

УДК 621.436.001.4

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИ ОБОСНОВАННЫХ РЕЖИМОВ ОБКАТКИ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСЛЕ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА

**Волченков А.В.**

*Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Муром, Россия (602264, Муром, ул. Орловская, д. 23), e-mail: volchenkov@yahoo.com*

Технологическая обкатка механизмов занимает важное место в процессе изготовления и запуска машины в эксплуатацию. В процессе обкаточного нагружения происходит приработка узлов трения механизмов, осуществляется контроль изготовления и сборки машины в целом. Вместе с тем, обкатка – это очень энергоемкий и длительный процесс, особенно для мощных, крупноразмерных двигателей. Однако до сих пор режимы обкатки в промышленности назначаются, главным образом, на основе производственного опыта. Приработка трущихся деталей после изготовления или капитального ремонта имеет решающее значение для широкого класса двигателей внутреннего сгорания, у которых наиболее длительный процесс занимает адаптация деталей шатунно-кривошипного механизма в силу более высокой динамики нагружения при менее выгодных условиях трения с точки зрения осуществимости приработочных процессов. Разработанные на основе триботехнических свойств материалов наиболее нагруженных узлов трения новые режимы обкатки были разносторонне исследованы в производственных условиях. Полученные результаты свидетельствуют об их высокой эффективности.

Ключевые слова: режим обкатки, приработка материалов, трибосопряжение, нагрузочно-скоростной режим, микротвердость, приработочный износ.

## RESEARCH AND DEVELOPMENT TRIBOTECHNICAL THE REASONABLE MODES OF THE RUNNING IN OF ENGINES AFTER MAJOR REPAIR

**Volchenkov A.V.**

*Murom Institute (branch) Federal state budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and Nickolay Grigoryevich Stoletovs" (602264, Murom, Orlovskaya, 23), e-mail: volchenkov@yahoo.com*

The technological running in of gears takes an important place in the course of production and start of the car in operation. In the course of running loading occurs extra earnings of knots of friction of gears, control of production and assembly of the car in general is exercised. At the same time, the running in is very power-intensive and long process, especially for powerful, large-size engines. However still the running in modes in the industry are appointed, mainly, on the basis of a know-how. Extra earnings of the rubbing details after production or a major repair has crucial importance for a wide class of internal combustion engines from which the longest process is occupied by adaptation of details of the crank gear owing to higher dynamics of loading under less favorable conditions of friction from the point of view of feasibility the running of processes. The developed on the basis of tribotechnical properties of materials of the most loaded friction knots, new modes of a running in were versatile investigated under production conditions. The received results allow testify to their high efficiency.

Keywords: mode of a running in, running of materials, tribounit, load-speed mode, microhardness, the running-in wear.

В процессе обкатки двигателей внутреннего сгорания (ДВС) под нагрузкой происходит приработка основных узлов трения, обеспечивающая возможность их работы на номинальных нагрузках. Известно, что правильное проведение обкатки двигателя способствует не только исключению случаев повреждений деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) и кривошипно-шатунного механизма (КШМ), но и увеличению надежности и ресурса двигателя в целом.

## **Цель исследования**

Методы совершенствования обкаточных режимов основаны на экспериментальном изучении параметров обкатки конкретных натуральных ДВС. Но такими методами невозможно учесть трибологические закономерности приработки материалов сопряжений, определяющие условия безопасного и эффективного протекания приработки. Анализ повреждаемости в процессе обкатки и в эксплуатации показывает, что именно характер взаимодействия (трения) материалов в узлах предопределяет процесс обкатки двигателя в целом. Поэтому назначение режимов приработки необходимо проводить на основе закономерностей [2] прирабатываемости материалов трущихся поверхностей.

Рост прикладываемой к двигателю внешней нагрузки однозначно отражается на важнейших парах трения в узлах ЦПГ и КШМ. Вместе с тем условия приработки деталей в каждом из них существенно отличаются. Прежде всего, различаются материалы пар трения. Высокие пульсирующие температуры и давления, граничная смазка, переменные скорости скольжения – вот неполный перечень условий, в которых прирабатываются поршни, поршневые кольца, цилиндрические втулки. Вместе с тем, приработка деталей ЦПГ всегда проходит при граничной смазке, что существенно ее облегчает. Подшипники коленчатого вала прирабатываются при более низких температурах, но уровень нагрузок там существенно выше. Приработка деталей КШМ усложняется возможностью возникновения жидкостного трения, особенно при низком уровне нагрузок на начальных ступенях обкатки двигателя. В этой связи, лимитирующим фактором по продолжительности обкатки двигателя на каждой ступени нагрузочно-скоростного режима следует считать продолжительность приработки деталей КШМ.

