

Рис. 2. Зависимости и некоторые частные примеры определения направления магистрали.

a — зависимость комплексного коэффициента A от срока действия магистрали в данной полосе лесного массива; $1 - Q_r = 450$ тыс. m^3 ; $2 - Q_r = 300$ тыс. m^3 ; $3 - Q_r = 150$ тыс. m^3 ; *b* — зависимость предельного значения координаты $x_{пр}$ точки B от ширины полосы; $1 - A = 1,75 \times 10^{-5}$; $2 - A = 3,5 \cdot 10^{-5}$; $3 - A = 7,0 \cdot 10^{-5}$; *в* — пример назначения направления магистрали при ширине полос b_{max} , определяемой по формуле (10); *г* — возможный вариант направления магистрали $OAB'C$ с ответвлением AD для лесных массивов со сложной конфигурацией границ и весьма неравномерным размещением запасов леса.

На рис. 2, *a* представлена зависимость $A = f(n)$ для лесовозной дороги с гравийной дорожной одеждой при $C_m = 30\,000$ р.; $k_m = 0,05$ р./($m^3 \cdot km$); $k_b = 0,09$ р./($m^3 \cdot km$); а на рис. 2, *b* — зависимость $x_{пр} = f(b)$ для трех пространственных значений A .

С учетом того, что при размещении веток в лесном массиве эксплуатационная площадь последнего разделяется на отдельные зоны тяготения к веткам, ширину каждой полосы целесообразно принимать равной оптимальному расстоянию между ветками у мест их примыкания к магистрали. Таким образом,

$$b = \sqrt{\frac{C_b - C_{ус}}{30\gamma b_{ус}}}, \quad (9)$$

где C_b — стоимость постройки и содержания (за срок службы) 1 км головного участка ветки, р./км;

$C_{ус}$ — стоимость постройки и содержания 1 км уса, р./км;

$b_{ус}$ — стоимость пробега леса по усу, р./($m^3 \cdot km$).

Из формулы (7) и рис. 2, *b* видно, что координата $x_{пр} = 0$ при

УДК 621.431.36

ТОПЛИВНАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ ТЕПЛОВЗОВ ПРИ МАНЕВРОВОЙ РАБОТЕ НА ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГАХ

А. В. ДУРОВ

Архангельский лесотехнический институт

Маневровая работа — неизбежная составная часть процесса перевозок. Она, как правило, характеризуется низкой загрузкой двигателя (ДВС) и неустановившимися режимами движения, где существенную долю времени занимают процессы разгона и особенно холостого хода ДВС при стоянках, торможении и выбеге тепловоза.

В связи с различными условиями выполнения маневровой работы, переменными режимами и другими факторами, теоретический расчет расхода топлива для маневров очень затруднен, поэтому обычно используют экспериментальный метод. Так, для дорог широкой колеи МПС и промтранспорта (исключая лесовозный) для разных серий тепловозов опытным путем установлена прямолинейная зависимость часового расхода топлива от числа переработанных вагонов в 1 ч [4]. Для тепловозов лесовозных УЖД в работе [3] рассмотрен расчетно-экспериментальный метод, в котором используются масса состава, скорость движения, доля времени работы тепловоза и расход топлива на отдельных операциях при обработке состава (движение с грузом, без груза, пробег резервом, холостой ход ДВС); сопротивление движению, коэффициент трудности профиля пути.

Для тепловозов широкой колеи промтранспорта с гидropередачей (ГП), используемых на металлургических предприятиях, расход топлива при маневрах [5] рекомендуется определять, как сумму расходов на разгон состава и на холостой ход ДВС при стоянках, выбеге и торможении. Для использования этого метода необходимо опытным путем определить большое количество исходных данных: средний расход топлива на один разгон, количество разгонов, конечную скорость разгона, а также знать средний КПД тепловоза при разгоне, профиль пути и сопротивление движению. Рассмотренные методики позволяют определить расход топлива при наличии опытных данных лишь для тех условий и объемов маневровой работы, в которых они проводились.

