двумя силами - силой давления газов и силой инерции движущихся частей.

Исследованиями многих авторов доказано, что одни участки нагружены силой хотя и большой по величине (сила давления газов), но время действия этой силы незначительное. Силы инерции действуют совершенно на другие участки, и время их действия значительно больше.

Характер распределения частоты вращения коленчатого вала был установлен по результатам исследований, проведенных на Горьковском автомобильном заводе Поповым Ю.А., где отмечается, что для всех автомобилей ГАЗа распределение частоты вращения коленчатых валов для различных дорог будет аналогичным

Известно, что силы инерции в кривошипно-шатунном механизме зависят от частоты вращения коленчатого вала, поэтому мы установили следующие интервалы варьирования нагрузки по частоте вращения:

$$n_{\text{нм}} = 500 \text{ об/мин}; \quad n_{\text{нб}} = 2800 \text{ об/мин}; \quad n_{\text{ср}} = 1650 \text{ об/мин}.$$

В этом случае фактор частоты вращения будет комплексным, задающим нагрузку и температуру в сопряжении.

Следующим фактором, на который обращалось внимание при планировании исследований является зазор сопряжения. На основании разработанной методики расчета показателей долговечности требуется определить скорость изнашивания в начальный период работы, после приработки сопряжения, и в конце работы, когда зазор достигает предельной величины.

Анализ существующих методик испытания деталей двигателей на износостойкость показал, что, в этих методах испытание проводится на полноразмерном работающем двигателе, наряду с износом шеек и вкладышей будут изнашиваться и все остальные детали двигателя.

Известно, что шейки коленчатых валов большинства двигателей внутреннего сгорания а поперечном сечении изнашиваются неравномерно. Особенно большую величину овальности имеют шатанные шейки в связи с

характерным распределением сил инерции и газовых сил. Характер и место износа поверхности шатунной шейки от этих сил четко разграничены.

Инерционные силы изнашивают шейку со стороны щеки кривошипа, газовые — с противоположной стороны. Первые действуют более продолжительное время по углу поворота коленчатого вала и их влияние на износ шейки обычно превышает влияние газовых сил.

Используя выше изложенное, был разработан и изготовлен специальный стенд, у которого нагружение испытываемого сопряжения осуществляется только инерционными силами.

В эксплуатации шатунная шейка изнашивается не по всей длине, а у галтелей с той и другой стороны остаются неизношенные пояски шириной 1,5...2,0мм.

Они и послужили базой для разработанного нами измерительного прибора, с помощью которого производились замеры износа (Рис.2.).

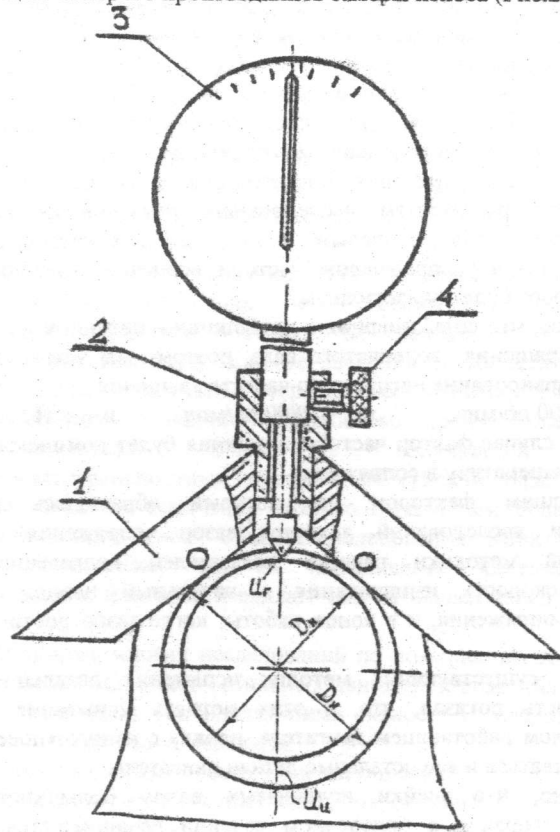


Рис.2. Измерительный прибор для определения эпюры износа шеек вала.