## **Материал и методы исследования**

Проведенные на специальном триботехническом стенде лабораторные испытания по оригинальным методикам материалов трущихся пар [3, 4] ряда тепловозных двигателей позволили установить закономерности повышения нагрузочных и скоростных воздействий при приработке, отвечающие условиям безопасности по заеданию и эффективности по качеству поверхностей. Учет этих закономерностей применительно к стендовой обкатке двигателей обеспечивает осуществление приработки с сохранением одинакового запаса до заедания на всем ее протяжении.

Процесс приработки трущихся поверхностей проходит в несколько этапов. На первом этапе за счет поверхностной пластической деформации и интенсивного износа возрастают контурная, а затем и фактическая площади контактирования. Вначале вступают в контакт наиболее высокие микровыступы, которых сравнительно не много; на их вершинах возникают большие напряжения, превосходящие предел упругости. Вследствие

многократных пластических передеформаций происходит быстрое разрушение микровыступов, их вершины сглаживаются, высота уменьшается, микротвердость увеличивается. Процесс взаимной адаптации в этот период происходит очень быстро, причем безопасны даже очень высокие скорости роста нагрузки. Из-за большой удаленности очагов схватывания друг от друга процесс схватывания не может принять опасного лавинообразного характера. На следующем этапе в контакт вступают более низкие микровыступы. При этом изменяется микрогеометрия шероховатостей поверхностей. По мере адаптации поверхностей в пятнах контакта пластические деформации уступают место упругим, интенсивность изнашивания существенно уменьшается. К тому времени, когда подходит очередь высоких нагрузок, первичная приработка материалов уже произошла и отдельные участки поверхности приобрели повышенную микротвердость и изностостойкость. Дальнейшее увеличение площади контактирования за счет изнашивания и формирование соответствующих триботехнических свойств поверхностей, которое необходимо для восприятия более высоких нагрузок последующей ступени, все более затрудняется, а вероятность заедания возрастает. Поэтому время приработки на каждой последующей ступени продолжительнее, а безопасные приросты нагрузки меньше, чем на предыдущей. Наконец, наступает такой момент, когда дальнейшее изменение микрогеометрии шероховатостей и соответствующих физико-химико-механических свойств трущихся поверхностей блокируется микрозадирами в отдельных пятнах контакта и усталостным износом приповерхностных слоев. Устанавливается «равновесная» шероховатость и соответствующие текущему значению нагрузочно-скоростного режима триботехнические свойства материалов поверхностей. Следовательно, для обеспечения адекватности изменения нагрузочно-скоростного режима изменению физико-химико-механических свойств поверхностей трущихся деталей при приработке, необходимо, чтобы скорость роста тормозного момента снижалась в функции времени, причем величина прироста нагрузки не превышала на каждой ступени приработки безопасной величины.

Для оценки величины прироста нагрузки предложен [5] показатель  $k_j$ , который равен отношению размера прироста нагрузки на данной ступени обкатки к ее запасу до заедания. Применительно к реальным производственным условиям обкатки границей заедания целесообразно принять внешнюю характеристику ДВС, которая определяется максимально допустимыми параметрами его работы. На основании практического опыта проведения обкаток, безопасную величину  $k_j$  следует принять равной для разного типа двигателей и степени их энергонапряженности 0,1-0,25.

Разработаны опытные режимы обкатки тепловозных двигателей типа Д100 с учетом условий, сформулированных на основе выявленных закономерностей приработки

материалов основных пар трения узлов трения. Результатом выполнения этих условий явился опытный режим, при обкатке по которому основные сопряжения дизеля прирабатываются с гарантированным запасом нагрузочной способности. Величина максимального прироста тормозной мощности опытного режима не превышает максимальных значений по Правилам заводского ремонта, но осуществляется он в самом начале обкаточного нагружения, ибо в этот период такой прирост не опасен. Далее идет монотонное убывание прироста нагрузки. Показатель  $k_j$  при обкатке по опытной программе принят 0,16.

