

Б. Е. БОДНАРЬ, Л. Ф. ГАГИН, О. И. ГИЛЕВИЧ, В. У. ВАРФОЛОМЕЕВ,
Д. В. БОБЫРЬ, А. Б. ОЧКАСОВ, А. П. ШЕПОТЕНКО, Г. В. ЕВДОМАХА (ДИИТ)

ТЯГОВО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ (ТЭН) РЕЛЬСОВОГО АВТОБУСА 620 м

Авторами запропонована методика проведення тягово-енергетичних випробувань рейкового автобуса. Відповідно до розробленої методики проведені випробування, результати проведення яких викладені у статті.

Авторами предложена методика проведения тягово-энергетических испытаний рельсового автобуса. В соответствии с разработанной методикой проведены испытания, результаты проведения которых изложены в статье.

The authors have proposed a method of traction & power tests of a rail bus. The actual test has been conducted in accordance with the developed method. The results of the test are described in the article.

Рельсовый автобус 620М-001 (далее автобус), изготовленный АО Холдинг ПЕСА Быдгощ (Польша), оборудован в соответствии с техническим заданием (ТЗ) [1], силовым блоком с немецким двигателем внутреннего сгорания типа MTU 6R183TD13H, гидродинамической передачей Voith T211 (производитель Voith Turbo GmbHCoKG, Австрия) и гидродинамическим тормозом (ретардером) типа KB190, выполненным в одном блоке с гидропередачей. Силовая установка размещена под полом автобуса.

Максимальная выходная мощность дизеля 315 кВт при частоте вращения вала дизеля $1\,900\text{ мин}^{-1}$. Масса автобуса 55 т, сцепная масса 2×16 т. Максимальная скорость автобуса 120 км/ч. Расчетная тяговая характеристика автобуса при диаметре колеса по кругу катания 840 мм приведена на рис. 1.

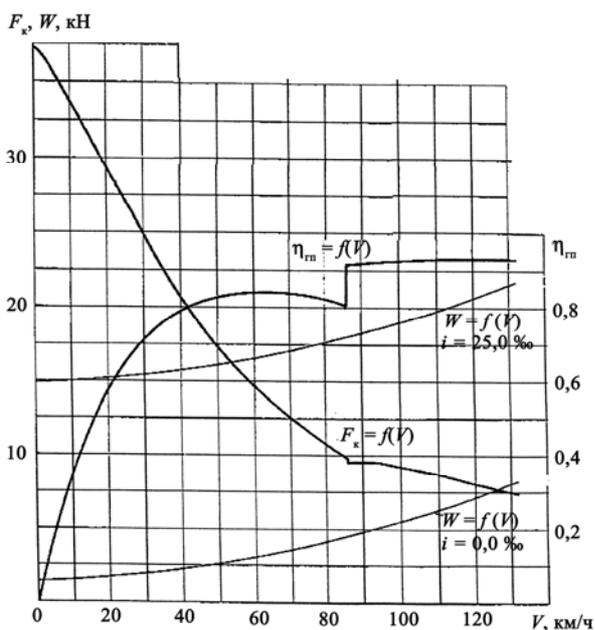


Рис. 1. Тяговая характеристика рельсового автобуса

Передача крутящего момента производится двумя гидродинамическими ступенями. Гидродинамическая передача оснащена интегрированной микропроцессорной системой управления, принимающей на себя функции управления, контроля (диагностирования) и работы.

Система управления силовым блоком подключена к общей системе управления автобуса и обеспечивает выполнение команд машиниста, адаптацию режимов работы дизеля к условиям движения, а также регистрацию сбоев в работе дизеля, передачи, вспомогательных агрегатов.

В процессе тягово-энергетических испытаний (ТЭИ) определялись следующие характеристики:

- значения силы тяги при различных скоростях движения автобуса;
- соответствие функционирования силовой установки и тягового оборудования требованиям ТЗ;
- работоспособность систем управления и диагностирования;
- величины ускорения автобуса в процессе разгона.

Кафедрой «Локомотивы» и отраслевой научно-исследовательской лабораторией диагностирования была разработана методика проведения ТЭИ с учетом особенностей вида тяговой единицы. Измерения максимальных значений силы тяги при трогании с места производились измерительно-вычислительным комплексом вагона-лаборатории (ИВК ВЛ), позволяющим измерять величину силы тяги на автосцепном устройстве.