Большой экспериментальный материал, накопленный к настоящему времени, позволяет сделать заключение, что режим работы маневровых тепловозов характеризуется случайными величинами, а математической моделью этого режима является система массового обслуживания [1]. Работу маневрового тепловоза можно отнести к стационарному, без последствия, ординарному процессу, для характеристики которого может быть использован закон Пуассона [1, 2]:

$$P_{n_i} = \frac{\lambda^{n_i} e^{-\lambda}}{n_i!},$$

где λ — параметр распределения Пуассона;
 n_i — номер интервала.

Для оценки объемов работы и интенсивности использования тепловозов принимаются следующие показатели: средняя масса состава брутто (только вагонов), обрабатываемого за 1 ч Q_1 (т), взятая в сред-

нем за годовой период работы тепловоза с учетом холостого пробега; максимальная масса состава Q_{max} (т), рассчитанная по условию трогания состава с места на площадке; техническая скорость движения v (км/ч). Позиции контроллера, номинальная мощность ДВС N_e (кВт) и величина Q_{max} разбиваются на восемь равных интервалов. Отношение $\frac{Q_1}{8}$ является масштабом грузопотока m (т/ч) и служит для определения использования тепловоза по времени. Отношение $\frac{Q_1}{m}$, являясь параметром закона распределения Пуассона λ , однозначно определяет характер распределения, т. е. вероятности переработки груза для каждого интервала или отсутствия работы (простой тепловоза). Для расчетов предварительно определяют коэффициент использования мощности ДВС η на тягу, т. е. на создание средней касательной мощности $N_{к. ср}$ (кВт):

$$\eta = \frac{N_{к. ср}}{N_e} = \eta_m \eta_r (1 - \beta),$$

где η_m , η_r — кпд механической части передачи от ДВС до колес и ГП; β — коэффициент относительной мощности привода вспомогательных агрегатов $N_{в. а}$, которая не учитывается регламентом испытания ДВС (вентилятор, компрессор, насосы ГП, генератор и др.), $\beta = \frac{N_{в. а}}{N_e}$.

Установлено, что для тепловозов с ГП степень загрузки ДВС, соответствующая данной позиции контроллера (или положению рейки топливного насоса), в рабочем диапазоне скоростей на величину коэффициента η оказывает незначительное влияние, т. е. для тепловоза данной серии $\eta \approx \text{const}$ [5].

Для определения часового G_T (кг/ч) или удельного g_e (г/(кВт·ч)) расходов топлива, соответствующих каждой условной позиции контроллера n_k , на которой реализуется условная мощность $N_{eу}$ (кВт), используют характеристики топливной экономичности ДВС. Для установления связи G_T (N_e) мы обработали нагрузочные характеристики ДВС и получили с использованием стандартной программы на ЭВМ «Наири-2» уравнение

$$G_T = A + BN_e + CN_e^2,$$

где A , B , C — коэффициенты аппроксимации (табл. 1).

Располагая исходными данными, средний расход топлива при маневрах G_m (кг/ч) для различных Q_1 (т/ч) и v (км/ч) определяют в такой последовательности.

Максимальная масса состава Q_{max} (т) по условию трогания тепловоза с места и масштаб грузопотока m (т/ч)

$$Q_{max} = \frac{F_{к. max}}{\omega g} - P_{сц}; \quad m = \frac{Q_{max}}{n_k},$$

где $F_{к. max}$ — максимальная касательная сила тяги при трогании тепловоза с места, Н;

ω — удельное сопротивление движению, Н/кН;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

$P_{сц}$ — сцепная масса тепловоза, т;

n_k — число условных позиций контроллера, $n_k = 8$.

Параметр закона распределения Пуассона λ , вероятности простоя P_0 и работы P_p тепловоза

Таблица 1

Серия тепловоза	Модель ДВС	N_e , кВт	n , мин ⁻¹	$P_{ср}$, т	$F_{к max}$, кН	η_r	η_m	β	η	$\frac{w}{H/kH}$	C_T , кг/ч	ρ_x , мин ⁻¹	Значение коэффициентов в формуле (1)		
													A	B	C
ТУ6А	УАЗ-М204А	88,3	2000	14	42	—	0,81	0,1	0,73	5	2,9	1000	6,08	0,115	$9,94 \cdot 10^{-4}$
ТУ4	У1Д6-250ТК	184,0	1500	18	54	0,75	0,86	0,1	0,58	5	4,5	800	6,03	0,204	0
ТТК2	У1Д6-250ТК	184,0	1500	28	63*	0,75	0,86	0,1	0,58	4	4,5	800	6,03	0,204	0
ТТМ23Б	1Д12-400	294,4	1600	44	76,5*	0,73	0,88	0,06	0,60	4	7,4	1000	7,76	0,131	$25 \cdot 10^{-5}$

* Значение $F_{к max}$ приведено для поездного режима движения.