Программа натуральных стендовых испытаний включала в себя несколько этапов: обкатка трех контрольных двигателей в соответствии с Правилами заводского ремонта тепловозов типа ТЭЗ и ТЭ10; обкатка трех двигателей по опытной программе ( $k_j=0,12$ ); обкатка партии двигателей по улучшенной программе ( $k_j=0,16$ ). Критериями качества стендовой обкатки являлись: удовлетворительное взаимное прилегание поверхностей трения, отсутствие прорыва газов в кратер, отсутствие резких изменений температуры подшипников коленчатых валов, постепенное и стабильное снижение скорости изнашивания, отсутствие как повреждений, так и следов механической обработки на большей части площади рабочих поверхностей трущихся деталей [1], снижение уровня механических потерь дизеля в целом. Контроль за приработкой осуществлялся по всем параметрам, регламентируемым Правилами заводского ремонта, а также спектральным анализом проб масла из системы смазки дизеля, измерением температуры масла, в подшипниках нижнего коленчатого вала. Качество обкатки при комиссионных осмотрах определялось по состоянию поверхностей трения, а также измерению износов и определением механического к.п.д. методом выбега.

На основе анализа изменения концентрации частиц износа в масле установлено, что наиболее интенсивно приработка происходит в ЦПГ (железо) и гораздо мягче прирабатываются детали верхней головки шатуна (медь). Интенсивность приработки всех сопряжений в ходе обкатки непостоянна. По уровню интенсивности типовую обкатку можно разделить на два периода. В течение первого периода интенсивность приработки низкая, концентрация частиц износа убывает. Переход на каждый последующий режим не вызывает увеличения скорости изнашивания. Поверхности трения не «чувствуют» повышения нагрузки. Очевидно, что ступени повышения нагрузки слишком малы и, как следствие этого, к более высоким нагрузкам сопряжения подходят неподготовленными. Дальнейшее увеличение нагрузочного воздействия вызывает резкий рост концентрации частиц износа, который не прекращается до конца обкатки.

Данные спектрального анализа полностью подтверждаются результатами измерения температуры масла, вытекающего из подшипников коленчатого вала. В течение первого периода обкатки температура масла растет незначительно. Резкий ее рост во втором периоде

обкатки обусловлен предзадирым состоянием вкладышей коленчатого вала. При средней температуре масла в системе 90° температура поверхности вкладыша достигала 120-160°С. Так как температурная стойкость дизельного масла 140 - 160°С, то таким образом создаются условия для образования задира. Ужесточение трения во этом периоде объясняет известные из производственного опыта частые случаи задиров деталей КШМ в этот период обкатки. Таким образом, была подтверждается аналитическая оценка режимов.

По опытной программе было обкатано также три дизеля, причем один из них проходил обкатку без разгрузок на последних этапах. Из анализа зависимостей концентрации частиц износа и температуры масла, вытекающего из торцов коренного вкладыша нижнего коленчатого вала следует, что на всем протяжении обкатки сопряжения дизеля находятся в оптимальных условиях, т. е. отсутствуют как периоды критического повышения концентрации частиц износа в масле и резкого повышения температуры самого масла (предзадирым состояние сопряжений), так и участки их резкого снижения (прекращение приработки). С учетом полученных результатов обкатка двух следующих двигателей проводилась с кратковременными разгрузками длительностью до пяти минут, с целью снижения опасности заедания прирабатывающихся поверхностей. При сравнении с параметрами обкатки контрольного дизеля, которая проходила без разгрузок, были выявлены следующие положительные результаты: концентрация частиц износа в масле снизилась на 5-10 %, температура масла в подшипниках – на 30-70°С без снижения эффективности приработки в целом. И еще одно обстоятельство следует иметь в виду. Как известно, при прочих равных условиях, степень приработанности сопряжений определяется только временем приработки на наибольшей нагрузке. Работа дизеля на нагрузке выше 1960 кВт при обкатке по Правилам заводского ремонта составляет 70 мин, а при обкатке по опытной программе – 125 мин, или больше на 79 %. Следовательно, степень приработанности двигателей во втором случае должна быть выше.

Во время комиссионных осмотров двигателей, обкатанных по опытной программе, установлено, что состояние юбок поршней, поршневых колец, зеркал цилиндрических втулок, перемычек удовлетворительное. Различия в состоянии поршневых колец одного типа незначительны. Вкладыши коленчатых валов имели 90-100 % приработанной поверхности без глубоких рисок.

