

ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ ОБКАТКИ ДВИГАТЕЛЯ ПОСЛЕ РЕМОНТА

В.Г. Андруш, ст. преподаватель (УО БГАТУ)

Аннотация

Рассмотрены существующие режимы обкатки двигателей ЯМЗ моделей 236 и 238 после капитального ремонта.

Существенные различия в режимах обкатки наблюдаются на всех стадиях.

Вариации режимов стендовой обкатки обусловлены технологическими возможностями предприятия. Поэтому качество прирабатываемых поверхностей должно определяться не только продолжительностью обкатки, но и другими показателями, например, мощностью механических потерь, содержанием продуктов износа в масле, температурой масла и т.д.

Чем выше технологические возможности и культура производства на предприятии, тем меньшим будет время приработки сопрягаемых деталей.

Введение

У отремонтированных двигателей по сравнению с новыми большая продолжительность обкатки (в 1...2,8 раза) и примерно в 2 раза больше этапов обкатки, а нагрузки на последних этапах составляют не более 80...90% от номинальной.

Существуют различные методы назначения нагрузочно-скоростных режимов обкатки двигателей: опытным путем, по содержанию железа и других продуктов износа в масле, расчетно-аналитическим способом и др.

До настоящего времени не имеется достаточно простой и обоснованной методики выбора оптимальных режимов приработки, чем и обуславливается многообразие режимов заводской обкатки.

Сложная взаимосвязь и механизмы явлений при приработке ДВС, их главные количественные характеристики до сих пор остаются невыясненными, а, следовательно, не созданы достаточные возможности для направленного изменения процессов с целью последующей оптимизации приработки. Это обуславливает необходимость дальнейшего развития и углубления экспериментально-теоретических исследований данного процесса.

Наиболее совершенна методика теоретически-экспериментального обоснования режима обкатки. В основе этого метода лежит обоснование этапов обкатки по удельным нагрузкам, действующим в основных, трудно прирабатываемых сопряжениях кривошипно-шатунного механизма двигателя, с последующим экспериментальным уточнением продолжительности отдельных этапов обкатки по стабилизации износа деталей, температур трения, прорыва газов и других показателей.

Основная часть

Исходные данные для расчета удельных нагрузок определяются тепловым расчетом рабочего про-

цесса или индицированием двигателя на режимах прокрутки, холостого хода и под нагрузкой.

Логично предположить, что нужно стремиться к максимальному изменению (нарастанию) частоты вращения и нагрузки в ходе приработки, не допуская при этом, чтобы на каждом ее этапе величины критерия заедания превосходили критические значения. В таком случае будет обеспечена минимальная продолжительность и высокое качество, т. е. достигнуто оптимальное решение по режиму приработки двигателей.

В конечном счете, задача сводится к решению целевой функции:

$$\Pi \longrightarrow \Pi_{opt} \quad (1)$$

$$\Pi = \varphi(\tau, n, N_{0МП}, N_T, T_M), \quad (2)$$

где Π – состояние приработанной поверхности в результате обкатки;

Π_{opt} – оптимальное состояние приработанной поверхности;

τ – продолжительность приработки;

N_T – тормозная мощность на стенде;

n – частота вращения коленчатого вала двигателя;

$N_{0МП}$ – мощность механических потерь в начале обкатки;

T_M – температура масла.

Следовательно, выбор режима обкатки двигателя состоит в установлении рациональных значений независимых переменных $\tau, n, N_{0МП}, N_T, T_M$ в уравнении (2) для реализации целевой функции (1).

Очевидно, что даже при ограничениях численных значений $\tau, n, N_T, N_{0МП}, T_M$ в реальных условиях, количество их сочетаний будет достаточно большим. Кроме того, уравнение (2) не учитывает влияния многочисленных конструктивных и технологических факторов, которые, в свою очередь, подвержены статистическим вариациям. Поэтому и отсутствуют единые, сложившиеся режимы предэксплуатационной техноло-

гической стендовой обкатки при капитальном ремонте двигателей даже для одной модели.

С другой стороны, режим обкатки двигателей на всех ремонтных предприятиях не может быть одинаковым. Условия приработки деталей зависят от технологических возможностей каждого предприятия и уровня культуры производства. Даже на одном предприятии продолжительность приработки может не совпадать для всех отремонтированных двигателей, так как в подготовленных для стендовой обкатки двигателях одинаковые детали не имеют абсолютно одинаковые чистоту поверхности и размеры, а сопряжения – одинаковые зазоры или натяги.