Таблица 2

Серия тепловоза	Расход топлива C_m , кг/ч, при средней массе состава Q_1 , т/ч			Утвержденная норма G_m при маневрах на нижнем складе, кг/ч	Использование номинальной мощности ДВС N_e %, при средней массе состава Q_1 , т/ч			Простой тепловоза, %, при средней массе состава Q_1 , т/ч					
	50	100	150		200	50	100	150	200	50	100	150	200
ТУ6А	5,0	6,8	8,5	—	6,0	21,7	28,4	31,5	—	61,6	37,9	23,2	—
ТУ4	6,8	8,8	10,9	12,9	8,5	16,2	18,9	21,8	25,1	68,7	47,1	32,3	22,2
ТТК2	6,0	8,0	9,7	11,3	6,5	18,0	20,1	22,3	24,6	72,2	59,6	46,0	35,5
ТТМ23Б	8,6	9,7	10,8	11,9	*	13,4	14,6	15,9	17,3	80,7	65,2	52,7	42,5

* Нормы расхода топлива утверждены в зависимости от массы состава Q_1 , т/ч.

$$\lambda = \frac{Q_1}{m}; \quad P_0 = e^{-\lambda}; \quad P_p = 1 - P_0 = 1 - e^{-\lambda}.$$

Переработка груза за 1 ч работы тепловоза Q_2 (т) и средняя касательная сила тяги $F_{к.ср}$ (Н)

$$Q_2 = \frac{Q_1}{P_p}; \quad F_{к.ср} = (Q_2 + P_{сц}) \omega g.$$

Средняя эффективная мощность ДВС $N_{e\text{ср}}$ (кВт) и параметр Пуассона закона распределения мощности λ_1

$$N_{e\text{ср}} = \frac{F_{к.ср} v}{3600 \eta}; \quad \lambda_1 = \frac{N_{e\text{ср}} n_k}{N_e}.$$

Вероятность реализации условной мощности ДВС $N_{eу}$ по позициям контроллера

$$P_k = \frac{\lambda_1^k e^{-\lambda_1}}{k!}.$$

Расходы топлива (кг) на холостом ходу ДВС G_x и при нагрузке G_n за 1 ч работы

$$G_x = G_{т.х} P_0; \quad G_n = P_p \Sigma G'_т = P_p \Sigma P_k G_{тк},$$

где $G_{т.х}$ — расход топлива на холостом ходу при расчетной частоте вращения вала ДВС n_x , кг/ч;

$\Sigma G'_т$ — суммарный расход топлива при работе ДВС с нагрузкой на всех условных позициях контроллера, кг/ч;

$G_{тк}$ — расход топлива на каждой условной позиции контроллера, кг/ч.

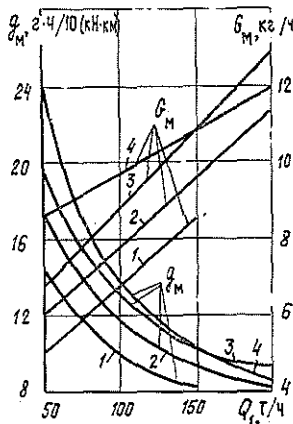


Рис. 1. Расходы топлива в 1 ч и на 10 км при маневровой работе в зависимости от средней массы состава брутто (только вагонов) при скорости 7 км/ч. 1 — ТУ6А; 2 — ТТК2; 3 — ТУ4; 4 — ТГМ23Б.

