

УДК 629.42:629.4.054

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЁТА МЕХАНИЧЕСКОЙ РАБОТЫ Поезда

Абляимов О.С.,
к.т.н., доцент (ТашиИИТ)
Кабинов Х.К.,
магистрант (ТашиИИТ)

Введение. Настоящая работа выполнена на основании договора о взаимном сотрудничестве между Управлением по эксплуатации локомотивов, «Темирйўленилгитаъмин» ГАЖК «Ўзбекистон темир йўллари» и кафедрой «Локомотивы и локомотивное хозяйство» ТашиИИТ, согласно которого проводится цикл теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию режимов тяги и параметров (показателей) ремонтного производства тягового подвижного состава, а также оценке топливно-энергетической эффективности использования локомотивного парка железнодорожной компании в условиях эксплуатации.

В роли базовой составляющей упомянутых выше исследований выступает система показателей энергетики тяги поездов, на что, также, делают упор авторы [1-4], где одними из наиболее важных и значимых (ключевых) факторов являются тяговые качества профиля пути железнодорожной линии, механическая работа локомотивов и поезда, в целом.

Механическая работа локомотива, затрачиваемая на перемещение поезда, напрямую зависит от тяговых качеств профиля пути и трассы железнодорожной линии, которые, в свою очередь, характеризуются крутизной, протяжённостью и расположением уклонов элементов профиля, а также кривизной пути. Эти характеристики профиля пути оказывают существенное влияние на режимы движения поезда и работы энергетических силовых систем локомотива, расход энергии локомотивами на тягу поездов, пропускную и провозную способности (производительность) железных дорог, а также стоимость железнодорожных перевозок. Причём наличие большего числа подъёмов и кривых на железнодорожной линии приводит к большей механической работе, затрачиваемой локомотивом на перевозку определённого количества грузов.

Для приближённой оценки влияния тяговых качеств профиля и трассы пути железнодорожного участка на расход топливно-энергетических ресурсов, а как следствие, на эффективность работы тягового подвижного состава в условиях эксплуатации, рекомендуются виртуальные тяговые характеристики профиля пути [1-4], которые получили весьма широкое распространение в части проектирования (реконструкции) железных дорог и технико-экономических расчётах, в том числе нормирования расхода дизельного топлива и электроэнергии на тягу поездов.

Однако, использование упомянутых характеристик в научных исследованиях по тяге и тяговых расчётах для поездной работы не является уместным (корректным), так как они не учитывают влияние на перевозочный процесс всей совокупности неустойчивости параметров и трудности реального профиля пути, а также различных эксплуатационных факторов по организации движения локомотивов и поездов.

Условием объективной оценки сравнения разных вариантов локомотивной тяги является величина механической работы A локомотива (поезда), рассчитанная на реальном профиле пути с учётом использования кинетической энергии поезда и отнесённая к тонно-километру перевозочной работы $(Q+P)S$, выполненной на участке счёта [1-3], то есть

$$\eta = A / (Q+P) \cdot S \quad (1)$$

где η – коэффициент тягового качества профиля железнодорожного пути.

Ранее, опираясь на рекомендации [3,4], нами были разработаны и предложены соответствующие методики (методы) по определению упомянутой механической работы [5-7], в основе которых лежит графо-аналитический метод расчёта.

Кроме этого, при выполнении технико-экономических расчётов необходимо знать и уметь определять величину механической работы сил, действующих на поезд, на различных режимах его ведения (движения).

Постановка задачи и результаты расчета. С целью реализации сказанного воспользуемся известным дифференциальным уравнением движения поезда [1-4], имея в виду, что величина удельной равнодействующей силы поезда в условиях его перемещения по участку не является величиной постоянной, то есть она переменная.

Поэтому, теоретически, механическую работу поезда можно будет определить, если проинтегрировать уравнение $A_{\text{п}} = (Q+P) \int_{S_1}^{S_2} r \, dS$, принимая в качестве начальных условий постоянство величины удельной равнодействующей силы r для различных режимов движения поезда в каждом выбранном (принятом) интервале пути $\Delta S = S_{i+1} - S_i$, то есть

$$A_{\text{п}} = (Q+P) \sum_{i=1}^n r_i \Delta S_i \quad (2)$$

где ΔS_i – интервалы пути, в которых (где) скорость движения и удельная равнодействующая сила остаются (принимаются) постоянными.