Для комплексного испытания автобуса был составлен сцеп, состоящий из рельсового автобуса (РА), вагона-лаборатории (ВЛ) и дополнительного локомотива-бустера (Б), в качестве которого использовался тепловоз ЧМЭЗ.

При заторможенных вагоне-лаборатории и бустере силовая установка автобуса развивала заданные значения мощности. При этом с помощью тарированной автосцепки осуществлялось измерение тягового усилия $F_{Т.а}$. Измерительная аппаратура описана в [2]. Результаты этих испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1

Зафиксированные величины силы тяги автобуса от его мощности при $V = 0$ км/ч

Доля мощности дизеля, (при растяжении), %	Пределы величин усилия $F_{Т.а}$ на автосцепке, кН	Средняя величина, $F_{ТА}$, кН
25 $P_{диз}$	6...15	10,5
50 $P_{диз}$	14...26	17,0
75 $P_{диз}$	28...35	31,0
100 $P_{диз}$	35...40	37,5

При скоростях $V \leq 20$ км/ч определение касательной силы тяги F_k , реализуемой рельсовым автобусом, производилось путем одновременной регистрации с помощью ИВК ВЛ величин скорости V и силы тяги $F_{ТАизм}$. Сила тяги измерялась тензорезисторами тарированной автосцепки и аппаратурой ВЛ в процессе разгона испытательного сцепа рельсовым автобусом на прямолинейном участке пути с уклоном $i = 0$ ‰. Скорость измерялась датчиком скорости вагона-лаборатории и регистрировалась в ИВК ВЛ.

Касательная сила тяги F_k определяется по формуле

$$F_k = F_{ТА} + R_{РА} + m_{РА} a (1 + \gamma),$$

где $F_{ТА}$ – измеренное тарированной автосцепкой значение силы тяги, тс; $F_{ТА} = 9,81 F_{ТАизм}$, кН; $R_{РА}$ – полное сопротивление движению автобуса, кН; $m_{РА}$ – масса рельсового автобуса, равная 55,6 т; a – ускорение сцепа, м/с², определяемое датчиком ускорения АС2(4) с использованием магнитографа и ИВК ВЛ; γ – коэффициент инерции вращающихся масс рельсового автобуса, принятый равным 0,1.

Значение $R_{РА}$ определялось по соотношению, приведенному в [2].

$$R_{РА} = (i \cdot m_{РА} + r_{РА} \cdot m_{РА} + \frac{0,5 \cdot C_w \cdot A \cdot (V + B)^2}{100}) \cdot 0,00981,$$

где i – уклон пути, принято $i = 0$ ‰; $r_{РА} = 2,5$ кГс/т – постоянная составляющая основного удельного сопротивления движению автобуса; $C_w = 0,62$ – аэродинамический коэффициент сопротивления движению; $A = 11$ м² – площадь лобовой стены кабины автобуса; V – скорость движения сцепа, км/ч; $B = 12$ км/ч – постоянная.

При скоростях $V > 20$ км/ч определение касательной силы тяги F_k производилось путем регистрации в ИВК ВЛ скорости движения одиночного рельсового автобуса с использованием штатного датчика скорости автобуса в процессе разгона его на прямом участке (площадке) с последующим вычислением

$$F_k = R_{РА} + m_{РА} \cdot a \cdot (1 + \gamma), \text{ кН.}$$

Определение величины скорости производилось путем пересчета в ИВК ВЛ значений частоты импульсов от генератора импульсов SWKP IG20 штатного датчика скорости автобуса, которая предварительно регистрировалась магнитографом XR-710.

Для вычисления скорости принималось 4 оборота колеса. За один оборот колеса регистрировалось два импульса генератора. Учитывая, что 4 оборота колеса осуществляются за время t_a (с), скорость движения V (км/ч) автобуса определялась как

$$V = 3,6 \frac{4L_k}{t_a},$$

где $L_k = 3,14 \cdot D_k = 3,14 \cdot 0,840 = 2,638$ м – длина окружности колеса автобуса по кругу катания диаметром D_k .

Учитывая, что частота квантования сигнала при вводе в компьютер (ПК) через АЦП составляла 800 Гц, регистрация скорости автобуса в ИВК осуществлялась с интервалом 0,01 с.

На основании требований методики по математической обработке результатов экспериментов [4] из зарегистрированных в ИВК значений скорости исключались «выпадающие» значения, затем определялись величины скорости на j -м интервале.