Прибор состоит из призмы 1, длина которой равна длине шейки без галтелей, на призме с помощью втулки 2 и винта 4 закрепляется индикатор 3, который наконечником должен касаться поверхности шейки. При замере призму нужно прижимать так, чтобы она бобышками постоянно касалась щеки шейки, а контрольными плоскостями — неизношенных поясков. Доля износа от действия инерционных сил определялась следующим образом:

$$I = I_r + I_{и}, \quad (13)$$

где:

I - суммарный износ, измеряемый микрометром;

I_r - износ от воздействия газовых сил;

$I_{и}$ - износ от воздействия сил инерции. Тогда суммарный износ можно представить так:

$$I = 2I_2 + \Delta I, \quad (14)$$

где ΔI - разность, измеряемая индикатором.

Отсюда:

$$I_r = \frac{I - \Delta I}{2}; \quad (15)$$

Износ от сил инерции определяется как сумма:

$$I_{и} = I_r + \Delta I, \quad (16)$$

Его доля (η) в общем износе, выраженная в процентах, определяется по формуле:

$$\eta = \frac{I_{и}}{I} \cdot 100\%, \quad (17)$$

Проведенные замеры на шейках указанных двигателей показали, что инерционные силы изнашивают шатунные шейки в среднем на 75% и только 25% приходится на долю газовых сил.

Таким образом, нагружая коленчатый вал при испытаниях на стенде только силами инерции, получим долговечность в среднем на 25% больше той, которая получается при действии всех сил.

В настоящее время исследователи используют целый ряд широко известных методов измерения износа деталей двигателей, среди которых можно отметить: микрометрирование, метод искусственных баз, взвешивание, профилографирование, метод радиоактивных изотопов по содержанию железа в масле.

Наибольшую известность и широкое применение получил метод микрометрирования, который применяется обычно для измерения больших абсолютных величин износа деталей. Он основан на применении механических контактных или других приборов, при помощи которых замеряют изнашиваемую деталь до и после испытаний.

Метод измерения износа взвешиванием применяется дополнительно к микрометрированию. Взвешиванием определяют износ мелких деталей: колец, вкладышей, поршней и т.д.

В результате анализа всех существующих методов для измерения износа был принят метод по глубине вырезанных лунок. В институте машиноведения АН СССР М.М.Хрущевым и Е.С. Берковичем был разработан метод измерения местных износов деталей с помощью вырезанных лунок ГОСТ 17534-72.

Нанесение и измерение лунок на поверхности шейки коленчатого вала осуществляется с помощью запатентованного прибора, разработанного и изготовленного в Кыргызской Аграрной Академии (Кыргызский аграрный университет) автором, который показан на рис. 3.

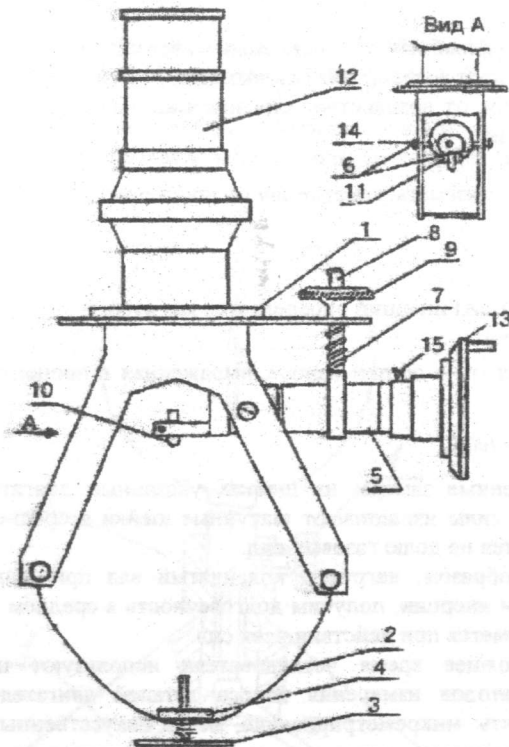


Рис. 3. Прибор для нанесения и измерения вырезанных лунок на поверхности коленчатого вала.

Прибор представляет собой рамку 1, открывающуюся дугу 2, винт с маховичком 3 и гайку-пластинку 4, с помощью которой прибор крепится на шейку вала. К рамке с помощью двух винтов 6, пружины 7, винта с хомутом 8 и гайки-маховичка 9 крепится механизм для нарезания лунки 5.

Внутри данного механизма установлен шпиндель 14, к которому на одном конце винтом 11 крепится алмазный резец 10, а к другому концу с

помощью винта 15 крепится маховичок 13. При вращении маховичка 13 вращается резец. Вращением винта 8, гайки-маховичка 9 и пружины 7 резец опускается и поднимается, т.е. осуществляется подача резца. В верхней части рамки установлена оптическая часть 12, составляющая сборку микроскопа типа МПБ-2.

