

УДК 629.4-592.52:001.891.5

Ю.Я. Водяников, А.М. Сафронов, А.Е. Нищенко, К.Л. Жихарцев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ВОЗДУХА ИЗ ПНЕВМОРЕССОР ПРИ ЭКСТРЕННОМ ТОРМОЖЕНИИ ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА С ПНЕВМОПОДВЕШИВАНИЕМ

Изложены результаты исследования расхода воздуха из системы пневмоподвешивания пассажирского вагона при экстренных пневматических торможениях. Представлены расчетные формулы для определения расхода воздуха. Показано, что на характер распределения амплитуд давлений оказывают тормозные силы, а максимальный расход воздуха из пневморессор при торможении не превышает 0,5 л.

Важнейшей составной частью рельсовых экипажей являются устройства демпфирования и гашения колебаний кузова при движении по неровностям рельсового пути, призванные обеспечивать требуемые динамические характеристики вагона.

Особую актуальность вопросы динамики приобретают для пассажирских вагонов с учетом дальнейшего повышения скоростей движения до 200 км/ч и более. Из всего разнообразия технических устройств и систем гашения колебаний следует выделить системы пневмоподвешивания, которые отличаются простотой и надежностью.

Как показали предварительные исследования, пневматические рессоры улучшают ходовые качества пассажирского вагона как в вертикальном, так и горизонтальном направлениях, наибольшая эффективность проявляется при скоростях свыше 120 км/ч.

Дополнительный источник расхода воздуха, каким является система пневмоподвешивания, в одну из актуальных выдвигает задачу по оценке расхода воздуха из системы пневмоподвешивания в процессе торможения и движения по неровностям рельсового пути. В этой связи исследования по определению расхода воздуха из системы пневмоподвешивания можно разделить на два независимых этапа: определение расхода воздуха при торможении вагона и при движении на прямых и кривых участках рельсового пути.

Экспериментальные исследования по определению расхода сжатого воздуха из системы пневмоподвешивания в процессе экстренного пневматического торможения в диапазоне скоростей в начале торможения (40-160) км/ч проводились для пассажирского вагона купейного типа, загруженного до номинальной вместимости.

Изменение давления в пневморессорах при торможении записывалось на компьютер с использованием датчиков давлений, которые были предварительно протарированы, одновременно записывалась текущая скорость движения вагона.

© Ю.Я. Водяников, А.М. Сафронов, А.Е. Нищенко, К.Л. Жихарцев, 2012

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

При тормозных испытаниях система пневмоподвешивания отключалась от питательной магистрали.

Схема расстановки датчиков давлений представлена на рис. 1.

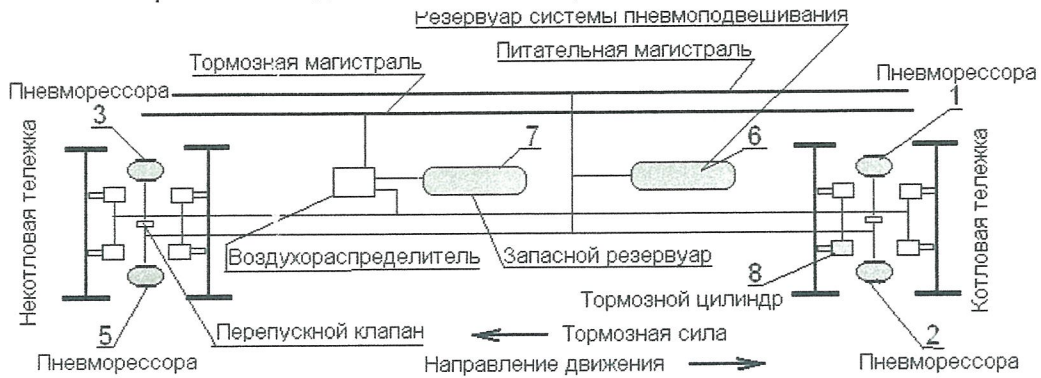


Рис.1. Схема расстановки датчиков давлений: 1,2,3,5,6,7,8 – номера датчиков давлений

Анализ давлений, реализуемых в пневморессорах при экстренном торможении, показывает, что на динамику изменения давлений оказывает влияние не только динамическое воздействие на колесные пары вагона со стороны рельсового пути, но и силы, возникающие при торможении, о чем свидетельствует различие колебательного процесса давлений сжатого воздуха в пневморессорах на котловой и некотловой тележках (рис. 2-7).