Величина ускорения a , м/с², определялась по кривой скорости путем разбиения процесса разгона автобуса на интервалы $\Delta t = 0,5$ с, определения начального $V_{jнач}$ и конечного $V_{jкон}$ значений скорости в j -м интервале и дальнейшего вычисления a_j (м/с²)

$$a_j = \frac{V_{jкон} - V_{jнач}}{3,6 \cdot \Delta t}.$$

Скорость V_j , соответствующая величине касательной силы тяги F_{ki} в j -м интервале, определялась как средняя между начальной и конечной в каждом интервале.

На основании измерений и расчетов определена экспериментальная тяговая характеристика $F_k(V)$, параметры которой приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики, полученные при экспериментальных исследованиях автобуса

V_j , км/ч	Эксперимент			По характеристике [2] $F_{k \text{ декл.}}$, кН	Отклонение ΔF , %	Примечание	
	a , м/с ²	F_{kj} , кН	P_{Kj} , кВт				
0	–	36,2	–	37,0	2,2	Испытательный сцеп	
2	0,07	37,5	20,8	36,5	2,7		
4	0,077	37,2	41,6	36,2	2,8		
6	0,08	35,6	59,3	35,3	0,8		
8	0,06	33,3	74,0	34,5	4,3		
10	0,08	32,7	90,8	33,5	2,3		
12	0,10	35,0	116,7	33,0	6,1		
15	0,09	29,9	124,6	31,3	5,4		
20	0,12	29,5	163,9	28,7	2,7		
25	0,08	27,7	192,4	27,0	2,5		
30	0,3	20,3	196,7	25	18,8		Порожний автобус
40	0,26	18,2	202,2	20,5	11,2		
50	0,19	15,5	215,3	17,5	11,4		
60	0,15	13,2	220,0	14,2	7,0		
70	0,13	11,5	223,6	12,5	8,0		
80	0,10	9,7	215,5	10,8	10,2		
90	0,05	8,1	202,5	9,3	12,9		
110	0,03	8,3	253,6	8,7	4,5		

Касательная мощность P_K , реализуемая автобусом, определялась по формуле

$$P_K = \frac{V \cdot F_K}{3,6}.$$

В соответствии с техническим заданием [1] среднее значение ускорения в диапазоне скорости 0...60 км/ч должно составлять 0,6...0,8 м/с², в диапазоне 0...100 км/ч – 0,3...0,5 м/с².

Для определения фактических значений среднего ускорения производилось измерение времени t_p (с) от момента начала движения до заданного значения скорости при разгоне одиночного порожнего автобуса на прямолинейном участке пути с нулевым уклоном. Среднее значение ускорения a_{cp} , м/с², определялось как

$$a_{cp} = \frac{V_2 - V_1}{3,6t_p},$$

где V_1 и V_2 – соответственно начальное и конечное значения скорости, км/ч.

Среднее время разгона автобуса от $V_1 = 0$ до $V_2 = 60$ км/ч $t_{cp60} = 57,2$ с, а время разгона от $V_1 = 0$ до $V_2 = 100$ км/ч составило 174 с.

Отсюда, среднее значение ускорения автобуса при разгоне от скорости $V_1 = 0$ км/ч до скорости $V_2 = 60$ км/ч составило $a_{cp} = 0,31$ м/с², а от $V_1 = 0$ км/ч до скорости $V_2 = 100$ км/ч составило $a_{cp} = 0,16$ м/с².

Таким образом, разработанная методика испытаний и средства измерений позволили определить фактические тяговые характеристики

рельсового автобуса 620М-001 и получить данные для расчета его эксплуатационных характеристик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рельсовый автобус для пассажирских перевозок. Техническое задание. PESA Bydgosz. 30.01.2004.
2. Блохин Е. П. О вводе в компьютер информации от датчиков при натурных испытаниях железнодорожного подвижного состава / Е. П. Блохин, С. В. Мямлин, П. Б. Грановский и др. //

ВКІ Академії інженерних наук України. Спец-випуск. – *Машинобудування*, № 4(17), 2002, – С. 19–28.

3. Техническо-эксплуатационная документация рельсового автобуса 620М. DTR620М. Быдгощ, 2004. Приложение № 11, № 16.
4. Румынский Л. З. Математическая обработка результатов экспериментов. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1971. – 192 с.

Поступила в редколлегию 27.06.2006.