ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ ТИПА Д49

Рахмонов Миртемир Илхомиддин угли
Абдуганиев Аброр Алишер угли
Рахматов Хамза Абдулхакимович
Ташкентский государственный транспортный университет
https://doi.org/10.5281/zenodo.22988386

Аннотация и актуальность исследования В условиях интенсивного роста грузооборота магистрального железнодорожного транспорта ключевым фактором эксплуатационной надежности тепловозного парка является термодинамическая и механическая стабильность силовых установок. Четырехтактные среднеоборотные дизели семейства Д49 (типоразмерного ряда ЧН 26/26 Коломенского завода) составляют базис автономной тяги железных дорог колеи 1520 мм (тепловозы 2ТЭ116, 2ТЭ116У, ТЭП70, ТЭП70БС, 2ТЭ25КМ, ТЭМ7А, ТЭМ14). Применение геометрической пропорции S/D = 260/260 =1,0 («квадратный» цилиндр) позволило оптимизировать линейные габариты, однако повлекло необходимость решения комплекса сложных научно-инженерных задач: компенсации тепловой напряженности крышки и поршня, демпфирования крутильных колебаний коленчатого вала и оптимизации импульсных систем турбонаддува.

Конструктивно-кинематическая специфика кшм и остова

Дизели Д49 спроектированы по модульной блочной схеме с углом развала цилиндров 40° (для 12- и 16-цилиндровых моделей) [1] и 45° (для 8-цилиндровых моделей). Ключевые структурные решения включают:

– сварно-литой блок цилиндров с подвесной конструкцией картера: Нижняя фиксация коренных подшипников подвесками на зубчатых шлицах исключает боковые перемещения бугелей при пиковых давлениях сгорания p_z, достигающих 12,5–14,0 МПа.

– шарнирно-сочлененный шатунный механизм: Использование главного и прицепного шатунов сокращает продольную длину силового блока на 18–22% по сравнению с рядным смещенным расположением [2]. Однако прицепной шатун создает кинематическую асимметрию хода: ход поршня прицепного ряда составляет 262,3 мм против 260,0 мм главного, что учитывается при профилировании фаз газораспределения.

– составные поршни с масляным галерейным охлаждением: Стальная головка поршня (легированная хромоникельмолибденовая сталь 20Х3МВФ) воспринимает максимальные термические и ударные нагрузки, а алюминиевая штампованная юбка снижает инерционную массу КШМ. Охлаждение внутренней полости головки реализуется непрерывным масляным взбалтыванием [3].

– газораспределительный тракт с четырьмя клапанами на цилиндр: Два впускных и два выпускных клапана с механизмами принудительного проворота обеспечивают симметричную аэродинамику продувки камеры сгорания и предотвращают локальный неравномерный перегрев седел.

Сравнительный анализ модификаций дизелей ряда ЧН 26/26

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Эволюционное развитие мощностного ряда среднеоборотных тепловозных двигателей типа ЧН 26/26 базируется на глубокой конструктивной унификации узлов цилиндропоршневой группы, при этом переход от 8-цилиндровых версий к 12- и 16-цилиндровым модификациям сопровождается существенной интенсификацией внутрицилиндровых термодинамических процессов [4]. Базовый маневровый дизель 8ЧН 26/26 (6Д49) номинальной мощностью 882 кВт с углом развала цилиндров 45° ориентирован на длительную работу с частой сменой частичных нагрузок, что определяет умеренный уровень среднего эффективного давления (p_e=1,22 Мпа) и максимального давления сгорания (p_z=11,5 МПа). Напротив, модификация 12ЧН 26/26 (2А-5Д49 мощностью 1470 кВт), активно используемая при глубокой ремоторизации грузовых локомотивов серии 2ТЭ10, спроектирована с углом развала 40°, оптимизированным под габариты тепловозного кузова, и форсирована по среднему эффективному давлению до 1,36 МПа, демонстрируя удельный эффективный расход топлива на уровне 204 г/(кВт·ч) [5-6]. Флагманские магистральные силовые установки 16ЧН 26/26 – от серийного 1А-9ДГ-3 (2206 кВт) на тепловозах 2ТЭ116У до форсированного 18-9ДГ (2650 кВт) на 2ТЭ25КМ – реализуют предельные для механической части теплонапряженные циклы с повышением p_e до 1,53–1,77 МПа и ростом давления наддувочного воздуха до степени повышения компрессора π_k=3,4-3,6.

Таблица 1 – Сравнительные технико-экономические и термодинамические параметры базовых модификаций дизелей ряда ЧН 26/26

Параметр / Характеристика	8ЧН 26/26 (6Д49 / ТЭМ7)	12ЧН 26/26 (2А-5Д49 / 2ТЭ10МК)	16ЧН 26/26 (1А-9ДГ-3 / 2ТЭ116У)	16ЧН 26/26 (18-9ДГ / 2ТЭ25КМ)
Число цилиндров / угол развала	8 / V 45°	12 / V 40°	16 / V 40°	16 / V 40°
Диаметр цилиндра / ход поршня, мм	260 / 260	260 / 260	260 / 260	260 / 260
Номинальная мощность, кВт (л.с.)	882 (1200)	1470 (2000)	2206 (3000)	2650 (3600)
Частота вращения (ном./мин. х.х.), об/мин	1000 / 350	1000 / 350	1000 / 350	1000 / 350
Среднее эффективное давление pe, МПа	1,22	1,36	1,53	1,77
Максимальное давление сгорания pz, МПа	11,5	12,2	13,0	13,8
Удельный расход топлива ge, г/(кВт·ч)	208 (153 г/э.л.с.·ч)	204 (150 г/э.л.с.·ч)	197 (145 г/э.л.с.·ч)	195 (143 г/э.л.с.·ч)
Степень повышения давления в компрессоре	2,3–2,5	2,6–2,8	3,1–3,3	3,4–3,6
Масса сухого	9 600	13 800	17 500	17 900

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

дизеля, кг				

Термодинамический анализ и индикаторная диаграмма

Рабочий процесс дизелей ЧН 26/26 протекает по термодинамическому циклу со смешанным подводом теплоты [7]. Для форсированных модификаций мощностью 2650–3000 кВт степень сжатия составляет ε=13,5–14,0. Математическое моделирование политропных процессов сжатия и расширения базируется на уравнениях:

$p_c=p_a\cdot\varepsilon^{n_1}$, $p_c=\lambda\cdot p_c$, $T_z=T_c\cdot\lambda\cdot\rho$, $p_{cb}=p_z\cdot\left(\frac{\rho}{\varepsilon}\right)^{n_2}$,

где n_1=1,35...1,38 – показатель политропы сжатия; n_2 = 1,26...1,30 – показатель политропы расширения;[8] $\lambda=p_z/\ p_c$=1,45...1,60 – степень повышения давления при сгорании; ρ = 1,30...1,45 – степень предварительного расширения.

