

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК ДЛЯ КРЫШЕК ЦИЛИНДРОВ СРЕДНЕОБОРОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

М.И. Раенко к.т.н., В.А. Рыжов к.т.н., С.П. Мягков
ОАО «Коломенский завод»

На основе статистической обработки данных о сменяемости режимов работы транспортного двигателя на характерном участке пути синтезирован типовой блок циклов нагружения, эквивалентный по повреждающему воздействию на конструкцию эксплуатационному спектру нагрузок. Для дизелей тепловозного и судового назначения определено максимальное число блоков нагружения в течение заданного срока службы до капитального ремонта. Каждый блок циклов нагружения содержит четыре трапециевидных полных цикла, включающих нагрев, выдержку на режиме полной мощности и охлаждение. Полученные данные предназначены для оценки долговечности крышек цилиндров среднеоборотных транспортных дизелей в эксплуатации.

Условия работы крышек цилиндров транспортных дизелей характеризуются наличием в элементах, определяющих ресурс (перемычках между клапанами), высоких температурных напряжений, превышающих по амплитуде предел выносливости материала. В результате конструкция имеет ограниченную долговечность и работает в условиях вероятности постоянной повреждаемости. В подобных случаях оценка сопротивления конструкции разрушению по коэффициенту запаса усталостной прочности не возможна, а в качестве критерия прочности при термическом усталостном разрушении рассматривается запас по долговечности, представляющий собой отношение числа циклов до разрушения конструкции к числу циклов, накапливаемых конструкцией за заданный срок службы в эксплуатации $n = N_{пр}/N_p$ [1, 2].

В качестве основного типа нагружения, соответствующего усредненному эксплуатационному циклу, принят трапециевидный температурный цикл нагружения, изображенный на рис 1.

Минимальная температура на огневой поверхности крышки цилиндра при этом соответствует хо-

лостому ходу дизеля, а максимальная температура — номинальной мощности. Стационарная часть — температурная выдержка в течение времени τ соответствует времени работы дизеля на режиме номинальной мощности (при максимальной температуре T_{max}) в усредненном эксплуатационном цикле.

Задача определения количества циклов температурного нагружения осложняется отсутствием достаточно полных упорядоченных сведений об изменениях эксплуатационной мощности дизеля и соответствующего изменения теплового состояния деталей камеры сгорания. Системы диагностики, устанавливаемые на энергетическую установку, в настоящее время не получили широкого распространения в отечественной практике, поэтому для подсчета числа циклов нагружения и синтеза типового блока циклов нагружения обычно используют данные хронометража и режимометрирования для данного класса дизелей. Для тепловозных дизелей обычно выбирают отрезок пути (100–250 км), на котором производят регистрацию нагрузочной диаграммы (по позициям контроллера) дизеля.

По результатам обработки статистических данных о сменяемости режимов работы двигателя в эксплуатации формируется типовой эксплуатационный блок циклов нагружения, эквивалентный по повреждающему воздействию на конструкцию эксплуатационному спектру нагрузок и определяется число полных циклов теплосмен, испытываемых крышкой цилиндра за весь

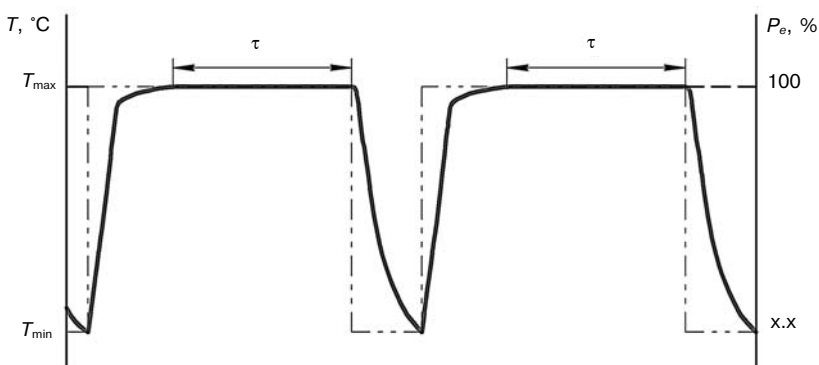


Рис. 1. Типовой цикл нагружения крышки цилиндра при работе двигателя

заданный срок службы транспортной установки до капитального ремонта. Для грузового тепловозного дизеля, эксплуатируемого на участке Тюмень–Ишим, такие данные приведены в работе [3].