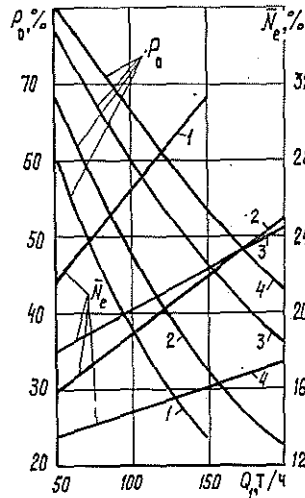


Рис. 2. Использование номинальной эффективной мощности ДВС и средней мощности тепловоза при маневровой работе в зависимости от средней массы состава брутто (только вагонов) при скорости 7 км/ч. 1 — ТУ6А; 2 — ТУ4; 3 — ТТК2; 4 — ТГМ23Б.

Расходы топлива в 1 ч G_m (кг) и на измеритель часовой транспортной работы g_m ($\text{г} \cdot \text{ч}/10$ ($\text{кН} \cdot \text{км}$))

$$G_m = G_x + G_n; \quad g_m = \frac{10^4 G_m}{Q_1 g v}.$$

По этой методике рассчитаны при $Q_1 = 50 \dots 200$ т/ч и наиболее характерной скорости $v = 7$ км/ч расходы топлива G_m и g_m для тепловозов лесовозных УЖД с механической передачей (ТУ6А) и ГП (ТУ4) при маневровой работе на нижнем складе, а также для тепловозов широкой колеи с ГП: ТГК2 (0-2-0) и ТГМ23Б (0-3-0), используемых в лесной промышленности на подъездных путях, примыкающих к путям МПС.

Исходные данные для расчета, результаты их обработки и графики функции G_m , g_m (Q_1) и N_e , P_0 (Q_1) представлены в табл. 1, 2 и на рис. 1, 2. Из рис. 1 видно, что расход топлива G_m возрастает примерно прямо пропорционально массе состава Q_1 , перерабатываемого в 1 ч. Для тепловозов ТУ6А, ТУ4 и ТГК2 в табл. 2 также приведены среднечасовые нормы расхода топлива G_m , рассчитанные по методике, изложенной в работе [3]. Эти нормы проверены экспериментально на предприятиях и утверждены Минлесбумпромом. Сопоставление этих норм с расчетными данными показало, что изложенная методика позволяет получить вполне приемлемые результаты и рассчитать расход топлива в зависимости от интенсивности использования маневрового тепловоза, характеризующей величиной Q_1 (или его производительностью $Q_1 g v$), а также определить долю времени движения (или простоя) тепловоза. Кроме этого, анализ расчетных данных позволяет оценить соответствие мощностных качеств тепловоза заданному объему маневровых работ, т. е. целесообразность его применения в данных условиях эксплуатации. Из графика (рис. 2) видно, что при маневровой работе используется лишь 13 ... 32 % номинальной мощности ДВС. Для тепловозов большой мощности (ТГМ23Б, ТУ4) время движения, особенно при небольших массах состава $Q_1 = 50 \dots 100$ т/ч, может составлять лишь 20 ... 40 % продолжительности смены. Остальное время тепловоз простаивает, расходуя топливо на холостой ход ДВС. При небольших объемах маневровых работ, когда время простоя тепловоза увеличивается, использование номинальной эффективной мощности ДВС N_e , а следовательно, и топливная экономичность, будут выше у тепловозов ТУ6А, чем у ТУ4, и соответственно — у ТГК2, чем у ТГМ23Б. Так, при $Q_1 = 50$ т/ч тепловоз ТУ4 будет расходовать топлива на 36 % больше, чем ТУ6А, а ТГМ23Б — на 43 % больше, чем ТГК2.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Белан А. П. Сравнительная эффективность промышленных тепловозов на маневровой работе.— Промышленный транспорт, 1983, № 10, с. 14—15. [2]. Гнеденко Б. В. Курс теории вероятностей.— М.: Наука, 1969.— 400 с. [3]. Дуров А. В. О расходе топлива узкоколейными тепловозами при маневровой работе.— Тр./ АЛТИ, 1972, вып. 35, с. 19—25. [4]. Залит Н. Н. Тепловозы промышленного транспорта: Справочник.— М.: Транспорт, 1980.— 368 с. [5]. Шелест П. А. Тяговые расчеты тепловозов промышленного транспорта.— М.: Транспорт, 1972.— 168 с.

Поступила 2 января 1985 г.