Измерив длину лунки и зная радиус резца, можно определить ее глубину.

Четвертая глава посвящена обработке экспериментальных данных. В соответствии с общей методикой работы и согласно методике расчета на долговечность коленчатых валов по полученным экспериментальным данным необходимо было установить зависимость скорости изнашивания шеек и вкладышей от изучаемых факторов в виде уравнения

$$\hat{Y} = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i x_j + \sum b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (18)$$

где Y – выборочная оценка скорости изнашивания;

x_1, x_2, \dots, x_k – действующие факторы в кодированном виде;

b_0, b_i, b_{ij} – коэффициенты регрессии полинома, характеризующие степень влияния факторов на скорость изнашивания.

При работе коленчатого вала невозможно заранее предсказать, какие из возможных значений в каждый момент времени примут факторы, влияющие на скорость изнашивания.

При малом зазоре влияние абразива на износ по сравнению с нагрузкой более эффективно, чем при большом зазоре. Изнашивание сопряжения приводит увеличению зазора, при этом динамические нагрузки на сопряжение увеличиваются. В результате изменения величины зазора происходит усиление влияния факторов на процесс изнашивания.

Такое же явление происходит и при изнашивании вкладышей, но только степень влияния частоты вращения ($x_1 = n$) там значительно выше, чем степень влияния абразивности масла. Это объясняется тем, что большая часть абразивных частиц изнашивает материал вкладышей, он менее прочен, чем поверхность шейки.

Для достижения поставленной цели, которая будет основанием для определения долговечности вала, проводилась два серии опытов – с начальным зазором между шейкой вала и вкладышем – 0,06 мм и предельно допустимым – 0,25 мм.

Математическая обработка полученных результатов методом многофакторного анализа позволила представить влияние частоты вращения и загрязненности масла в виде моделей т.е. уравнений полинома.

Скорости изнашивания шеек коленчатых валов при зазоре $S_0=0,16$ мм.

$$y_0^1 = 3,16 \cdot 10^{-7} + 1,48 \cdot 10^{-7} x_1 + 1,96 \cdot 10^{-7} x_2 \text{ мкм/цикл}, \quad (19)$$

при зазоре $S_T=0,25$ мм.

$$y_T = 10,54 \cdot 10^{-7} + 4,07 \cdot 10^{-7} x_1 + 5,57 \cdot 10^{-7} x_2 \text{ мкм/цикл}, \quad (20)$$

Скорости изнашивания вкладышей шатунов при зазоре $S_0=0,06$ мм

$$y_0^2 = 0,44 \cdot 10^{-7} + 0,28 \cdot 10^{-7} x_1 + 0,125 \cdot 10^{-7} x_2 \text{ мкм/цикл}, \quad (21)$$

при зазоре $S_r=0,25$ мм.

$$y_n^1 = 1.076 \cdot 10^{-7} + 0.79 \cdot 10^{-7} x_1 + 0.185 \cdot 10^{-7} x_2 \text{ мкм/цикл}, \quad (22)$$

где x_1 и x_2 – кодированное значение величины частоты вращения вала и степени загрязненности масла.

Результаты расчетов по значимости коэффициентов регрессии в уравнениях и адекватности представления уравнениями изучаемого процесса сведены в таблицу 1.

Таблица 1.

Анализ уравнений регрессии.

Параметр оценки	при S_0		при S_r	
	шейки вала	вкладыши	шейки вала	вкладыши
1. Дисперсия, характеризующая ошибку опыта $S^2\{y\}$	$1,19 \times 10^{-14}$	$1,675 \times 10^{-17}$	$1,15 \times 10^{-15}$	$2,77 \times 10^{-16}$
2. Ошибка опыта $S\{y\}$	$1,09 \times 10^{-7}$	$4,095 \times 10^{-9}$	$3,39 \times 10^{-8}$	$1,66 \times 10^{-8}$
3. Дисперсия, характеризующая ошибку определения коэффициента регрессии $S^2\{b_i\}$	$1,48 \times 10^{-15}$	$2,69 \times 10^{-18}$	$1,43 \times 10^{-16}$	$3,46 \times 10^{-17}$
4. Ошибка в определении коэффициентов регрессии $S^2\{b_i\}$	$3,86 \times 10^{-8}$	$1,45 \times 10^{-9}$	$1,2 \times 10^{-8}$	$5,78 \times 10^{-9}$
5. Критерий значимости расчетный t_1	3,83	8,6	34,03	3,15
6. Критерий значимости коэффициентов регрессии (табл.)	2,31	2,31	2,31	2,31
7. Заключение о значимости коэффициентов	Коэффициент b_3 не значим			
8. Остаточная дисперсия, S^2_R	$2,17 \times 10^{-15}$	$7,0 \times 10^{-18}$	$1,09 \times 10^{-15}$	$3,48 \times 10^{-18}$
9. Расчетный критерий Фишера, F	0,182	0,41	0,94	0,012
10. Табличный критерий Фишера	5,3	5,3	5,3	5,3
11. Заключение об адекватности уравнений	Уравнения адекватности описывают изучаемый процесс			