Для дизеля 16ЧН26/26 ($P_e = 2540$ кВт) пассажирского тепловоза ТЭП-70 были получены данные хронометража на одном из наиболее нагруженных участков пути Ташкент–Арысь протяженностью 155 км. Хронометраж производился при прямом и обратном направлении движения тепловоза с одним и тем же составом (весом 1200 т) и машинистом. На рис. 2 изображены диаграммы изменения мощности дизеля соответственно для прямого и обратного направления движения локомотива.

Как видно, даже в относительно близких условиях эксплуатации при одинаковых погодных условиях диаграммы довольно существенно различаются, что дополнительно подтверждает необходимость получения некоторого усредненного (эквивалентного) цикла для дизелей одного класса.

Статистическая обработка диаграмм нагружения производилась методом полных циклов [4, 5]. Результаты обработки сведены в таблицу, в которой зафиксировано количество накопленных циклов соответствующих амплитуд.

Полученный новый процесс (рис. 3) содержит только циклы с амплитудами полных теплосмен. При этом диаграммы прямого и обратного хода объединены в единый блок циклов нагружения длиной $l_0 = 310$ км. Под блоком циклов нагружения в данном случае понимается совокупность последовательных значений переменных нагрузок, возникающих в элементе конструкции за характерный период эксплуатации [4]. Повреждаемость, вносимая в каждом полученном цикле, предполагается одинаковой, то есть реализуется линейная гипотеза накопления повреждений. Использование нелинейных гипотез повреждаемости в данном случае не оправдано, поскольку при усложнении теории лучшего соответствия действительному процессу добиться удается не всегда [5]. Кроме того, ни одна из существующих гипотез не учитывает влияние остаточных макронапряжений в элементах конструкции, которые оказывают существенное влияние на циклическую прочность [6].

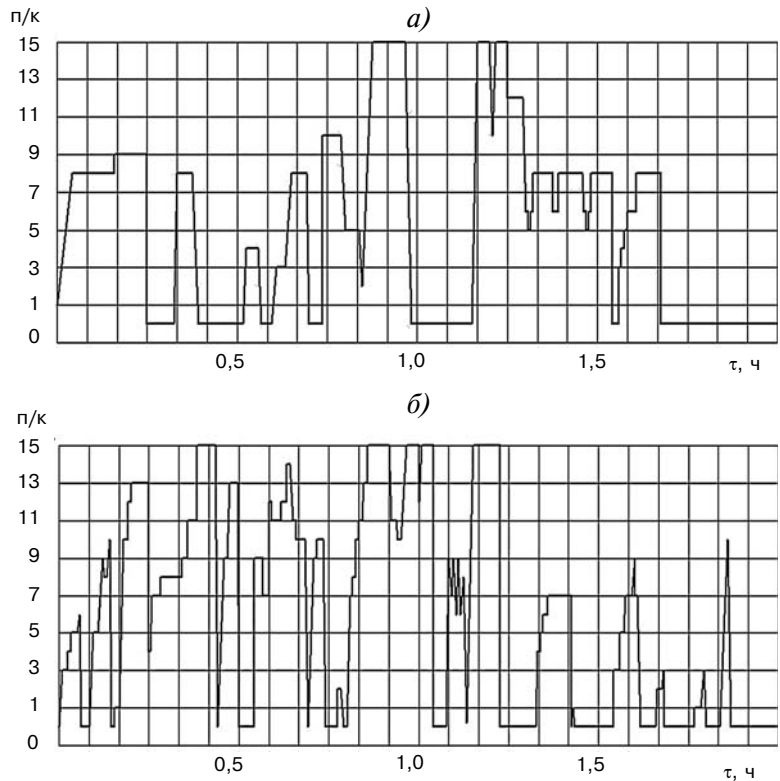


Рис. 2. Диаграмма изменения мощности дизеля тепловоза ТЭП-70 на участке пути:

a — в прямом направлении движения; *b* — в обратном направлении

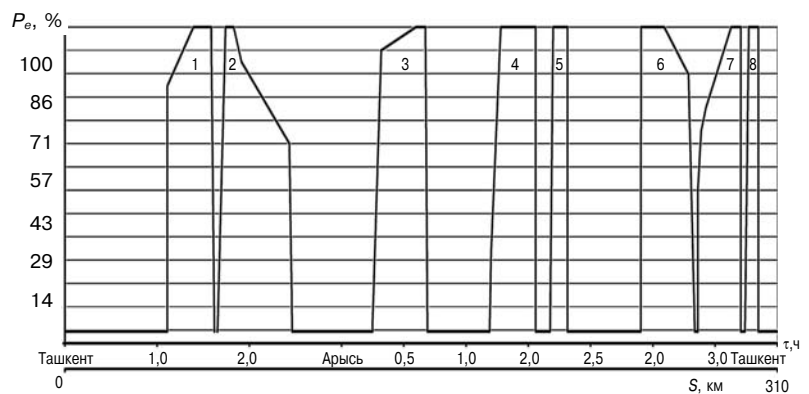


Рис. 3. Результаты статистической обработки данных хронометража

Данные статистической обработки хронометража

<i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$\nu_{\sigma i}$	3	6	6	1	2	3	5	5	2	3	0	1	1	8
ν_i	3	9	15	16	18	21	26	31	33	36	36	37	38	46

В таблице приняты следующие обозначения: *i* — номер амплитуды; $\nu_{\sigma i}$ — число циклов *i*-й амплитуды; ν_i — общее число циклов всех амплитуд.

Далее был осуществлен расчет температурных полей в крышке цилиндра в зависимости от мощности двигателя. Расчет выполнялся методом конечных элементов в трехмерной постановке по методике [6]. По результатам расчета и данным статистической обработки построена гистограмма, представленная на рис. 4.

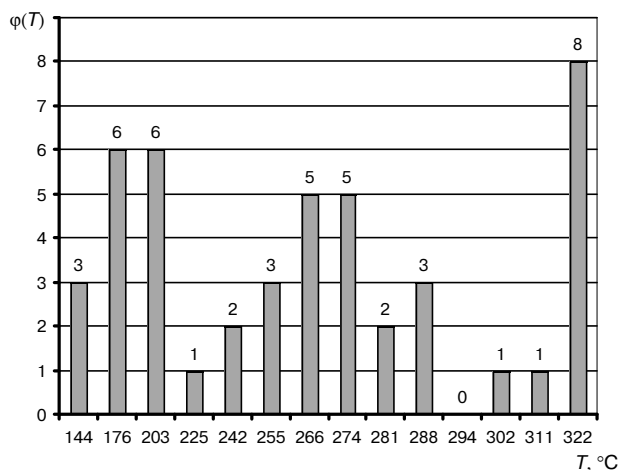


Рис. 4. Распределение максимальных температур на поверхности огневой плиты крышки цилиндра в зависимости от частоты появления $\phi(T)$ в блоке циклов нагружения

На гистограмме имеется три максимума, которые показывают, что в рассмотренном блоке нагружения наиболее вероятными являются режимы с максимальными температурами на поверхности огневого днища крышки: 190, 270 и 325 °С. При этом первому и второму экстремумам соответствуют максимальные напряжения, не превосходящие предел текучести материала. Кроме того, как отмечалось в работах [1, 2, 6], процесс релаксации напряжений, который в стабильном цикле оказывает решающее воздействие на рост остаточных напряжений, интенсивно протекает в крышках цилиндров только при температурах выше 300 °С. В связи с этим основной вклад в повреждаемость материала будут вносить лишь циклы с максимальной амплитудой теплосмены, то есть циклы, соответствующие переходу с режима полной мощности на режим холостого хода и наоборот.

