

УДК 621.436.004.67

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО РЕЖИМА ОБКАТКИ РЕМОНТИРУЕМЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

*канд. техн. наук, доц. В.Г. АНДРУШ**(Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск)*

Представлены результаты исследования стендовой обкатки ремонтируемых дизелей ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238 на различных режимах. Об износе и интенсивности изнашивания судили по изменению содержания железа в обкаточном масле, контролировалась динамика изменения мощности механических потерь и температура масла во время обкатки. По результатам испытаний выбран рациональный режим обкатки двигателей.

Введение. Капитальный ремонт машины обходится в 2...3 раза дешевле приобретения новой. Отношение стоимости капитального ремонта машины к цене новой уменьшилось в последнее время с 30...40 до 20...28 %, а двигателей – с 40...60 до 22...30 %. Эти изменения вызваны ростом цен на новую технику и снижением стоимости ремонта, что экономит около 50 млрд. руб. в сравнении с закупкой такого же количества новых двигателей [1]. В настоящее время в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь эксплуатируется около 95 тысяч дизельных двигателей, в том числе: на тракторах – 53, зерноуборочных комбайнах – 12, автомобилях – 20, кормоуборочных комбайнах и другой специальной технике – 10. Количество отказов и неисправностей двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в общей структуре отказов для отдельных машин достигает 35...55 % [2, с. 39]. Двигатели ЯМЗ-236, -238, -240 и их модификации широко используются не только в автомобилях, но и в сельскохозяйственной технике, их ремонтируют на 12 специализированных предприятиях системы агросервиса Республики Беларусь (на 5 мотороремонтных заводах, в 4 райагросервисах и в 3 райагропромтехниках).

Существующие режимы обкатки рассчитаны на ремонтируемые двигатели с усредненными выходными параметрами, без учета индивидуальных показателей. Как показала практика, одни двигатели достигают состояния обкатанных в более короткие сроки, чем по установленному режиму, другие – с большой мощностью механических потерь в начале обкатки – не успевают приработаться, перегреваются и даже заклинивают. Исходя из этого стоит задача выбора рационального режима стендовой обкатки двигателей, чтобы на его основе в дальнейшем разработать алгоритма селективного управления обкаткой двигателей в зависимости от их технического состояния.

В соответствии с нормативно-технической документацией обкатка двигателей, являясь завершающей операцией ремонта, осуществлялась на обкаточно-тормозном стенде модели КИ-5274-ГОСНИТИ. Для сборки двигателей использовались детали, восстановленные по технологиям Минского авторемонтного завода, при этом проверялось соответствие технической документации основных деталей двигателя. Техническое состояние двигателя в целом оценивалось начальной мощностью механических потерь. В зависимости от величины этого параметра принималось решение о готовности двигателя к стендовым испытаниям.

Основная часть. Износ и интенсивность изнашивания контролировались методом спектрального анализа. В каждый двигатель перед обкаткой заливали свежее масло. Пробы масла для спектрального анализа брались перед его заливкой в двигатель, затем через каждые 5 или 10 мин в зависимости от продолжительности этапа, а также после каждого этапа приработки. Отбор проб масла производился шприцем с наконечником из картера двигателя через отверстие масломерной линейки. Масло отбиралось с уровня на 25...30 мм ниже отметки на масломерной линейке, указывающего минимально допустимый уровень масла.

Температура воды и масла измерялась с погрешностью ± 2 %, давление воды и масла в системе охлаждения и смазки – с погрешностью $\pm 1,0$ %. Частота вращения определялась измерителем цифровым тахометрическим с погрешностью $\pm 0,5$ %. Измерение крутящего момента осуществлялось с помощью маятникового силоизмерительного механизма с погрешностью $\pm 1,0$ %, предел измерения 0...1800 Нм. Расход топлива измерялся устройством с погрешностью $\pm 1,0$ %.