Результаты, полученные в ходе проверок опытных режимов обкатки двигателей типа Д100, в основу которых были положены принципы эффективности приработки на всем ее протяжении, позволили уточнить характер обкаточного нагружения. Прежде всего, был повышен размер первого прироста тормозной мощности с 40 до 135 кВт и одновременно увеличено время приработки на этой ступени с 5 до 10 мин. Соответственно увеличился

общий уровень текущей нагрузки на тех же позициях контроллера при более плавном изменении характера и величины приростов тормозной нагрузки. Введение разгрузок на последних этапах обкатки позволило несколько увеличить размер минимального прироста нагрузки с 10 до 40 кВт и время работы на этих ступенях. Приработка на нагрузке свыше 1960 кВт при обкатке по уточненной опытной программе составила 120 мин. В результате более интенсивного нагружения общее время обкатки сократилось до 7 ч 15 мин вместо 15 ч по Правилам заводского ремонта. Уточненный режим не претерпел принципиальных изменений, не произошло существенных изменений и в текущих параметрах обкатки и ее результатах.

По уточненной опытной программе было обкатано три дизеля. Из-за более интенсивного нагружения на первой ступени несколько быстрее растет концентрация частиц износа и температура масла в подшипниках коленчатых валов по сравнению с первоначальным вариантом, зато по мере нагружения рост концентрации частиц износа и температуры масла в подшипниках прекращается, нет опасных изменений в характере трения важнейших сопряжений дизеля. Уровень температуры масла определяется главным образом рабочим процессом в двигателе.

Комиссионными осмотрами двигателей, обкатанных по уточненной опытной программе, выявлено, что по состоянию поршней, цилиндрических втулок, вкладышей замечаний нет. Различия в приработке уплотнительных колец одного типа незначительны.

Характер изменения температуры поверхностей трения на каждой ступени приработки при неизменном внешнем воздействии однозначно отражает изменение режима трения от граничного до смешанного и жидкостного. Поэтому окончательное уточнение параметров режимов обкатки на каждой ступени нагрузочно-скоростного воздействия проводилось на основе анализа изменения и стабилизации температуры масла, вытекающего из торцов коренных вкладышей нижнего коленчатого вала. С учетом результатов измерения температуры, полученных при всех способах проведения обкаточных испытаний, а также на основе обобщения производственного опыта, длительность каждой ступени назначалась по наибольшему времени стабилизации температуры подшипников коленчатого вала при текущем уровне нагрузки и скорости скольжения. Остальные параметры режима - текущие тормозные нагрузки и скорость вращения коленчатого вала на каждой ступени, характер изменения приростов тормозной мощности и тормозного момента в процессе обкаточного нагружения, изменение показателя режима  $k_j$  - остались прежними. Каких-либо существенных отличий в текущих параметрах обкатки, качества приработки трущихся поверхностей выявлено не было.

### **Заключение**

В итоге проведенных исследований и испытаний разработаны трибологически обоснованные режимы обкаточного нагружения с периодическим «отдыхом», позволяющие проводить обкатку двигателей с гарантированным запасом до заедания на всем ее протяжении. Износ основных пар трения по опытной программе меньше на 10-14 %; механический к.п.д. больше на 7 %, удельный расход топлива меньше на 2,5 %. Трущиеся поверхности двигателей характеризуются более качественной приработкой, более полным взаимным прилеганием, что обуславливает увеличение их ресурса и повышение надежности в процессе его эксплуатации. Экономическая эффективность разработанных улучшенных режимов обкатки двигателей типа Д100 после ремонта определяется сокращением времени обкатки в 2,5 раза, снижением расхода топлива более чем на 50,4 %, масла на 5 %, случаи задиров трущихся сопряжений на 87%.

### Список литературы

1. Буше Н.А. Подшипники из алюминиевых сплавов. / Н.А. Буше, А.С. Гуляев, В.А. Двоскина, К.М. Раков. – М: «Транспорт», 1974. – 248 с.
2. Буше Н.А., Алексеев Н.М., Трушин В.В., Маркова Т.Ф. Механические процессы формирования вторичных структур подшипниковых сплавов. Трение и износ. – 1981. – Т. 2, № 3. – С. 212-220.
3. Волченков А.В. Исследование антифрикционных материалов узлов трения на прирабатываемость // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6;
4. Волченков А.В., Матвеев Е.А. Режим приработки как функция триботехнических свойств материалов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2014. - № 4 (306). – С. 144-148.
5. Волченков А.В. К вопросу интерпретации приработки при трении Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. VI Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. Тез. Докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 2014 г.– Муром: Изд.-полиграфический центр МИ влгу, 2014.– 695 с.: ил.– [Электронный ресурс].

### Рецензенты:

Соловьёв Д.Л., д.т.н., профессор кафедры автоматизированного проектирования машин и технологических процессов Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром;

Шпаков П.С., д.т.н., профессор, профессор кафедры автоматизированного проектирования машин и технологических процессов Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром.