

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОВОЗНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА ВЕНГЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

В. Н. ВАСИЛЬЕВ*

Кафедра Подвижного Состава Железных Дорог Будапештского Технического
Университета

(Поступило в печать 14 августа 1971 г.)

Представлено: проф. др. К. Хорват

В зависимости от назначения характер работы двигателей внутреннего сгорания различен.

Транспортный двигатель, в отличие от стационарного, значительную долю времени эксплуатируется на неустановившихся режимах, при которых происходит изменение показателей рабочего процесса двигателя.

1. Характерные особенности работы тепловозных двигателей

Работе тепловозного двигателя свойственен большой диапазон реализуемых мощностей и чисел оборотов коленчатого вала, что обусловлено: знакопеременностью профиля пути, необходимостью снижения скорости движения, прогревом систем в холодное время и т. д.

Эффективная мощность N_e и число оборотов коленчатого вала n_g двигателя практически непрерывно изменяются в диапазоне от минимальных до максимальных значений.

Соответственно меняется величина удельного эффективного расхода топлива g_e — основной энергоэкономический показатель, по которому оценивается экономичность работы двигателя.

На рис. 1 приведены нагрузочные характеристики некоторых тепловозных двигателей производства СССР, Венгрии и Франции.

Нагрузочные характеристики свидетельствуют об ухудшении протекания рабочего процесса двигателя при снижении N_e и $n_g = \text{const}$ для большинства режимов.

Однако для тепловозного двигателя нагрузочная характеристика не является рабочей, а следовательно, определяющей эксплуатационную экономичность.

Основная рабочая характеристика — генераторная (тепловозная) и от ее расположения, в основном, зависит расход топлива двигателем.

* СССР, г. Москва. Всесоюзный научно-исследовательский институт государственной патентной экспертизы.

На рис. 2 показаны в относительных координатах расходы топлива двигателями при эксплуатации по генераторной характеристике.

Кривые а, в, е имеют экстремум по минимальному расходу топлива при незначительном смещении в зону частичных нагрузок; кривые с, д асимптотически приближаются к оси ординат, имея g_e^{\min} на номинальном режиме.

Для всех кривых характерным является существенное увеличение g_e при реализации мощностей $N_e \leq (0,5 \div 0,6) \cdot N_e^{\text{ном}}$.

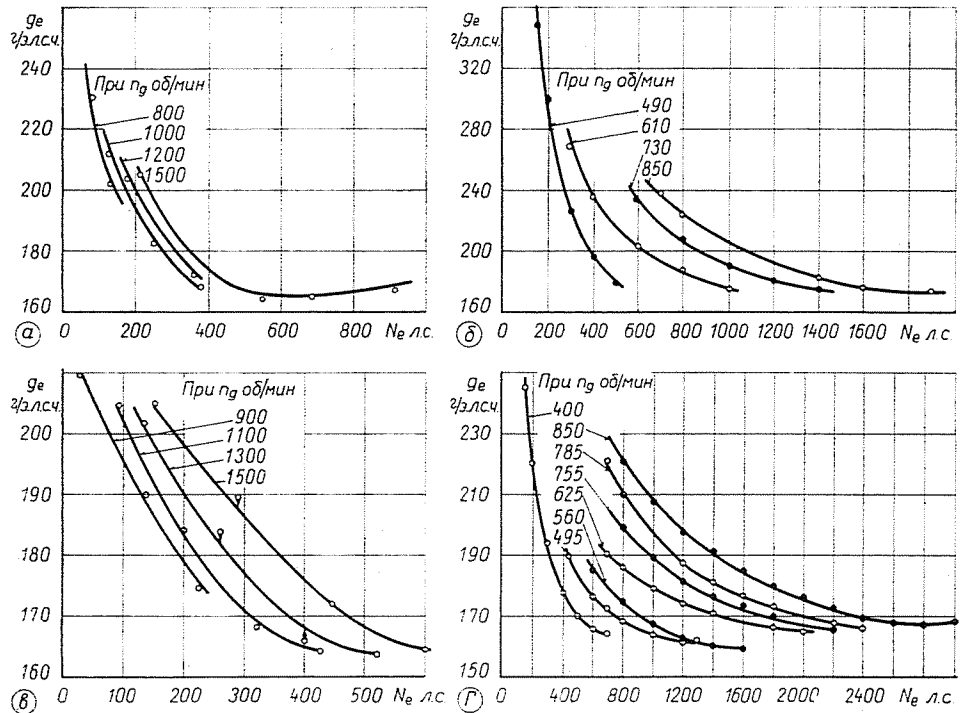


Рис. 1. Нагрузочные характеристики тепловозных двигателей. а — 6 PAH — 185 («Пильстик»); б — 2 Д 100; в — 6HF 18/19; г — 10 Д 100

Причин этому несколько и основные из них:

1. неудовлетворительное совмещение характеристик двигателя и агрегатов воздухообеспечения;
2. нарушение работы топливоподающей и впрыскивающей аппаратуры;
3. несоответствие фаз газораспределения режимам частичных нагрузок и холостого хода.

В отличие от стационарных и мощных судовых экономичность работы тепловозных двигателей оценивать расходом топлива g_e на номинальном

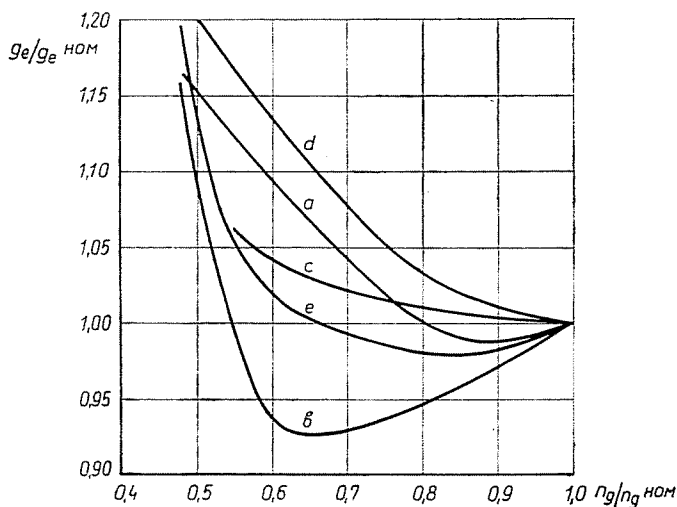


Рис. 2. Генераторные (тепловозные) характеристики; а — 2 Д 100; б — Д 50; с — 10 Д 100; д — 14 Д—40; е — ЕМД 16—567 Д 1.

режиме не представляется возможным, т. к. преимущественными режимами эксплуатации тепловозов являются частичные нагрузки и холостой ход.

2. Методика оценки эксплуатационной (g_e^z) экономичности тепловозных двигателей

В основу методики по определению g_e^z положены работы, проведенные в СССР [1], в соответствии с которыми для определения g_e^z необходимо хронометрировать эксплуатируемые режимы двигателей и, зная генераторную характеристику (рис. 2), а также расход топлива двигателем на холостом ходу g_x определить g_e^z .

Расчетная формула имеет следующий вид [2]:

$$g_e^z = \frac{g_e^{ном} \cdot \sum_1^{нк} \nu \cdot t_0 \cdot N_e + 60 \sum_0^{нк} g_x \cdot t_{0x}}{\sum_1^{нк} N_e \cdot t^0} \quad \text{г/э.л.с.-ч,} \quad (1)$$

где ν — поправочный коэффициент удельного эффективного расхода топлива при данной позиции контроллера ПК, равный отношению $g_e/g_e^{ном}$; t_0, t_{0x} — относительное время работы двигателя под нагрузкой и на холостом ходу.

Для определения g_e^z двигателей тепловозов М61 и М62 в сентябре 1968 г. на направлении Будапешт—Захонь был проведен хронометраж

Таблица 1

Условные режимы работы

№ режима	Диапазон мощностей и чисел оборотов в % от номинала			
	М 61 (ЕМД 16—567 Д 1)		М 62 (14 Д—40)	
	N_e	n_p	N_e	n_p
I.	0	0,478	0	0,533
II.	0,234	0,534	0,165	0,573
III.	0,566	0,734	0,43	0,693
IV.	0,3	0,881	0,665	0,813
V.	1,0	1,0	0,854	0,924
VI.	—	—	1,0	1,0

распределения режимов работы двигателей 14Д—40 и ЕМД 16—567Д1 с грузовыми и пассажирскими поездами.*

Для возможности сопоставления получаемых данных с ранее определенными результатами [2] хронометраж осуществляется по группам заранее выбранных и осредненных позиций контроллера — условных режимов. Каждому соответствует свой диапазон мощностей и чисел оборотов, показанных таблице.

3. Результаты испытаний

Обработка статистических данных позволила впервые для Венгрии получить характер распределения режимов работы двигателей 14Д—40 и ЕМД16—567Д1.

На рис. 3 показаны диаграммы, характеризующие долю холостого хода двигателя от общего баланса полезного времени работы.

Диаграммы а, б относятся к движению скорых международных поездов, вес которых при числе осей $n = 48-56$, т. е. $Q/n = 1,5$ т/ось.

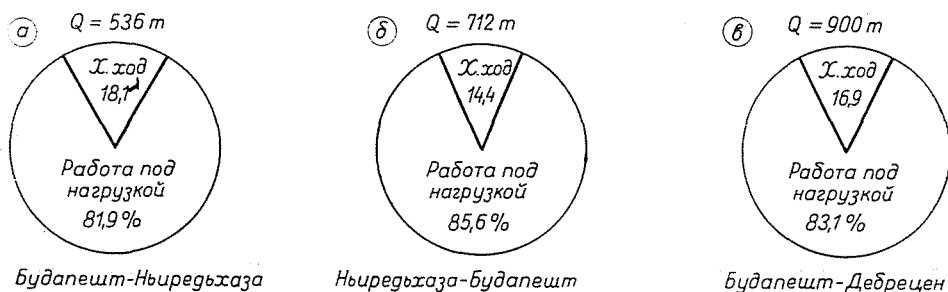


Рис. 3. Баланс полезного времени работы

* В испытаниях участвовали доценты каф. «Тепловые двигатели» ВМЕ кандидаты техн. наук Э. Пастор и И. Калмар.

Диаграмма на рис. 3в получена для грузовых поездов, у которых $Q = 900 \div 1000$ т при $n = 150 \div 160$, т. е. $Q/n = 6,5$ т/ось.

Равнинный профиль пути и сравнительно низкое отношение Q/n не позволяют создавать запасы кинетической энергии, что и приводит к низкому % холостого хода.

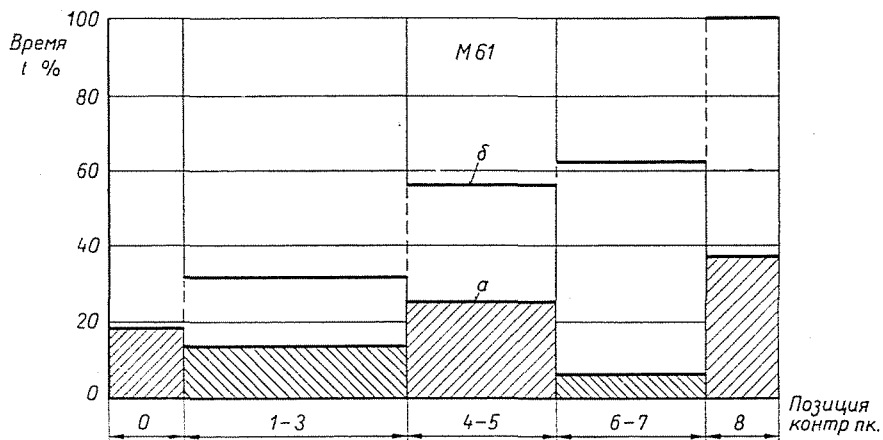


Рис. 4. Распределение времени работы двигателя тепловоза М 61.

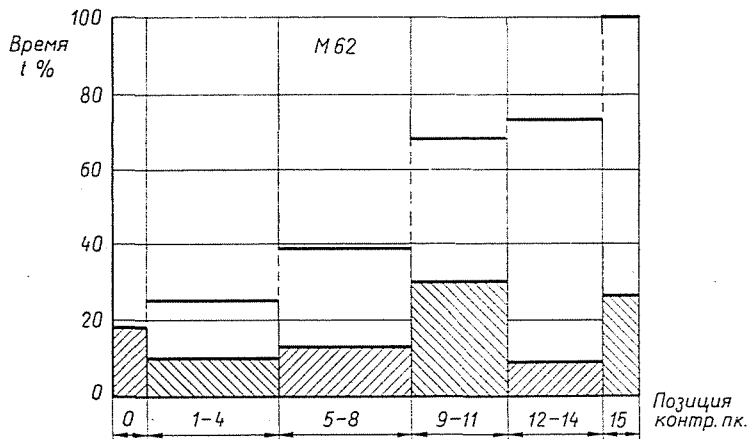


Рис. 5. Распределение времени работы двигателя тепловоза М62

Для сравнения укажем, что на дорогах США время работы на холостом ходу составляет около 20—30%, для грузового движения на ряде участков СССР эта величина равна 30—40% [2].

Распределение времени работы двигателей по условным режимам в соответствии с таблицей приведено на рис. 4а и 5а. На рис 4б и 5б показана интенсивность увеличения нагрузки по времени полезной работы двигателей внутреннего сгорания.

Анализируя кривые рис. 4, видим, что для тепловоза М61 на режимах I—IV двигатель работает 62,6% всего полезного времени, а на номинальной мощности 37,4%.

Для тепловоза М62 время работы на I—V режимах составляет 72,8%, а на максимальной позиции контроллера — 27,2% (рис. 5).

Степень загрузки тепловозного двигателя наиболее полно характеризует коэффициент использования мощности

$$\varrho = \frac{A^{\text{д}}}{A^{\text{ном}}}, \quad (2)$$

где $A^{\text{д}}$, $A^{\text{ном}}$ — работа действительная и возможная (на номинальном режиме).

Величина ϱ подсчитывается с учетом времени холостого хода. Целесообразно также при анализе распределения рабочих режимов определять степень загрузки двигателя без учета холостого хода

$$\varrho' = \frac{\varrho}{1 - \gamma}, \quad (3)$$

где γ — доля холостого хода.

По формулам (2) и (3) получено:

1. для тепловоза М61: $\varrho = 0,595$, $\varrho' = 0,727$ (Будапешт—Захонь);

$$\varrho = 0,642, \quad \varrho' = 0,75 \quad (\text{Захонь—Будапешт})$$

2. для тепловоза М62: $\varrho = 0,587$, $\varrho' = 0,702$ (Будапешт—Ньиредьхаза)

$$\varrho = 0,61, \quad \varrho' = 0,718 \quad (\text{Ньиредьхаза—Будапешт}).$$

Необходимо стремиться повышать величины ϱ и ϱ' с тем, чтобы получать расходы топлива $g_e^{\text{д}}$, приближающиеся к расходу на номинальном режиме.

Однако следует отметить, что значения ϱ , ϱ' , полученные по результатам испытаний на Венгерской Ж. Д., достаточно высоки и свидетельствуют, прежде всего, о предельном запасе мощности на 1 т груза для эксплуатируемых весов при заданном расстоянии движения поездов.

Очевидно, что при высокой степени загрузки двигателя, величина $g_e^{\text{д}}$ будет стремиться к расходу на номинальном режиме.

По формуле (1) были подсчитаны значения $g_e^{\text{д}}$ для скорых и грузовых поездов на участке Будапешт—Захонь в четном и нечетном направлениях.

Для скорых поездов (международные экспрессы) величина $g_e^{\text{д}}$ равна:

а) тяговое плечо Будапешт—Ньиредьхаза — 184,9 г/э. л. с. ч;

б) тяговое плечо Ньиредьхаза—Будапешт — 183,4 г/э. л. с. ч;

Для грузовых поездов $g_e^{\text{д}}$ равно:

а) тяговое плечо Будапешт—Пюшпекладань — 180,1 г/э. л. с. ч;

б) тяговое плечо Пюшпекладань—Будапешт — 182 г/э. л. с. ч.

Анализируя полученные результаты, отметим:

1. величина g_e^2 для тепловозов М61 и М62 превышает расход топлива на номинальном режиме на 2—3%, что свидетельствует о достаточно эффективном использовании мощности двигателя;

2. учитывая большой % времени работы двигателя на номинальном и близком к нему режимах, целесообразно эксплуатировать тепловозные двигатели, имеющие экстремальное значение по минимальному расходу топлива при числе оборотов коленчатого вала $n_g = (0,8 - 0,9)F n_g^{nom}$.

Однако в силу специфики работы тепловозов двигатели всегда значительную долю времени будут эксплуатироваться на частичных нагрузках и холостом ходу. Поэтому основной проблемой снижения g_e^2 является решение комплекса вопросов по улучшению работы двигателей на ненормальных режимах.

4. Некоторые направления по улучшению работы тепловозных двигателей на частичных нагрузках

Основным направлением по повышению эксплуатационной экономичности тепловозного двигателя является улучшение его работы на холостом ходу и в зоне частичных нагрузок. Отметим следующие пути повышения экономичности в зоне ненормальных нагрузок:

1. *Снижение механических потерь*: переход на индивидуальные приводы вспомогательных агрегатов, согласование расходных характеристик наддувочных агрегатов и двигателя, работа двигателя на пониженных оборотах коленчатого вала в режиме холостого хода (в перспективе отключения части цилиндров и остановка в них шатунно-поршневой группы), изучение возможности замены турбонагнетателей и приводных воздуходувок обменниками давления, работающими на газодинамическом принципе.

2. *Улучшение работы топливной аппаратуры*: повышение равномерности цикловой подачи топлива по цилиндрам, стабилизация распыла факела топлива при работе на малых нагрузках и холостом ходе, автоматическое изменение угла опережения подачи топлива в зависимости от нагрузки. Интересные опыты по исследованию влияния угла опережения подачи топлива φ_{opt} на экономичность двигателя проведены на государственной фирме ВНР „Ganz Mavag” [3]. Была модернизирована конструкция плунжера топливного насоса „Friedmann”. Серийная конструкция плунжера обеспечивает постоянный φ_{opt} , равный 35° до верхней мертвой точки поршня.

Опытная конструкция с верхней отсечной кромкой позволила изменить φ_{opt} с 35° на номинальном режиме до 25° при холостом ходе, что позволило получить экономию топлива при работе двигателя 6 HF 18/19 по винтовой характеристике, начиная с $n_g = 1100$ об/мин (рис. 6).

Для двигателя с малым $\varphi_{\text{опт}}$ ($10 \div 15^\circ$), очевидно, целесообразно увеличивать $\varphi_{\text{опт}}$ при работе на ненормальных режимах, так как при уменьшении $\varphi_{\text{опт}}$ процесс сгорания основного количества впрыснутого в цилиндр топлива смещается на линию расширения.