Температура охлаждающей воды поддерживалась в следующих пределах: на стадии холодной обкатки 55 ± 5 °С, горячей 70 ± 10 °С, температура масла при горячей обкатке 80...95 °С, при максимальном нагрузочном режиме температура воды не превышала 90 °С, масла – 100 °С.

Мощность механических потерь $N_{мп}$ определялась для каждого двигателя до окончания каждого этапа приработки и после при частоте вращения коленчатого вала 500 мин^{-1} :

$$N_{мп} = M_{кр} \cdot n / 9550, \text{ кВт},$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент, Н·м; n – частота вращения коленчатого вала, мин^{-1} .

Крутящий момент двигателя $M_{кр}$ рассчитывается по следующей формуле:

$$M_{кр} = P_{Вес} \cdot l,$$

где $P_{Вес}$ – показание измерительного устройства стенда, Н; l – плечо весового устройства стенда ($l = 0,7162$ м).

Испытания двигателей проводились по последовательному плану: первоначально обкатка выборки двигателей осуществлялась по используемому на заводах более продолжительному режиму (табл. 1); затем – по разработанному промежуточному (табл. 2); далее – самому кратковременному режиму (табл. 3).

Таблица 1

Режим обкатки двигателей ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238 [3, с. 256]

Этапы обкатки	Частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹	Мощность, кВт		Продолжительность, мин
		ЯМЗ-236	ЯМЗ-238	
Холодная	500...600	–	–	40
"-	700	–	–	30
На холостом ходу	1000	–	–	15
Горячая под нагрузкой	1700	44	60	25
То же	1800	52	68	20
"-	1900	78	90	30
"-	2000	104	137	20
Итого				180

Таблица 2

Промежуточный режим обкатки двигателей ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238

Стадия и этап обкатки	Частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹	Мощность, кВт		Продолжительность, мин
		ЯМЗ-236	ЯМЗ-238	
Холодная	800	0	0	30
То же	1200	0	0	25
"-	1400	0	0	10
Всего				65
На холостом ходу	1500	0	0	10
Горячая под нагрузкой	1600	22	44	10
То же	1700	44	66	10
"-	1800	66	88	10
"-	1900	88	110	10
"-	2000	102,5	138,5	10
Всего				50
Итого				125

Таблица 3

Режим обкатки двигателей ЯМЗ-236, -236М и ЯМЗ-238, -238М [4, с. 200]

Этапы обкатки	Частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹	Мощность, кВт		Продолжительность, мин
		ЯМЗ-236	ЯМЗ-238	
Холодная	800	0	0	20
"-	1200	0	0	20
"-	1400	0	0	10
Всего				50
На холостом ходу	1500	0	0	10
Горячая под нагрузкой	1600	22	30	10
То же	1700	44	60	10
"-	1800	66	88	5
"-	1900	88	110	5
"-	2000	102	138	5
Всего				35
Итого				95

О динамике износа деталей судили по изменению содержания железа в обкаточном масле. Результаты измерения в зависимости от продолжительности обкатки и частоты вращения коленчатого вала приведены на рисунках 1 и 2.