С учетом изложенного, а также принимая во внимание значительную тепловую инерцию конструкции (для остывания конструкции требуется не менее 20–30 мин работы дизеля на режиме холостого хода), в рассмотренном блоке циклов нагружения можно выделить только четыре из восьми циклов смены мощности, в которых имеют место полные амплитуды температурных напряжений. При этом из рассмотрения были исключены циклы работы на холостом ходу, которые по времени составляют менее 25 мин. Оценка времени релаксации напряжений осуществлялась с учетом экспериментальных данных, согласно которым релаксация напряжений проявляется при работе дизеля на мощности более 70 % от номинальной мощности. В результате установлено, что общее время работы дизеля на указанных режимах в типовом блоке нагружения составит 2,85 ч.

Таким образом, типовой блок циклов нагружения дизеля пассажирского локомотива, эквивалентный фактическому эксплуатационному спектру нагрузок по повреждающему воздействию на крышку цилиндра, имеет длину $l_b = 310$ км. Блок содержит четыре трапецидальных полных цикла (см. рис. 1). Время выдержки на режиме полной мощности (время релаксации напряжений) в каждом цикле составляет $\tau = 0,7125$ ч.

В соответствии с требованиями ОАО РЖД моторесурс S современных модификаций дизелей до капитального ремонта (КР) должен составлять не менее 1600 тыс. км пробега тепловоза. При указанном ресурсе будем иметь: $\lambda = S/l_b = 5160$ блоков нагрузок за ресурс. Количество полных теплосмен с максимальными амплитудами напряжений циклов теплосмен за весь период эксплуатации до КР будет составлять $N_p = 20\,640$ циклов. Суммарное время релаксации напряжений до КР составит $\approx 14\,700$ ч.

Сопоставление полученных результатов с данными о режимах эксплуатации грузовых локомотивов [3], указывает, что для пассажирских локомотивов характерна более интенсивная сменность режимов. При этом средние участковые и среднетехнические скорости у пассажирских локомотивов выше, но среднемесячная скорость меньше, чем у грузовых локомотивов, что говорит о большем коэффициенте загрузки последних. Иначе говоря, пассажирские локомотивы эксплуатируются более интенсивно, но менее часто, чем грузовые. Время работы на холостом ходу дизеля грузового локомотива выше в связи большей долей маневровых работ и большими простоями. Поэтому можно утверждать, что дизель грузового локомотива по количеству циклов менее нагружен, чем дизель той же мощности пассажирского локомотива.

Для судовых дизелей, работающих на винт (генератор или редуктор), режим работы существенно отличается от режима работы тепловозного дизеля. Сменность режимов судовых среднеоборотных дизелей в эксплуатации практически не изучена. Поэтому для приближенной оценки указанных параметров воспользуемся данными эксплуатации высокооборотных судовых дизелей фирмы «Caterpillar», приведенными в работе [7].

Для патрульных катеров, таможенных и полицейских судов, судов береговой охраны, некоторых рыболовецких судов, пожарных судов, а также для вспомогательных (подруливающих) двигателей характерен режим с коэффициентом загрузки 50 %. При этом время работы двигателей на номинальной мощности составляет 16 %, на мощности ≥ 70 % от номинальной — 40–45 %. Годовой ресурс — 1000–3000 ч.

Указанный режим является наиболее характерным для дизелей, выпускаемых Коломенским заводом и предназначенных для патрульных (пограничных) катеров, а также в качестве вспомогательных двигателей. Таким образом, число циклов тепловых смен судового среднеоборотного дизеля может отличаться на порядок (в меньшую сторону) от числа циклов тепловозного дизеля. В то же время судовой дизель по сравнению с тепловозным дизелем более продолжительное

время работает на режиме номинальной (или близкой к ней) мощности.