3. *Улучшение процесса сгорания* топливо-воздушной смеси: стремление сохранить постоянной величину периода задержки воспламенения топлива τ_i при изменении режима работы двигателя, управляемый процесс сгорания при бездымном выпуске.

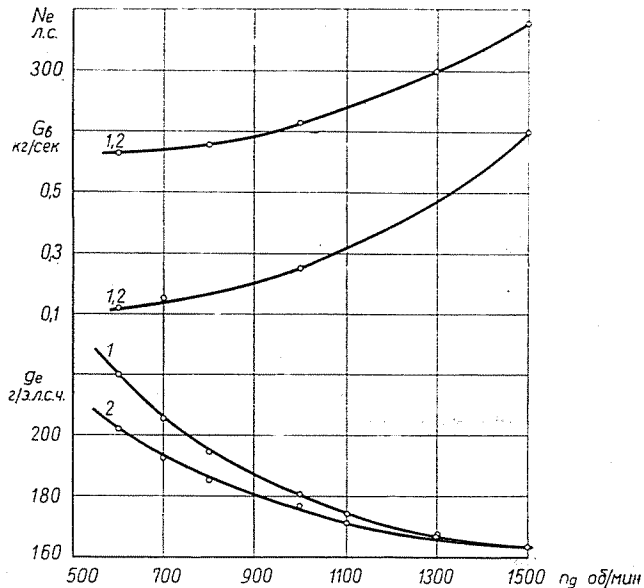


Рис. 6. Винтовая характеристика двигателя 6 HF 18/19. 1 — серийная, 2 — опытная

4. *Подогрев воздуха* или топлива: способствует повышению температуры конца процесса сжатия, что благоприятно отражается на дальнейшем протекании рабочего процесса в цилиндре.

Целесообразны следующие способы подогрева воздушного заряда: регулирование подачи воздуха (дросселирование на входе, выпуск из коллектора, перепуск с линии нагнетания на линию всасывания и т. д.), перепуск части отработавших горячих газов на всасывание в нагнетатель или после нагнетателя, регулирование систем охлаждения воздуха.

5. *Покрывание стенок* камеры сгорания: снижает потери тепла от газов через поверхности, ограничивающие камеру сгорания. Наиболее распространены керамические покрытия на алюминиевой или циркониевой основе.

Положительные результаты получены в ряде исследований по применению жаровых накладок на днище поршней.

Рассмотренные способы предусматривают конструктивные изменения отдельных узлов силовой установки тепловоза.

Сочетая это с рациональной технологией ведения поезда, можно существенно снизить среднееэксплуатационный удельный расход топлива.

Резюме

1. Тепловозный двигатель внутреннего сгорания эксплуатируется в широком диапазоне нагрузок и скорости вращения коленчатого вала.

Установлено, что независимо от категории обслуживаемого поезда, двигатели значительную долю времени работают на холостом ходу и малых нагрузках.

При однообразном равнинном профиле время работы на номинальном режиме увеличивается.

2. Целесообразно улучшать работу двигателя на частичных нагрузках и холостом ходу.

Одним из эффективных направлений является повышение эффективности протекающего рабочего процесса на частичных нагрузках, в частности процессов сжатия и сгорания смеси в цилиндре двигателя.

Литература

1. Володин А. И. Об экономичности тепловозных дизелей в эксплуатации. «Вестник Всесоюзного научно-исследоват. института ж.-д. транспорта», 1959 г. № 3.
2. Васильев В. Н. Некоторые проблемы эксплуатационной экономичности тепловозных двигателей внутреннего сгорания (дизелей). «Periodica Polytechnica», N 4, 1969 г.
3. Ganz Mávag. Jelentés MJ—167. 18/19. típusú motorcsalád kifejlesztéséről. Budapest 1967 г.

В. Н. Васильев Всесоюзный научно-исследовательский институт патентной экспертизы
Москва, СССР