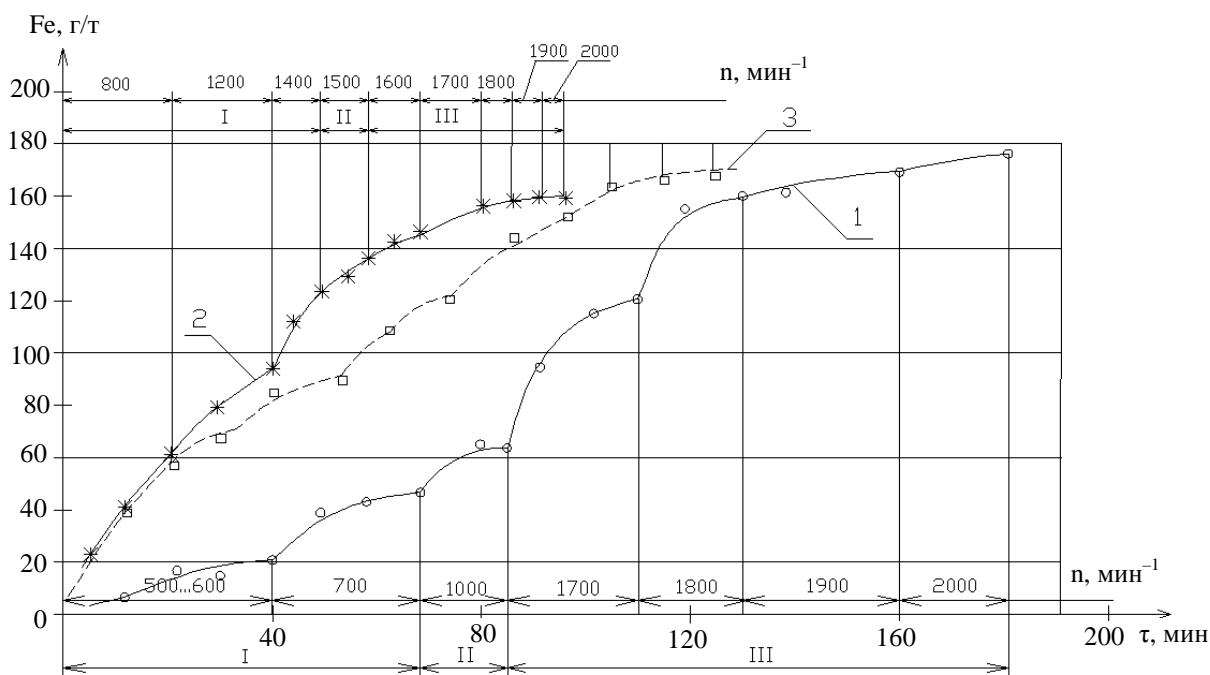


Рис. 1. Динамика износа деталей двигателя ЯМЗ-236:

1 – режим обкатки по таблице 1; 2 – режим обкатки по таблице 3; 3 – режим обкатки по таблице 2