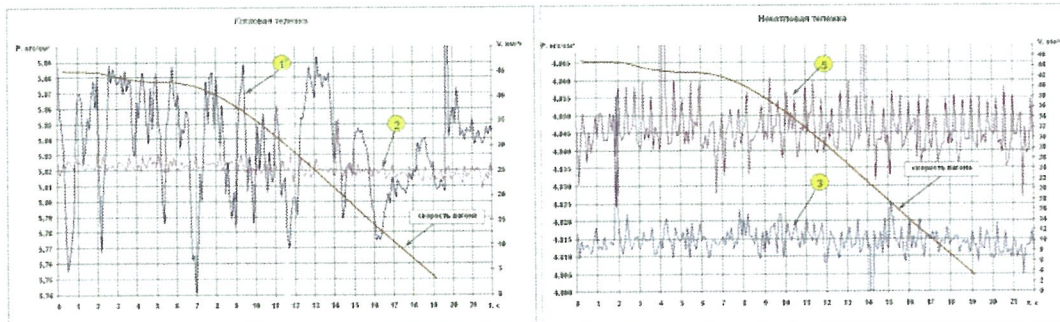


Рис.2. Динамика изменения давления в пневморессорах при скорости в начале торможения 40 км/ч

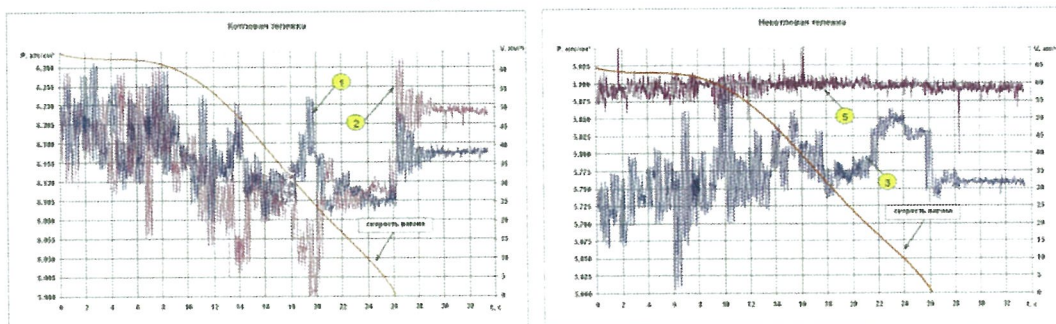


Рис.3. Динамика изменения давления в пневморессорах при скорости в начале торможения 60 км/ч

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

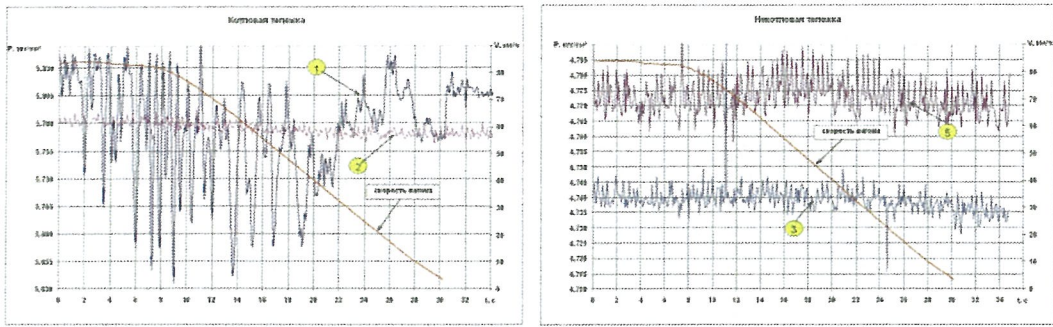


Рис.4. Динамика изменения давления в пневморессорах при скорости в начале торможения 80 км/ч

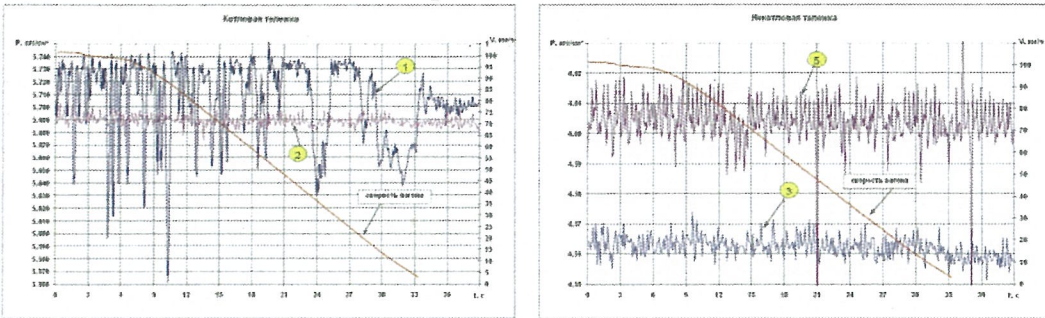


Рис.5. Динамика изменения давления в пневморессорах при скорости в начале торможения 100 км/ч