Действительно, анализ режимов стендовой обкатки двигателей ЯМЗ моделей 236 и 238 показал их значительные расхождения друг от друга [1-6, 7, 9].

Общими для всех приведенных режимов являются трехстадийная обкатка, состоящая из холодной приработки, приработки на холостом ходу и под нагрузкой, а также ступенчатое изменение нагрузки и частот вращения коленчатого вала.

Существенные различия в режимах обкатки наблюдаются на всех стадиях. Например, холодная приработка проводится в два и три этапа. При этом минимальная частота вращения коленчатого вала изменяется в диапазоне от 400 до 800, максимальная – от 700 до 1400 мин⁻¹. Продолжительность первого этапа холодной приработки колеблется от 5 до 40, а общее время – от 15 до 90 мин.

Так, по данным [1], горячая под нагрузкой обкатка двигателей ЯМЗ-236, 238 осуществляется за восемь этапов, по данным [7] – за семь, по данным [9] за пять этапов, по данным [2, 4] – за четыре, по данным [3] – за два этапа, а процесс обкатки начинается с частот вращения, равных: 1100, 1500, 1550, 1600, 1700 мин⁻¹ и заканчивается при 1700, 2000, 2100, 2200 мин⁻¹. Начальные нагрузки при горячей обкатке варьируются в пределах 8,1 – 33,2 % (мод.236) и 9,2 – 34 % (мод.238) от номинальной мощности двигателя, а конечные в пределах 21,9 – 83,1 % и 24,9 – 83,3% соответственно.

В широких пределах варьируется общая продолжительность обкатки – от 75 до 215 мин. В значительном диапазоне изменяется и продолжительность горячей обкатки при максимальных нагрузках – от 5 до 25 мин. Однако на этом этапе наблюдается тенденция к снижению времени обкатки до 10, в ряде случаев до 5 и даже 2 минут.

На рисунках 1 и 2 приведены зависимости тормозной мощности N_T и нагрузки P от времени обкатки τ и частоты вращения коленчатого вала n для двигателей ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238, построенные по результатам работ [2-5,9]. Анализ кривых 1-11 на рисунках 1 и 2 показывает существенные различия в динамике нагружения двигателя при горячей обкатке.

Тормозная мощность и удельные давления должны изменяться линейно. Резкий скачкообразный рост нагрузки может вызвать задиры или заедание поверхностей трения в процессе приработки. Поэто-

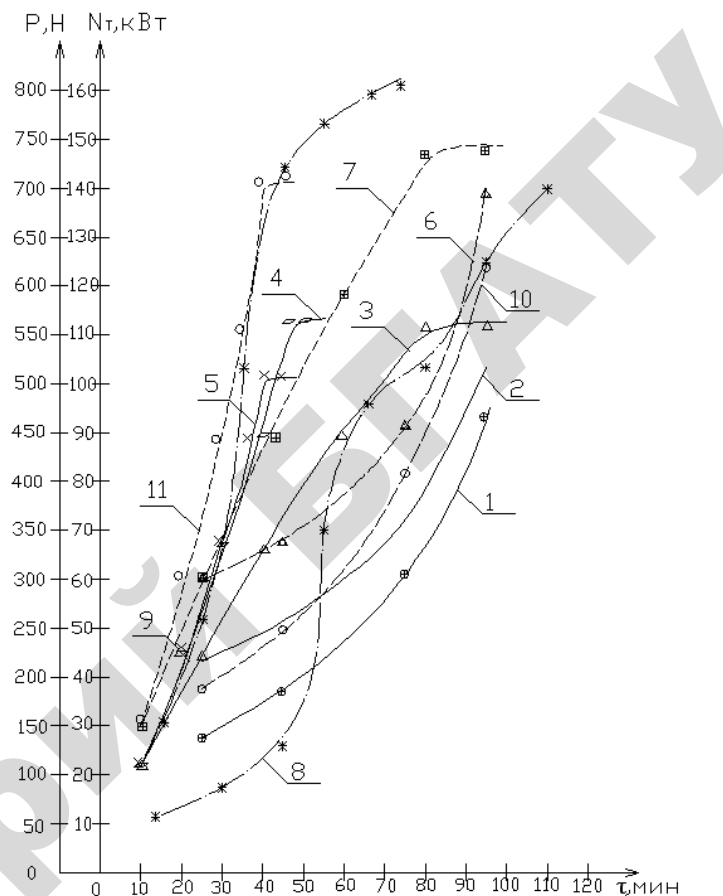


Рисунок 1. Зависимость эффективной тормозной мощности (кривые 1-7, 10, 11) и нагрузки P (кривые 8, 9) от времени обкатки: 1, 2, 3, 4, 5 – двигатель ЯМЗ-236 по данным [2 – 5, 9]; 6, 7, 10, 11 – двигатель ЯМЗ-238 по данным [2, 4, 5, 9]; 8, 9 – двигатель ЯМЗ-238 по данным [1].

му линейный, плавный характер изменения удельных давлений большинством авторов считается обоснованным. Однако характер изменения тормозной нагрузки не всегда соответствует характеру изменения удельных давлений на основные пары трения.

На основании изложенного невозможно однозначно выбрать рациональный режим обкатки и рекомендовать его для реализации. В связи с этим возникает необходимость оценки влияния каждой стадии обкатки на начальный износ и качество приработки несущих поверхностей деталей двигателя.

Первой стадией обкатки двигателя является холодная приработка. При холодной приработке происходит интенсивное изменение микро и макрогеометрии поверхностей трения с большими удельными износами, которые могут достигать от 20 до 70 % за весь обкаточный период [1].

В связи с этим, режимам стадии холодной приработки следует уделять особое внимание. Ускорения и высокое качества приработки на этой стадии можно достичь при ее проведении на малых скоростях

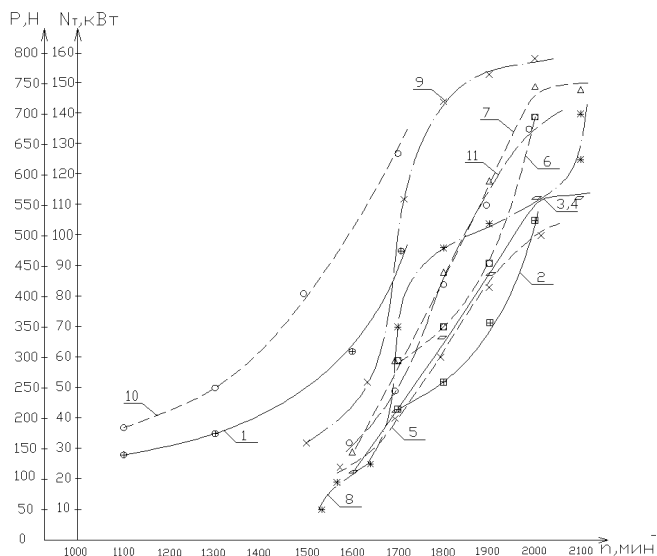


Рисунок 2. Зависимость эффективной тормозной мощности (кривые 1-7, 10, 11) и нагрузки P (кривые 8, 9) от частоты вращения коленчатого вала: 1, 2, 3, 4, 5 – двигатель ЯМЗ-236 по данным [2, 4, 5, 9]; 6, 7, 10, 11 – двигатель ЯМЗ-238 по данным [2, 4, 5, 9]; 8, 9 – двигатель ЯМЗ-238 по данным [1].

скольжения деталей, так как при этом износ резко возрастает по сравнению с износом при высоких скоростях и удельные давления в парах трения на малых и средних оборотах у дизельных двигателей сразу принимают высокие значения, до 13 МПа [2].

Но, с другой стороны, и интенсивное охлаждение прирабатываемых поверхностей затрудняется из-за низкой производительности масляного насоса при оборотах двигателя менее 500 мин⁻¹.

При высоких частотах вращения коленчатого вала на стадии холодной обкатки толщина масляного слоя увеличивается, и качество прирабатываемых поверхностей возрастает. Кроме того, с увеличением скорости скольжения поверхностей трения уменьшается время, но возрастает частота контактирования микровыступов сопрягаемых поверхностей, вследствие чего увеличиваются путь и работа трения в единицу времени. При этом повышение скорости пластического деформирования микровыступов приводит к быстрому заполнению впадин микронеровностей металлом.

В этих случаях износ сопровождается избирательным переносом металла с образованием тонких защитных пленок, приработка узлов трения ускоряется с образованием сравнительно небольших масс продуктов износа [8].

А при уменьшении скорости скольжения, то есть частоты вращения, микровпадины заполняются большей частью не металлом за счет его пластического деформирования, а продуктами износа, окислами, поэтому приработка поверхностей трения ухудшается с образо-

ванием глянцевого слоя, заполирования. При увеличении нагрузки приработка такой поверхности начинается заново из-за низкой несущей способности заполированного глянцевого слоя и время приработки возрастает.

При холодной обкатке действуют только инерционные силы и характер изменения удельных давлений от них на сопряжения "поршень-цилиндр" и "шейка коленчатого вала-вкладыш" в зависимости от частоты вращения коленчатого вала примерно одинаков [2]. Ограничение максимальных значений частот вращения при холодной обкатке обусловлено максимальным суммарным уровнем удельных давлений в указанных сопряжениях. Как видно из рисунка 3, при $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ удельные давления начинают падать, а при достижении частоты вращения значения равного 1400 мин⁻¹ и более процесс приработки сопряжения "поршень-цилиндр" замедляется.

Дальнейшее повышение частоты вращения коленчатого вала при холодной обкатке нерационально, так как будут прирабатываться лишь те поверхности трения, которые подвержены воздействию инерционных сил (вал-подшипник).

Следующей стадией стендовой обкатки двигателей является обкатка на холостом ходу. На этой стадии удельные давления в сопряжениях мало чем отличаются от холодной обкатки (рис. 3). Прирост их в связи с воздействием небольших газовых давлений на поршневые кольца является несущественным. В связи с этим нет необходимости проводить обкатку на холостом ходу на тех частотах вращения коленчатого вала, на которых закончена холодная приработка, а целесообразно идти по пути равномерного повышения частоты вращения. Но поскольку при обкатке на холостом ходу при высоких частотах вращения инерционные силы недостаточно компенсируются нагрузками от давления газов, то, как следствие, происходит повышенный износ сопряжения "шатунная шейка – вкладыш", перегрузка и повреждение подшипников коленчатого вала, особенно, если последний не сбалансирован.

Одновременно увеличивается мощность трения в подшипниках и трущиеся поверхности не успевают охлаждаться смазочным маслом. Таким образом, обкатка на холостом ходу при высоких частотах вращения не только нерациональна, но и может привести к отрицательным последствиям.

Обкатка только на холостом ходу не может обеспечить удовлетворительную прирабатываемость поршневых колец и зеркал цилиндров. Из-за относительно низких температур и неполного сгорания топлива, смывания масляной пленки и повышенного трения при незначительных газовых нагрузках на поршневые кольца возникает глянец зеркала цилиндров.

Глянец повышает расход масла и приводит к потере мощности. Во избежание этого явления после обкатки двигателя на холостом ходу обязательна обкатка под нагрузкой.

Продолжительность обкатки на холостом ходу ограничивается временем, необходимым для прогрева двигателя, с целью последующей его обкатки под нагрузкой, так как считается установленным [2], что

холодной обкатки достаточно для подготовки поверхностей трения для работы в нагруженном режиме. Заключительная стадия обкатки – это горячая

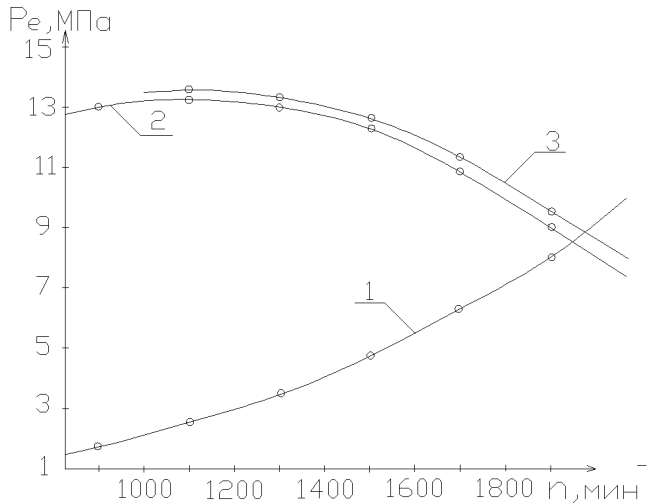


Рисунок 3. Изменение суммарных максимальных удельных давлений, действующих на пару трения "шатунная шейка-подшипник" в зависимости от режима работы двигателя ЯМЗ-238 [2]: 1 – инерционные нагрузки; 2 – режимы холодной обкатки; 3 – режим холостого хода.