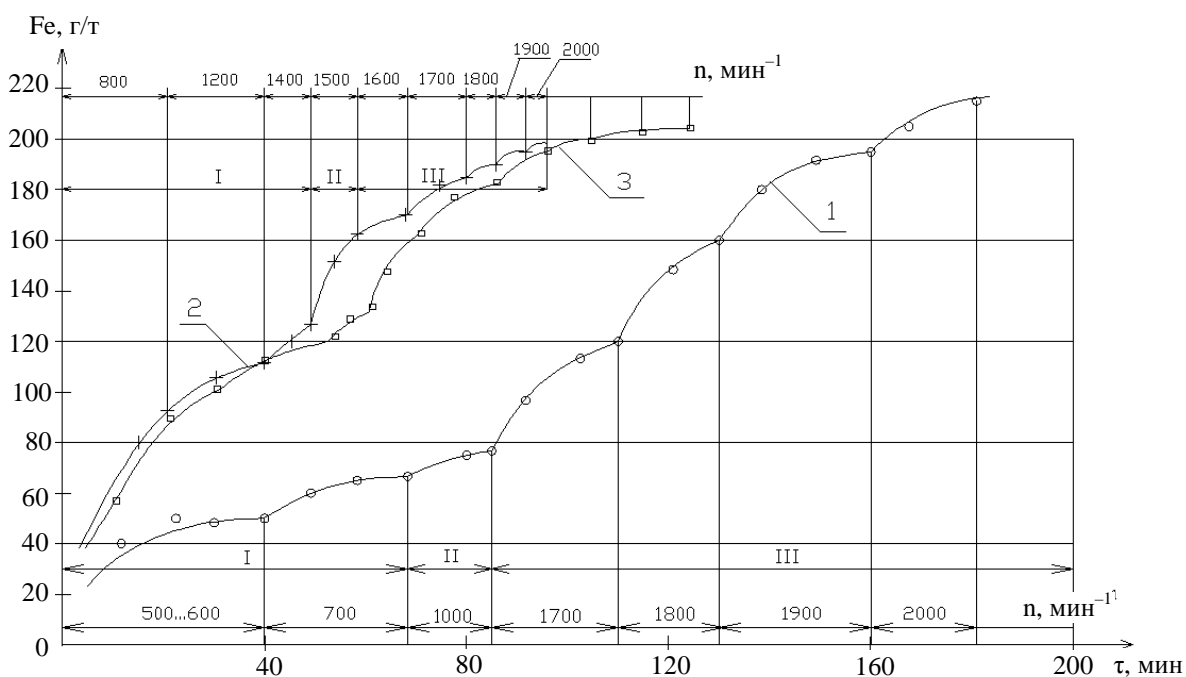


Рис. 2. Динамика износа деталей двигателя ЯМЗ-238:

1 – режим обкатки по таблице 1; 2 – режим обкатки по таблице 3; 3 – режим обкатки по таблице 2

Износ по стадиям приработки распределился следующим образом:

- для двигателя ЯМЗ-236 (кривая I, рис. 1) – холодная обкатка – 28, на холостом ходу – 10, горячая под нагрузкой – 62 %;
- для двигателя ЯМЗ-238 (кривая I, рис. 2) – холодная обкатка – 31, на холостом ходу – 6, горячая под нагрузкой – 63 %.

Следовательно, износ протекает весьма неравномерно, основная его доля приходится на стадию горячей обкатки. При этом средняя интенсивность изнашивания (отнесенная к одной тонне смазочного масла) на стадии холодной обкатки составляет 0,7 и 0,93 г/т-мин, а на стадии горячей обкатки под нагрузкой – 1,15 и 1,58 г/т-мин или превышает в 1,6 и 1,7 раза для двигателей ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238 соответственно. Наибольшая интенсивность изнашивания возникает на первом этапе горячей обкатки при частоте вращения коленчатого вала 1700 мин^{-1} и равна 2,2 г/т-мин при тормозной мощности 44 кВт для ЯМЗ-236 и 1,8 г/т-мин при тормозной мощности 60 кВт для ЯМЗ-238. Появление такого существенного износа на первом этапе горячей приработки сопровождается скачкообразным ростом температуры масла. Если прирост температуры масла за весь период обкатки двигателя, т.е. за 180 мин составил 45°C , то за первый этап горячей обкатки под нагрузкой продолжительностью 25 мин – 15°C (рис. 3).

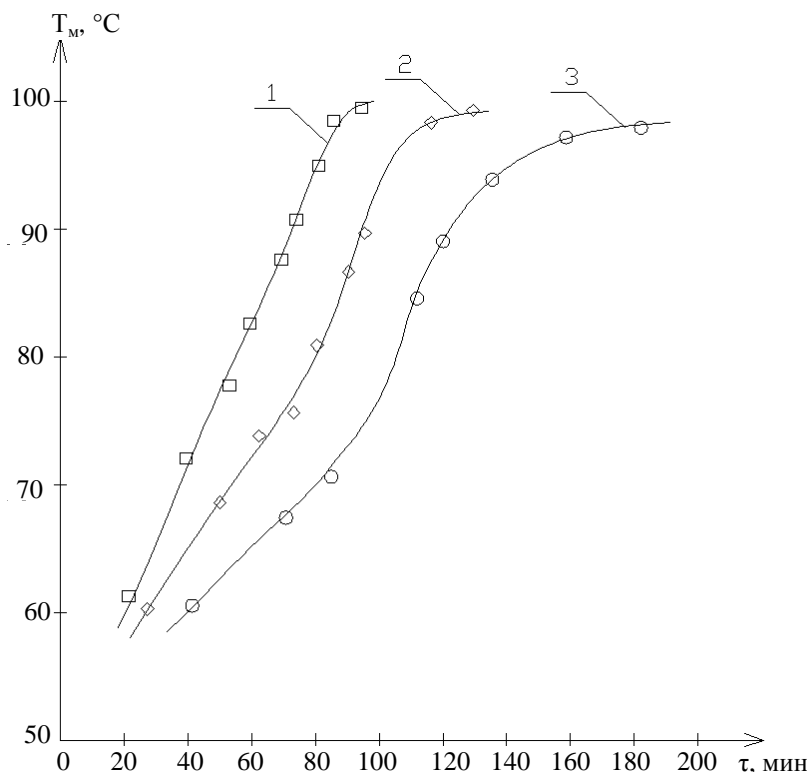


Рис. 3. Зависимость температуры масла от времени обкатки двигателя ЯМЗ-236:

1 – сокращенный режим обкатки по таблице 3; 2 – режим обкатки по таблице 2; 3 – режим обкатки по таблице 1

Резкое повышение температуры масла свидетельствует о динамическом изменении нагрузочного режима. Действительно, переход со стадии холостого хода с частотой вращения коленчатого вала, равной 1000 мин^{-1} , на стадию горячей приработки с тормозной мощностью 44 кВт и частотой вращения коленчатого вала, равной 1700 мин^{-1} , сопровождается более чем 3-кратным увеличением удельных давлений, действующих на пару трения «шатунная шейка – подшипник» от инерционных сил.

Как уже отмечалось, на стадии холодной обкатки ($n = 500 \dots 700 \text{ мин}^{-1}$) при незначительных инерционных нагрузках и скоростях взаимного скольжения поверхность заполировывается. Она не обладает достаточной износостойкостью и начинает интенсивно изнашиваться с повышением нагрузок. Последнее сопровождается вырыванием отдельных частиц металла, местным выкрашиванием антифрикционного слоя коренных вкладышей, задирами поршней с наволакиванием металла на поверхность зеркала цилиндра.

При холодной обкатке на этом режиме амплитуда удельных давлений в парах трения КШМ недостаточна для образования новой микрогеометрии поверхности за счет износа. Этот процесс интенсивно протекает только на стадии горячей обкатки под нагрузкой.

На втором этапе горячей обкатки при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ интенсивность изнашивания продолжает оставаться высокой – 2 г/т-мин. Только на двух заключительных этапах обкатки в результате приработки начинается формирование новой поверхности, обладающей достаточной несущей способностью. Динамика износа этого периода обкатки характеризуется удельными износами, составляющими 6 и 15 % при $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$, 4 и 8 % при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ соответственно для двигателей ЯМЗ-238 и ЯМЗ-236. Относи-

тельно незначительные износы в период окончания приработки под нагрузкой дают основание предположить, что вновь сформированные трущиеся поверхности обладают достаточной износостойкостью структурой, препятствующей появлению задиров в эксплуатации. Однако при отсутствии явления заполирования поверхностей процесс формирования износостойких структур мог начаться раньше с улучшением качества приработки. Учитывая это обстоятельство, в целях исследования изменения динамики износа был разработан и испытан промежуточный режим обкатки (см. табл. 2), в котором, по сравнению с более продолжительным (см. табл. 1), на стадии холодной приработки существенно повышена частота вращения коленчатого вала, а по сравнению с более сокращенным (см. табл. 3) – удлинена продолжительность приработки на ступенях.

При разработке промежуточного режима преследовалась цель частично «сместить» центр тяжести процесса изнашивания из области горячей в область холодной обкатки, не увеличивая абсолютных значений износа за весь период приработки, обеспечить его более равномерное распределение по этапам и избежать появления глянцевого блеска поверхностей.

Отличительные особенности этих режимов, в сравнении с принятыми (см. табл. 1), – введение 3-этапной приработки на стадии холодной обкатки с увеличением частоты вращения коленчатого вала в конце холодной обкатки с 700 до 1400 мин⁻¹, а на стадии холостого хода – с 1000 до 1500 мин⁻¹. Начальная частота вращения коленчатого вала при горячей обкатке под нагрузкой составила 1600 вместо 1700 мин⁻¹. При этом перепад удельных давлений от инерционных сил на пару трения «шатунная шейка – подшипник» при переходе от холодной к горячей обкатке под нагрузкой сократился с 3-кратного до 1,5 раза. В целом произошло сглаживание режима нагружения.