Для судовых дизелей, выпускаемых Коломенским заводом, назначен моторесурс до КР 60 000 ч. Принимая во внимание среднее время выдержки конструкции при мощности $\geq 70\%$ от номинальной, будем иметь время релаксации напряжений $\approx 25\,000$ ч, что почти в 2 раза превосходит время релаксации напряжений для крышки цилиндра тепловозного дизеля.

Литература

1. Чайнов Н.Д., Раенко М.И., Мягков С.П. Вопросы прочности крышек цилиндров среднеоборотных дизелей // Двигатели внутреннего сгорания. — 2008. — № 1. — С. 62–65.

2. Чайнов Н.Д., Раенко М.И., Мягков С.П. Применение методов математического моделирования НДС крышки цилиндра форсированного дизеля // Сб. научн. тр. по материалам Международной конференции «Двигатель 2007», посвященной 100-летию школы двигателестроения МГТУ им. Н.Э. Баумана / под ред. Н.А. Иващенко, В.Н. Костюкова, А.П. Науменко, Л.В. Грехова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. — С. 154–159.

3. Салтыков М.А., Сальников М.А. Оценка сопротивления разрушению чугуна с шаровидной формой графита при температурных циклических нагрузках для прогноза ресурса деталей цилиндропоршневой группы двигателей транспортного назначения

// Двигателестроение. — 1983. — № 6. — С. 35–38.

4. ГОСТ 25.101–83. Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов. — М., 1983. — 29 с.

5. Когдеев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени / под ред. А.П. Гусенкова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1993. — 364 с.

6. Чайнов Н.Д., Салтыков М.А., Раенко М.И., Мягков С.П. Особенности математического моделирования НДС крышки цилиндра форсированного среднеоборотного дизеля // Двигателестроение. — 2006. — № 4. — С. 8–11.

7. Конкс Г.А., Лашко В.А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта. — М.: Машиностроение, 2005. — 512 с.

НОВОСТИ ОАО «АВТОДИЗЕЛЬ»

ЗАВОД «АВТОДИЗЕЛЬ» «ГРУППЫ ГАЗ» ПОЛУЧИЛ ПРЕМИЮ «ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОРЫВ» ИНСТИТУТА АДАМА СМИТА

Ярославский моторный завод «Автодизель» стал победителем премии 13-го международного Российского автомобильного форума в номинации «Лучшая инновация/технологический прорыв». Учрежденный Институтом Адама Смита автомобильный форум проходил в Москве с 16 по 18 марта.

Институт Адама Смита наградил Ярославский моторный завод «Автодизель» за реализацию инновационного проекта по разработке перспективного типажа дизельных двигателей 530-го семейства. Сертификат премии был вручен Директору Дивизиона «Силовые агрегаты» «Группы ГАЗ» Игорю Кульгану.

Ведущий церемонии награждения корреспондент журнала «The Economist» Грэм П. Мэкстон отметил, что строящийся в Ярославле завод по производству новых дизелей ЯМЗ станет первым основанным за последние 35 лет в России двигателестроительным предприятием. По уровню технологической оснащенности и автоматизации производства предприятие ни в чем не будет уступать лидерам мирового автопрома.

Проект «Автодизеля» признан Правительством РФ стратегическим для российского машиностроения. Производство нового семейства двигателей станет основой развития современной компонентной базы в России и позволит обеспечить заказами производителей-смежников. Производство компонентов, размещенных на предприятиях РФ, на первом этапе составит 35 %, при выходе на проектную мощность — 60–70 %. На новом предприятии планируется создать около 1,5 тыс. рабочих мест.

Двигатели ЯМЗ-530 — это результат работы конструкторов «Автодизеля» и специалистов австрийской инжиниринговой компании «AVL List». На базе 530-го семейства разрабатываются модификации двигателей различного назначения, включая транспортные средства для оборонного комплекса России. Невысокая стоимость обеспечивает высокую конкурентоспособность этих двигателей в России и за рубежом. Серийное производство новых двигателей стандарта Евро-4 планируется начать в 2011 г.