Уравнение (2) является основополагающим для определения механической работы сил, действующих на поезд, на режимах тяги ($r_1 = f_k - w_0$), холостого хода ($r_2 = w_{0x}$) и торможения ($r_3 = \gamma b_t + w_{0x}$).

Для расчёта величины механической работы поезда необходимо иметь интегральную кривую скорости в функции пути $V = f(S)$ (рис. 1, справа) и диаграмму удельных равнодействующих сил поезда в функции скорости V на различных режимах его ведения (рис. 1, слева).

Упомянутые диаграммы, фрагменты которых представлены на рис. 1, были нами получены и построены в результате тяговых расчётов, выполненных для трёхсекционных магистральных тепловозов серии UzTE16M3 на холмистом участке железной дороги, где движение грузовых поездов осуществлялось с массой и числом осей в составе равными, соответственно, $Q = 6500\text{т}$ и $m = 356$ осей, а элементы профиля пути с крутизной уклонов в интервале от $+3,0\%$ до $-3,0\%$ составляли 43,06...47,17 процентов от общей длины этого участка [8].

Характерной особенностью, исследуемого, трёхсекционного модернизированного тепловоза UzTE16M3 являются энергетическая силовая установка–дизель-генератор 1А-9ДГ третьего исполнения с новым дизелем 1А-5Д49 третьего исполнения (условное обозначение по ГОСТ 10150 –16ЧН26×26), микропроцессорная система регулирования мощности дизель-генератора УСТА-75-02 (унифицированная система тепловозной автоматики), а также система КЛУБ-У (комплексное локомотивное устройство безопасности) и унифицированный пульт управления (УПУ). Удельный расход топлива у дизеля 1А-5Д49 третьего исполнения на режиме номинальной мощности (2206кВт) составляет 198г/кВтч, а на режиме холостого хода часовой расход топлива - 14кг/ч.

На рис. 1 и в табл. 1 приведены, соответственно, алгоритм графического и аналитического (табличного) расчёта механической работы сил, действующих на поезд, опираясь на исходные данные [8].

Последовательность построения и расчёты производим следующим образом. Графическое решение реализовано путём построения трёх диаграмм на режимах тяги - $f_k - w_o = f(S)$, холостого хода - $w_{ox} = f(S)$ и служебного торможения ($\gamma = 0,5$) - $\gamma b_r + w_{ox} = f(S)$ так, как показано на рис. 1.

Вначале, по изломам интегральной кривой $V = f(S)$ намечаем (принимаем) интервалы скорости в пределах $\Delta V \leq 10 \text{ км/ч}$. Значения скоростей движения в начале $V_{н}$ и в конце $V_{к}$ интервала скорости записываем в графы 1 и 2 расчётной таблицы (табл. 1), которые на рис. 1 помечаем точками 1...9 и определяем среднюю скорость движения $V_{ср}$ – графа 3.

Затем проводим горизонтальные линии из точек 1...9 интегральной кривой $V = f(S)$ до пересечения с диаграммой $f_k - w_o = f(V)$, $w_{ox} = f(V)$ и $\gamma b_r + w_{ox} = f(V)$ – точки 1'...9', проекции которых на ось абсцисс укажут на соответствующие значения удельных равнодействующих сил поезда – точки 1''...9'', средние значения которых заносим в графы 4,7 и 10, а на планшете (рис. 1, справа) вычерчиваем графические зависимости $f_k - w_o = f(S)$, $w_{ox} = f(S)$ и $\gamma b_r + w_{ox} = f(S)$.