На стадии горячей обкатки под нагрузкой режим обкатки задавался исходя из условия равномерного линейного приращения тормозной мощности.

Такая зависимость совпадает с характером изнашивания поршневых колец, так как последнее пропорционально среднему эффективному давлению.

При испытаниях двигателей по промежуточному режиму было замечено, что на стадии холодной обкатки принятая продолжительность этапов (30 и 25 мин) приводила к образованию на кривой износа горизонтальных участков, свидетельствующих о стабилизации интенсивности износа. Поэтому время обкатки каждого из первых двух этапов может быть сокращено. Кроме того, на этапах при частоте вращения коленчатого вала 1900 и 2000 мин⁻¹ износ практически не наблюдается (см. кривые 3 на рисунке 1 и 2). Это обусловлено тем, что на таких частотах вращения коленчатого вала инерционные нагрузки в значительной степени уравновешиваются силами давления газов.

Равномерность износа при режиме обкатки по таблице 3 подтверждается также близкой к линейной зависимостью температуры масла от времени обкатки, тогда как для режима по таблице 1 этого не наблюдается (см. кривые 1 и 3 на рисунке 3).

Динамика износа при промежуточном режиме (см. табл. 3) иллюстрирована кривыми 2 на рисунках 1 и 2. Относительные износы по стадиям приработки распределились следующим образом:

- для двигателя ЯМЗ-236 – холодная обкатка – 70, на холостом ходу – 9, горячая под нагрузкой – 21 %;
- для двигателя ЯМЗ-238 – холодная обкатка – 62, на холостом ходу – 18, горячая под нагрузкой – 20 %.

В режиме обкатки по таблице 1 эти величины были соответственно равны 28, 10, 62 %, и 31, 6, 63 %. В промежуточном режиме соответственно для двигателя ЯМЗ-236 – 64, 9, 27 % и для ЯМЗ-238 – 63, 13, 24 %.

Продолжительность режима обкатки по таблице 3 меньше продолжительности по таблице 1 на 48 % и составляет 95 мин. Сравнение кривых 1 и 2 (см. рис. 1 и 2) позволяет отметить, что динамика изменения износов при данном варианте приработки более благоприятная, чем по таблице 1, поскольку в ней практически отсутствуют зоны длительной стабилизации интенсивности износа (горизонтальные участки на кривых 1, 2) и обеспечивается плавное и, главное, равномерное нарастание износов.

Максимальная интенсивность изнашивания происходит в период холодной приработки – 2,4 и 2,6 г/т·мин. Более повышенные износы в этот момент опасны усилением абразивного воздействия частиц износа и образованием значительных участков адгезионного взаимодействия (микрорасклевывания).

Динамика износа заключительного периода приработки ($n = 1900, 2000$ мин⁻¹) характеризуется относительными значениями для двигателя ЯМЗ-236 – 2 и 1 %, а для двигателя ЯМЗ-238 – 4 и 2 %.

Для сравнения, по режиму таблицы 1 эти значения составляют 4 и 8 % (ЯМЗ-236), 6 и 15 % (ЯМЗ-238), соответственно.

Уменьшение износов на заключительных этапах обкатки под нагрузкой при режиме по таблице 3 по сравнению с таблицей 1 свидетельствует о более благоприятном характере формирования несущих поверхностей и улучшении качества приработки.

Момент окончания стендовой обкатки двигателей оценивался также по изменению значения мощности механических потерь. На протяжении всего процесса наблюдается ее снижение в зависимости от

времени обкатки, а на заключительных этапах – асимптотическое приближение к оси абсцисс по закону, близкому к экспоненте (рис. 4).

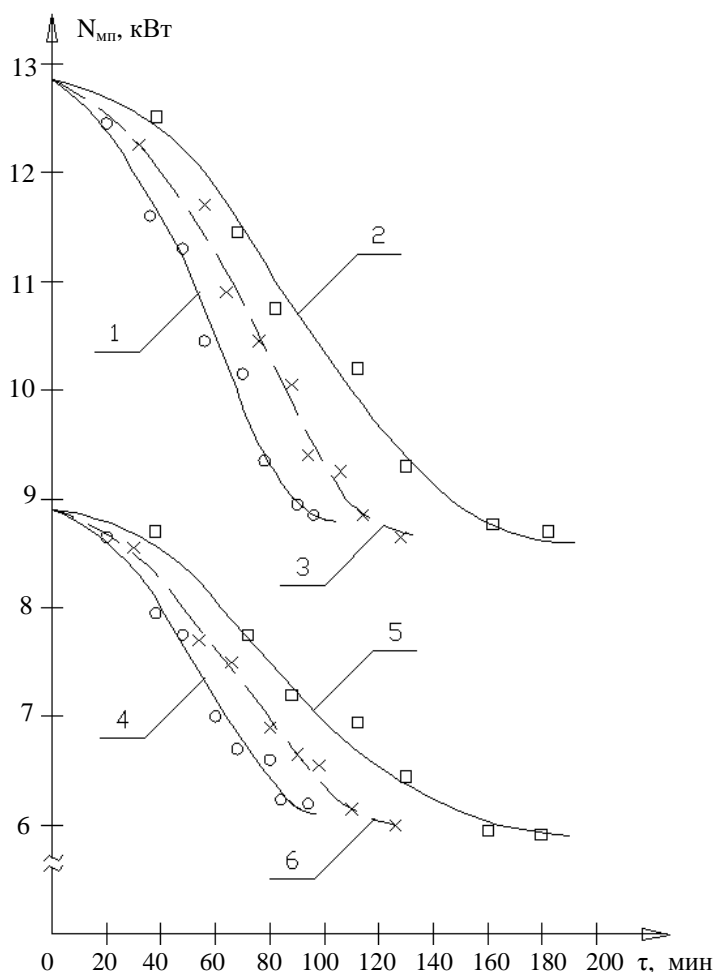


Рис. 4. Зависимость мощности механических потерь от времени обкатки

1, 4 – режим обкатки по таблице 3; 2, 5 – режим обкатки по таблице 1;
3, 6 – режим обкатки по таблице 2; 1, 2, 3 – двигатель ЯМЗ-238; 4, 5, 6 – двигатель ЯМЗ-236

От режима приработки существенно зависит и интенсивность снижения мощности механических потерь. Например, на стадии холодной обкатки по таблице 1 скорость изменения мощности механических потерь минимальна и составляет $1,7 \cdot 10^{-2}$ (ЯМЗ-236) и $1,9 \cdot 10^{-2}$ (ЯМЗ-238) кВт/мин, а ее максимальные значения – $2,5 \cdot 10^{-2}$ и $4,0 \cdot 10^{-2}$ кВт/мин соответственно отмечаются на первом этапе горячей обкатки под нагрузкой ($n = 1700 \text{ мин}^{-1}$) при тормозной мощности 44 (ЯМЗ-236) и 60 (ЯМЗ-238) кВт. Анализ этих численных значений показывает, что на первом этапе горячей обкатки под нагрузкой интенсивность снижения выше, чем на стадии холодной в 1,5 раза для двигателей ЯМЗ-236 и в 2,1 раза – ЯМЗ-238.

При обкатке двигателей по режиму по таблице 3 интенсивность снижения мощности механических потерь относительно режима по таблице 1 на стадии холодной обкатки увеличивается для двигателя ЯМЗ-236 в 1,7, а на этапе горячей под нагрузкой ($n = 1700 \text{ мин}^{-1}$) в 1,4 раза и в 1,8 и в 1,4 раза для ЯМЗ-238 соответственно.

Наблюдается снижение общего суммарного износа в процессе приработки по сокращенному режиму на 7 % для двигателя ЯМЗ-236 и 6 % для ЯМЗ-238, а по промежуточному – на 4 и 3 % соответственно относительно режима по таблице 1.