Уравнения (19-22) показывают интенсивность изнашивания при испытании на стенде с приводом от электродвигателя. В этом случае на сопряжение шейки-вкладыш действуют только инерционные силы от массы

деталей шатунно-кривошипного механизма. Для учета сил, которые действуют на поршень при работе двигателя необходимо полученные данные увеличить на 33%.

Таким образом, после перевода в общепринятые единицы измерения мкм/км с учетом изнашивания на работающем двигателе, скорости износа шеек вала определяются уравнениями:

$$V_r = 3,92 \cdot 10^{-3} + 15,2 \cdot 10^{-4} X_1 + 20,7 \cdot 10^{-4} X_2 \text{ мкм/км}. \quad (17)$$

$$V_r = 3,92 \cdot 10^{-3} + 15,2 \cdot 10^{-4} X_1 + 20,7 \cdot 10^{-4} X_2 \text{ мкм/км}. \quad (18)$$

Перевод в общепринятые единицы измерения т.е. в мкм/км. пути произведен в соответствие с методикой завода изготовителя – ГАЗ.

После вычисления математические ожидания скоростей изнашивания для шеек при зазоре S_0 оказались равными $1,1 \times 10^{-3}$ мкм/км, при зазоре $S_r - 3,7 \times 10^{-3}$ мкм/км и для сопряжения в целом при зазоре $S_0 - 1,71 \times 10^{-3}$ мкм/км, при зазоре $S_r - 5,18 \times 10^{-3}$ мкм/км.

Математическое ожидание разности скоростей изнашивания равно разности их математических ожиданий (уравнений 4.36):

$$\Delta \bar{V} = \bar{V}_r - \bar{V}_0 = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ мкм/км}, \quad (25)$$

и среднеквадратическое отклонение равно:

$$\delta_{\Delta m} = \sqrt{\delta_{Vr}^2 - \delta_{V0}^2} = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ мкм/км}, \quad (26)$$

Тогда окончательное уравнение функции плотности распределение долговечности имеет следующий вид:

$$\varphi(T) = \frac{60 \cdot 10^3}{T^2} e^{-3,8 \frac{(50 \cdot 10^3 - T)^2}{T^2}}, \quad (27)$$

Определенный по статистическим данным расчет показал, что средняя долговечность коленчатых валов равна 47 тыс. км, а средняя долговечность по уравнению (12) равна 14×10^7 циклов или 56 тыс. км. пробега.

Сопоставление средних значений дает возможность убедиться в том, что сделанный вывод относительно достоверности полученных данных был правилен, так как максимальное расхождение составляют всего 14 - 16 %, что может считаться допустимым.

Дополнительные исследования по сопоставлению процессов изнашивания производились по следующим признакам:

- шероховатости поверхностей и их внешнего вида;
- микроструктуре поверхностных слоев шейки вала.

Сходство поверхностей шеек изношенных валов и вкладышей в эксплуатационных условиях и при стендовых испытаниях позволяют утверждать о подобии условий изнашивания, а удовлетворительная сходимость распределения показателей долговечности в том и другом случае свидетельствуют о правильности методики проведения испытаний коленчатых валов на долговечность по дополнительным признакам.

В приложении приведены основные расчетные данные по коэффициенту согласия Пирсона, результаты регрессионного анализа эксперимента, расчеты функции плотности долговечности коленчатых валов, а также материалы о внедрении результатов диссертационной работы.

Основные выводы и рекомендации.

Приведенные теоретические и экспериментальные исследования процесса прогнозирования эксплуатационной долговечности и обоснование ресурса коленчатых валов позволяют сделать следующие выводы:

1. Прогнозирование и обоснование возможных сроков службы, ресурса новых материалов и передовых технологий изготовления и ремонта различных деталей машин и автомобилей, а также заключение о качестве процесса восстановления и ремонта должны определяться основными эксплуатационными показателями надежности, с учетом воздействия всех значимых комплексных факторов конкретных дорожно-климатических условий региона с использованием многофакторного анализа.