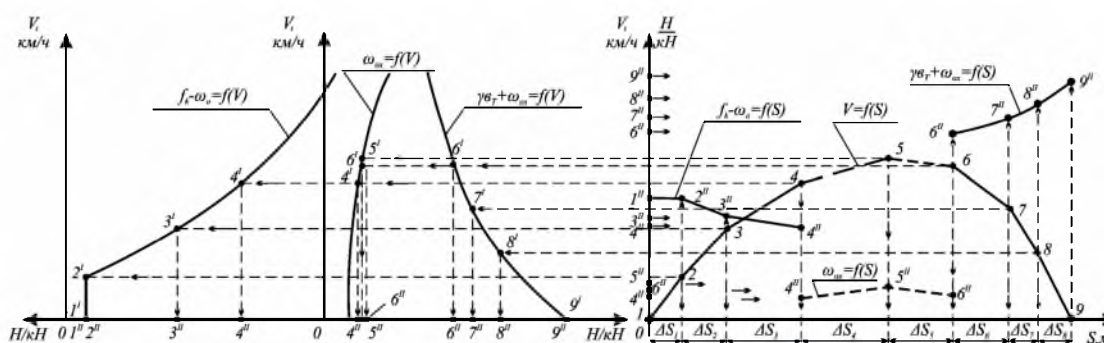


Рис. 1. Графическая интерпретация вычисления механической работы поезда на участке счёта:

кривая скорости движения поезда в функции пути - $V = f(S)$; диаграммы удельных равнодействующих сил поезда в функции скорости на режимах тяги - $f_k - w_o = f(V)$, холостого хода - $w_{ox} = f(V)$ и торможения - $\gamma b_r + w_{ox} = f(V)$; диаграммы механической работы удельных равнодействующих сил, действующих на поезд, в функции пути на режимах тяги - $f_k - w_o = f(S)$, холостого хода - $w_{ox} = f(S)$ и торможения - $\gamma b_r + w_{ox} = f(S)$; точки 1-4, 1'-4' и 1''-4'' – режим тяги, точки 4-6, 4'-6' и 4''-6'' – режим холостого хода, точки 6-9 и 6'-9' – режим торможения; $\Delta S_1 - \Delta S_3$ – интервалы пути на режиме тяги, $\Delta S_4 - \Delta S_5$ – интервалы пути на режиме холостого хода, $\Delta S_6 - \Delta S_9$ – интервалы пути на режиме торможения; ордината скорости движения поезда (локомотива) – V , км/ч; ордината и абсцисса удельных равнодействующих сил поезда – H /кН; абсцисса пути – S , м.

Далее, определяем путь ΔS_i , проходимый поездом при изменении скорости в каждом интервале, который можно получить (определить), если спроектировать точки 1...9 (скорости $V_{н}$ и $V_{к}$) интегральной кривой $V = f(S)$ на ось пути S и его значения записываем в графы 5,8 и 11. В графах 6,9 и 12 запишем механическую работу сил на режимах тяги, холостого хода и торможения в границах каждого i -го интервала пути ΔS_i , как произведение соответствующих величин граф 4 и 5, 7 и 8, 10 и 11. Результатом суммирования величин граф 6,9 и 12 является механическая работа сил, действующих на поезд, на различных режимах его ведения (A_T , $A_{ХХ}$ и $A_{ТОР}$) и в целом на участке счёта ($A_{п} = A_T + A_{ХХ} + A_{ТОР}$), выраженная в МДж.

Таблица 1

Пример расчёта механической работы сил, действующих на поезд

Скорость движения поезда, км/ч			Режимы ведения поезда на участке счёта								
			тяги			холостого хода			торможения		
			$(f_k - w_{0})_{тр}$, Н/кН	$\Delta S_{тр}$, км	$A_{т}$, МДж	$w_{ох}$, Н/кН	$\Delta S_{ох}$, км	$A_{ох}$, МДж	$0,5b_{т} + w_{ох}$, Н/кН	$\Delta S_{тор}$, км	$A_{тор}$, МДж
$V_{Н}$	$V_{к}$	$V_{ср}$	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	10	5	17,68	0,80	959,33	-	-	-	-	-	-
10	20	15	13,73	1,05	977,82	-	-	-	-	-	-
20	30	25	9,43	1,84	1176,87	-	-	-	-	-	-
30	37	33,5	-	-	-	1,33	2,10	189,44	-	-	-
37	35	36	-	-	-	1,30	1,55	136,66	-	-	-
35	25	30	-	-	-	-	-	-	36,36	1,34	3304,66
25	15	20	-	-	-	-	-	-	37,72	0,80	2046,73
15	0	7,5	-	-	-	-	-	-	41,27	0,85	2295,34
Итого			$A_{т} = 3114,02$ МДж			$A_{ох} = 326,10$ МДж			$A_{тор} = 7646,73$ МДж		
Всего			$A_{п} = 3114,02 + 326,1 + 7646,73 = 11086,85$ МДж								

В рассматриваемом примере доля механической работы упомянутых сил на режимах тяги, холостого хода и торможения в процентном соотношении составляет, соответственно, 28,09, 2,94 и 68,97 процентов.