Сопоставление динамики изменения мощности механических потерь с кривыми износа (см. рис. 1 и 2), полученными в результате спектрального анализа обнаруживает их допустимую сходимость и однозначность описания процесса приработки, это согласуется с данными [5].

Мощность механических потерь за весь цикл стеновой обкатки при режиме по таблице 1 обкатки снизилась, в среднем, на 3,0 и 4,3 кВт для двигателей ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238 соответственно. При сокращенном варианте обкатки по таблице 3 эти показатели составили 2,8 для двигателя ЯМЗ-236 и 4,0 кВт – ЯМЗ-238.

При обкатке по промежуточному режиму продолжительностью 125 мин (см. табл. 2) мощность механических потерь после обкатки снизилась на 2,9 и 4,1 кВт соответственно (см. кривые 3 и 6 на рисунке 4).

Снижение мощности механических потерь от начального значения в результате стендовой обкатки составляет:

режим по таблице 1:

- для двигателя ЯМЗ-236 – 33,7 %, для двигателя ЯМЗ-238 – 33,5 %;

- сокращенный режим по таблице 3:

- для двигателя ЯМЗ-236 – 31,5 %, для двигателя ЯМЗ-238 – 31,1 %;

промежуточный режим по таблице 2:

- для двигателя ЯМЗ-236 – 32,6 %, для двигателя ЯМЗ-238 – 31,9 %.

Сокращенный вариант обкатки по таблице 3 рекомендуется предприятиям с высоким качеством ремонта, промежуточный вариант – тем, где уровень производства ниже, а режим обкатки по таблице 1 – предприятиям с низкой технологической обеспеченностью и культурой производства.

В заключение исследования можно сделать следующие **выводы:**

- динамика изменения износов при режимах обкатки по таблице 3 более благоприятная, чем по таблице 1, поскольку в ней практически отсутствуют зоны длительной стабилизации интенсивности изнашивания и обеспечивается плавное и, главное, непрерывное нарастание износов;

- сопоставление динамики изменения мощности механических потерь с кривыми износа, полученными в результате спектрального анализа, обнаруживает их допустимую сходимость и однозначность описания процесса приработки, это согласуется с данными [5];

- равномерность износа при режиме обкатки по таблице 3 подтверждается также близкой к линейной зависимостью температуры масла от времени обкатки, тогда как для режима по таблице 1 этого не наблюдается;

- наиболее рациональным режимом для обкатки двигателей является режим по таблице 3, он применим на предприятиях с высоким качеством ремонта, промежуточный вариант – на тех, где уровень производства ниже, а режим обкатки по таблице 1 на предприятиях с низким уровнем технологической обеспеченности и культуры производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прищепов, М.А. Стендовая обкатка автотракторных дизелей с заданием ее режимов по мощности механических потерь / М.А. Прищепов, В.Г. Андруш // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. Аграр. наук. – 2012. – № 2. – С. 105–110.
2. Коваленко, Н.А. Техническая эксплуатация автомобилей / Н.А. Коваленко, В.П. Лобах, Н.В. Вепринцев. – Минск: Новое знание, 2008. – 352 с.
3. 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., 1989.
4. РК РБ 000 17590. 444-95. Двигатели ЯМЗ-236, 238, 240 и их модификации. Руководство по капитальному ремонту. Ч. 2. – Минск: БелНИИТТранстехника, 1995. – С. 198 – 203.
5. Храмцов, Н.В. Обкатка и испытание автотракторных двигателей / Н.В. Храмцов, А.Е. Королев, В.С. Малаев. – М.: Агропромиздат, 1991. – 125 с.

Поступила 08.07.2014

RATIONAL REGIME SELECTION OF THE RENOVATED ENGINES RUNNING

V. ANDRUSH

The investigations of Metal running repaired diesel JAMZ-236, JAMZ-238 in various modes. The magnitude and intensity of wear tried to modify the content of iron in the break-in oil, to control the dynamics of change in capacity of mechanical losses and oil temperature during a run. According to test results selected rational mode running.