обкатка под нагрузкой. Если при работе двигателя на холостом ходу силы давления газов в цилиндре малы и практически не компенсируют инерционные силы, а действие максимальных инерционных сил проявляется на каждом обороте коленчатого вала, то под нагрузкой действие этих сил проявляется через один оборот на такте расширения (рабочего хода). При высоких частотах вращения коленчатого вала инерционные нагрузки в определенной степени уравновешиваются силами давления газов.

Однако при этом алгебраическая сумма инерционных сил и газового давления остается значительной, определяющей приработку пар трения на этой стадии обкатки (рис. 3). Во избежание задиоров несущих поверхностей необходимо обеспечить плавное повышение удельных давлений относительно действующих на предшествующей стадии или этапе обкатки. Для обеспечения требуемой прирабатываемости трущихся пар в процессе обкатки они должны подвергнуться значительным нагрузкам. С этой целью частоту вращения коленчатого вала необходимо повышать до значений, близких к максимальным.

Выводы

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Режим обкатки при капитальном ремонте двигателей ЯМЗ моделей 236 и 238 должен состоять из трех стадий: холодной обкатки, обкатки на холостом ходу и горячей обкатки под нагрузкой.
2. Режимы стендовой обкатки на различных ре-

монтных предприятиях отличаются значениями тормозной мощности N_T (нагрузки P), продолжительности обкатки τ , частоты вращения коленчатого вала n , температуры масла T_M , мощности механических потерь в начале обкатки $N_{0МП}$.

3. Вариации режимов стендовой обкатки обусловлены технологическими возможностями предприятия. Качество прирабатываемых поверхностей должно определяться не только продолжительностью обкатки, но и другими показателями, например, мощностью механических потерь, содержанием продуктов износа в масле, температурой масла и т.д.

Чем выше технологические возможности и культура производства на предприятии, тем меньшим будет время приработки сопрягаемых деталей.

4. Частоту вращения коленчатого вала и тормозную мощность необходимо изменять ступенчато при их постепенном увеличении от минимальных до максимальных значений.

Удельные давления на основные несущие поверхности деталей должны нарастать по линейному закону и определяться на основании динамического расчета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заренбин, В.Г. Исследование режимов приработки автомобильных двигателей при капитальном ремонте / В.Г. Заренбин, А.Х.Касумов. – М.: Транспорт, 1983. – С. 78.
2. Мухин, Е. М. Обкатка V-образных автомобильных двигателей при капитальном ремонте / Е.М.Мухин, И.И.Столяров. – М.: Транспорт, 1974. – 104 с.
3. Погорельый, И.П. Обкатка и испытание тракторных и автомобильных двигателей / И.П. Погорельый. – М.: Колос, 1973. – С. 208.
4. РК 200-РСФСР-2/1-2018-88. Двигатели ЯМЗ мод.236, 238, 240 и их модификации. Руководство по капитальному ремонту 236.00.000 РК Ч.П. Сборка, регулировка и испытания. – М.:ГОСНИТИ, 1989. – 278 с.
5. Двигатели ЯМЗ-236, ЯМЗ-238, ЯМЗ-238А, ЯМЗ-238В. Обкатка и испытания: инструкция. – Ярославль, 1978. – 164 с.
6. Гаенко, Л.М. Приработка и испытание автомобильных двигателей / Л.М. Гаенко. – М.: Транспорт, 1966. – С. 110.
7. Чернышев, Г.Д. Ремонт двигателей ЯМЗ / Г.Д. Шаронов, В.Д. Аршинов. – М.: Транспорт, 1974. – С. 216.
8. Вохидов, А.С. Методы повышения износостойкости и ресурсосбережение за счет применения эпиламирующих составов / А.С. Вохидов, М.В. Мальков, В.Ю. Долганов // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2007, №1. – С. 9 – 12.
9. РК РБ 000 17590. 444 – 95. Двигатели ЯМЗ-236, 238, 240 и их модификации. Руководство по капитальному ремонту: инструкции. Введ. 01.06.96. – Минск: БелНИИТТранстехника, 1995. – Ч. 2. – С. 198-203