2. Выполненный теоретический анализ методики определения долговечности изделий по результатам кратковременных стендовых или лабораторных испытаний позволили достоверно установить, что скорость изнашивания коленчатых валов зависит от скорости скольжения и зазора в подшипниках, а также загрязненности масла. При этом такие показатели как частота вращения коленчатого вала, степень загрязненности моторного масла, величина зазора в сопряженных деталях характеризуют нагрузочный режим процесса изнашивания, могут быть использованы в дальнейшем при математическом моделировании эксплуатационных режимов при стендовых, дорожных испытаниях.

3. Разработанная и предложенная нами методическая программа проведение испытаний на долговечность коленчатых валов двигателей ЗМЗ-53 включает все основные этапы и проводится в следующей последовательности:

- изучение эксплуатационных условий работы коленчатых валов на предмет выявления ведущих факторов, определяющих износ;
- подготовка стенда для воспроизведения режимов испытания моделирующих эксплуатационные условия конкретного региона;
- выполнение серии опытов по плану многофакторного эксперимента с построенной математической модели влияния эксплуатационных факторов в виде уравнения полинома;
- установление закономерности распределения основных показателей долговечности вала двигателя.

4. Установлено, что варьирование частотой и диапазоном вращения коленчатого вала, степенью загрязнения смазки и величинами зазора в сопряжении между шейкой и вкладышем, возможно математическое моделирование эксплуатационных условий изнашивания коленчатого вала, а предложенная схема модернизации конструкции стенда обеспечивает

воспроизведение условий изнашивания весьма близких к эксплуатационным. Расхождение по количественным значениям ресурса при стендовых и эксплуатационных испытаниях составляет 14 – 16%, а вид изнашивания различия не имеют.

5. Предложенное в работе аналитическое уравнение по обоснованию закономерности распределения показателей долговечности коленчатых валов при различных эксплуатационных условиях полностью согласуются с результатами экспериментальных исследований, имеют удовлетворительную схему расчетов по прогнозированию сроков службы двигателей ЗМЗ-53.

Предложенная методика расчетов по обоснованию ресурса коленчатого вала двигателя с учетом основных факторов и показателей эксплуатационных условий позволяет провести послеремонтную экспресс-диагностику, что значительно сокращает трудоемкость износных и других видов стендовых испытаний.

6. Разработанный и изготовленный нами оптический прибор для нанесения и измерения лунок на поверхности шейки коленчатого вала значительно повышают точность измерений и достоверность полученных результатов, поскольку соотношение между глубиной лунки и ее длиной находится в пределах 1:50, 1:80, вместо 1:7 у метода отпечатков, заметно сокращает трудоемкость и время проведения замеров.

7. Внедрение результатов исследований на Токтомакском авторемзаводе свидетельствует о достаточно высокой экономической эффективности предложенных рекомендаций и организационно-технических мероприятий по прогнозированию ресурсов коленчатого вала в конкретных эксплуатационных условиях.

Основные положения диссертации опубликованы в нижеследующих работах:

1. Барпиев А.Ж. Анализ методов восстановления первоначального размера шеек коленчатых валов. "Повышение эффективности и совершенствование технической эксплуатации автомобильного подвижного состава". Сб. статей аспирантов и соискателей Кыргызской Аграрной Академии. Вып. 1, Бишкек: КАА, 1999, с. 28-35;

2. Барпиев А.Ж. Анализ и выбор методов испытания деталей двигателя на износостойкость. "Повышение эффективности и совершенствование технической эксплуатации автомобильного подвижного состава". Сб. статей аспирантов и соискателей Кыргызской Аграрной Академии. Вып. 1, Бишкек: КАА, 1999, с. 22-28;

3. Барпиев А.Ж. Место ускоренных, стендовых, износных испытаний деталей двигателя в общей системе испытаний. "Повышение эффективности и совершенствование технической эксплуатации автомобильного подвижного состава". Сб. статей аспирантов и соискателей кафедры "Тракторы и автомобили", - Вып. 2, Бишкек: КАА, 1999, с. 67-73;

4. Барпиев А.Ж. Оценка качества восстановления деталей автомобиля. /Сб. научных трудов: По материалам международной научно-теоретической

конференции, посвященной 5-летию образования КРСУ. - Бишкек: КРСУ, 2000, с. 112-118.