Авторы [3] предлагают (рекомендуют) механическую работу торможения при остановках поезда на раздельных и остановочных пунктах, разъездах и станциях подсчитывать по следующей формуле

$$A_{ст} = 0,5 \cdot m_{п} \cdot V^2 / 3,6^2 - (w_{т} + i_{т}) \cdot (Q + P) \cdot S_{т}, \text{ кДж} \quad (3)$$

где $m_{п}$ – масса поезда, кНс²/м;

V – скорость начала торможения, км/ч;

$w_{т}$ – удельное основное сопротивление при средней скорости движения ($V_{ср} = 0,6 V$), Н/кН;

$S_{т}$ – тормозной путь при воздействии тормозной силы $0,5b_{т}$, м ($S_{т} = 4,17 \cdot V^2 / 0,5 b_{т} + w_{т}$);

Q, P – соответственно, вес состава и локомотива, кН.

В случае определения механической работы торможения при ограничении скорости движения вместо квадрата скорости V начала торможения следует подставлять значения разности квадратов скоростей между последней и допускаемой по ограничению $V_{доп}$, то есть $(V^2 - V_{доп}^2)$ [3].

Выводы. Таким образом, предложенный нами алгоритм расчёта механической работы сил, действующих на поезд, будет весьма полезным для научных работников и специалистов локомотивного хозяйства, работа которых напрямую связана с разработкой рекомендаций и мероприятий по повышению эффективности использования тягового подвижного состава в разнообразных условиях эксплуатации. Потому что он позволяет помимо корректного обоснования режимов тяги и показателей ремонтного производства локомотив-

ного парка железнодорожной отрасли, в значительной степени повысить качественную составляющую научных исследований по тяге поездов, выполнения (производства) различных технико-экономических расчётов и проектирования железных дорог.

Литература

1. Бабичков А.М., Егорченко В.Ф. Тяга поездов. Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта. - М.: Трансжелдориздат, 1962, 264 с.
2. Бабичков А.М., Гурский П.А., Новиков А.П. Тяга поездов и тяговые расчёты. Учебник для студентов вузов железнодорожного транспорта. - М.: Транспорт, 1971, 280 с.
3. Подвижной состав и тяга поездов / Третьяков А.П. и др. Под ред. В.В. Деева, Н.А. Фурьянского. Учебник для студентов вузов железнодорожного транспорта. - М.: Транспорт, 1979, 368 с.
4. Деев В.В., Ильин Г.А., Афонин Г.С. Тяга поездов. Учебное пособие для вузов. - М.: Транспорт, 1987, 264 с.
5. Абляимов О.С., Кабинов Х.К. Методика расчета механической работы локомотива на режиме тяги. Республика илмий-амалий конференцияси. «Таълим тизимини ривожлантиришда таълим босқичлари ўртасидаги интеграция жараёндарини чуқурлаштириш». - Т.: ТошДЙУ, 2014, 21...23 с.
6. Абляимов О.С., Атахажаев Ж.Х. Исследование эффективности использования тепловозной тяги на холмистом участке железнодорожного пути. Вестник ТашИИТ, № 3/4. - Т.: ТашИИТ, 2013, 22...26 с.

Annotatsiya

Harakati temir yo'lining baland-past uchastkasida UzTE16M3 teplovozi bilan tashkil etilgan yuk poyezdiga ta'sir qiluvchi mexanik ish kuchining algoritmi, uslubi va hisob natijalari taqdim etilgan.

Annotation

The suggest of the sequence of operation, methodics and the results of the calculations mechanical works of the powers, to the scene is laid (actions) on the goods train, the movement which (that) of the organizes of the diesel locomotives UzTE16M3 in the hilly direction railway track.