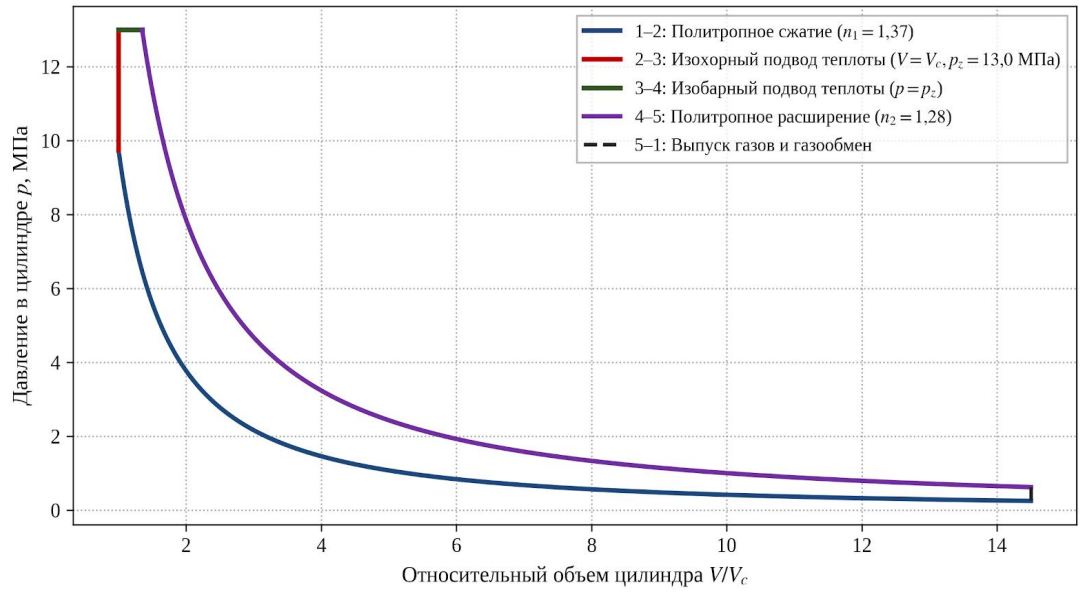

Рис. 1. Расчетный индикаторный термодинамический цикл тепловозного дизеля 16ЧН 26/26 (Д49)

Научные выводы и направления модернизации

Энергетический баланс и КПД: Дизели ряда Д49 обладают эффективным КПД η_e на уровне 41,5–43,2% на номинальных режимах, что является высоким показателем для среднеоборотных двигателей железнодорожного профиля.

Проблема низких нагрузок и холостого хода: При длительной работе на 0–1 позициях контроллера машиниста (холостой ход) температура выпускных газов падает ниже точки конденсации тяжелых фракций топлива, приводя к нагарообразованию в турбокомпрессорах ТК-30/ТК-35. Решением выступает ступенчатое отключение групп цилиндров при малой нагрузке.

Переход на электронно-управляемый впрыск: Замена механических индивидуальных ТНВД на аккумуляторную систему с давлением 160–180 МПа обеспечивает тонкую многофазную подачу, снижение удельного расхода топлива на 4–6 г/(кВт·ч) в переходных режимах и сокращение дымности на разгоне.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Ресурсный потенциал: Назначенный ресурс базовых деталей (блока, коленчатого вала) составляет не менее 1,2–1,5 млн км пробега локомотива при условии строгого контроля физико-химических свойств моторного масла (щелочного числа и диспергирующей способности).

Список использованных источников

1. Никитин, Е.А. Тепловозные дизели типа Д49 / Е.А. Никитин, В.М. Ширяев, В.Г. Быков [и др.]; под ред. Е.А. Никитина. – М.: Транспорт, 1982. – 255 с.
2. Дорофеев, В.М. Тепловозные дизели семейства Д49. Конструкция, техническое обслуживание, ремонт: иллюстрированное учебное пособие / В.М. Дорофеев. – М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016. – 156 с.
3. Володин, А.И. Моделирование и оптимизация параметров тепловозных энергетических установок / А.И. Володин. – М.: Транспорт, 1992. – 192 с.
4. Ваншейдт, В.А. Дизели: справочник / В.А. Ваншейдт, Н.Н. Иванченко, Л.К. Коллеров. – Л.: Машиностроение, 1977. – 480 с.
5. Дьяченко, В.Г. Теория двигателей внутреннего сгорания / В.Г. Дьяченко. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – 498 с.
6. Пойда, А.А. Тепловозы: Механическое и электрическое оборудование / А.А. Пойда, Н. М. Хуторянский, В.Е. Кононов. – М.: Транспорт, 1988. – 320 с.
7. Косов, В.С. Оценка энергетической эффективности и экологических показателей перспективных тепловозов с дизелями типа Д49 / В.С. Косов, В.А. Рыжов // Вестник ВНИКТИ. – 2018. – Вып. 99. – С. 14–22.
8. ГОСТ 10150-2014. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Общие технические условия. – Введ. 2016-01-01. – М.: Стандартинформ, 2015. – 28 с.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.