5. Нусупов Э.С., Барпиев А.Ж. Обоснование математической модели процесса изнашивания коленчатых валов. /Новые наукоемкие технологии и технологическое оборудование: Материалы конференции, посвященной I съезду инженеров Кыргызстана и 10-летию образования Инженерной академии КР. - Бишкек, 2001. с. 394 - 400.

6. Нусупов Э.С., Барпиев А.Ж. Конструкция стенда для испытания деталей на износостойкость и методика измерения износа. /Новые наукоемкие технологии и технологическое оборудование: Материалы конференции, посвященной I съезду инженеров Кыргызстана и 10-летию образования Инженерной академии КР. - Бишкек, 2001. с. 390 - 394.

7. Нусупов Э.С., Барпиев А.Ж. Исследование структурного состояния поверхностных слоев шеек валов и вкладышей. /Материалы международной конференции "Современные технологии и управление качеством в образовании, науке и производстве: опыт адаптации и внедрения" (23 - 24 мая 2001 г), Ч.П, Транспорт, энергетика, техника. КТУ им. Раззакова. - Бишкек, 2001, с. 351-357.

8. Зайцев В.Ф., Барпиев А.Ж. Экспериментальные исследования износостойкости коленчатых валов двигателя ЗМЗ-53. /Материалы международной конференции "Современные технологии и управление качеством в образовании, науке и производстве: опыт адаптации и внедрения" (23 - 24 мая 2001 г), Ч.П, Транспорт, энергетика, техника. КТУ им. Раззакова. - Бишкек, 2001, с. 49-54.

9. Нусупов Э.С., Барпиев А.Ж., Мамонтов В.Г. К вопросу о расчете ресурса коленчатого вала. /Материалы международной научно-практической конференции "Повышение эксплуатационной эффективности транспортных, строительно-дорожных машин и коммуникаций в условиях высокогорья и жаркого климата". - Бишкек: КГУСТА, 2002, с. 364-369.

10. Нусупов Э.С., Барпиев А.Ж., Мамонтов В.Г. Роль и место технической эксплуатации автомобилей в транспортном процессе. / Материалы международной научно-практической конференции "Повышение эксплуатационной эффективности транспортных, строительно-дорожных машин и коммуникаций в условиях высокогорья и жаркого климата". - Бишкек: КГУСТА, 2002, с. 370 - 375.

АННОТАЦИЯ

Барпиев Алтынбек Жарашбекович.

Тема: Прогнозирование и обоснование ресурса коленчатого вала автомобильного двигателя ЗМЗ-53 в эксплуатационных условиях Чуйской области.

В работе рассмотрен метод прогнозирования ресурса коленчатого вала двигателя по результатам безмоторных износных стендовых и эксплуатационных исследований. Приведены результаты аналитических и экспериментальных исследований зависимости скорости изнашивания шеек коленчатых валов от действующих на них различных эксплуатационных факторов. Основные выводы и рекомендации предложены для внедрения на автотранспортных предприятиях Чуйской области.

АННОТАЦИЯ

Барпиев Алтынбек Жарашбекович

Тема: Чүй областынын эксплуатациялык шартында автомобиль кыймылдаткычынын муунактуу валынын ресурсун негиздөө жана алдын ала билип айтуу. (үлгү катары ЗМЗ-53 кыймылдаткычы алынган).

Бул жумушта эксплуатациялык жана стендик өзү иштебеген кыймылдаткычтын муунактуу валынын жешилүүсүн изилдөөнүн натыйжасында, анын ресурсун алдын ала билип айтуу ыкмасы каралган. Муунактуу валдын жешилүү ылдамдыгынын ар кандай эксплуатациялык кырдалдардын тийгизген таасиринин көз карандылыгын аналитикалык жана эксперименталдык изилдөөнүн жыйынтыгы келтирилген. Негизги жыйынтыктар жана сунуштар Чүй областынын автотранспорттук ишканаларында жайылтууга сунуш кылынат.

Annotation

Barpiev Altynbek Jarashbekovich

Thesis: Forecasting and grounding the automobile crank shaft resources of ZMZ-53 in the exploitation process in Chui Oblast area.

This Thesis deals with the Sorecasing methods to crank shaft resources according to results of unfeigned and exploitation researches.

Results of analytical and experimental research are given number of exploitation factors influence the speed of crank shaft weariness. Main conclusions and recommendations and suggested are too get adopted in motor transport enterprises of Chui Oblast.