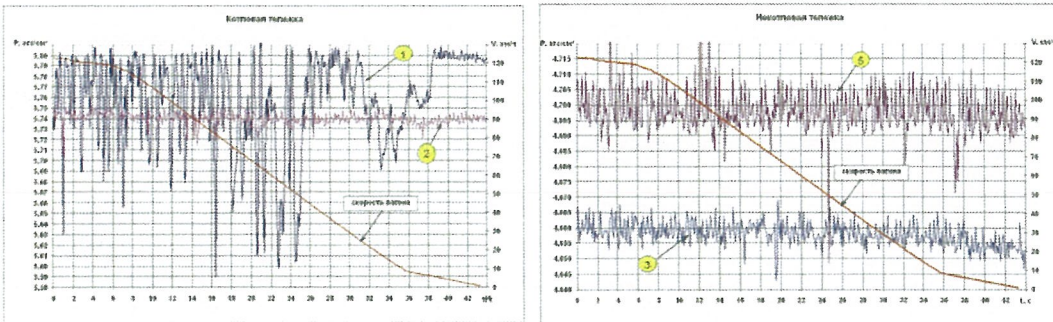


Рис.6. Динамика изменения давления в пневморессорах при скорости в начале торможения 120 км/ч

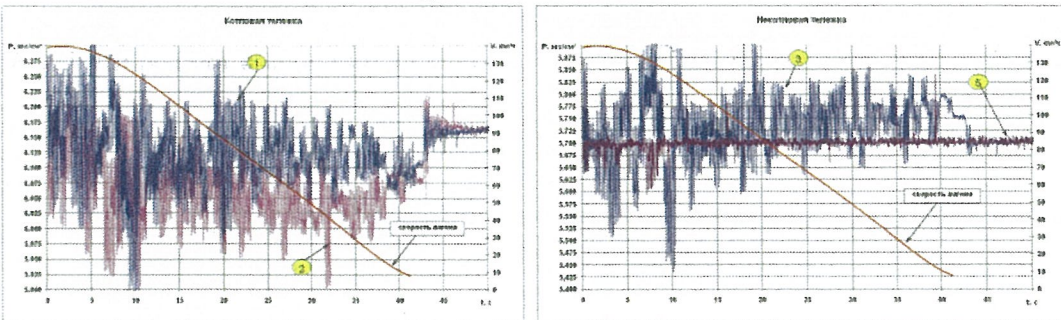


Рис.7. Динамика изменения давления в пневморессорах при скорости в начале торможения 140 км/ч

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

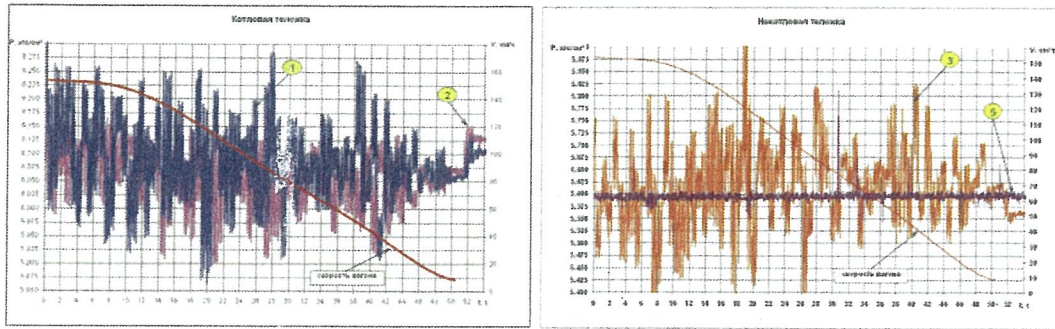


Рис.8. Динамика изменения давления в пневморессорах при скорости в начале торможения 160 км/ч

Расход воздуха определялся исходя из адиабатического закона изменения давления и объема при условии отсутствия теплообмена с внешней средой:

$$p_1 \cdot v_1^\gamma = p_2 \cdot v_2^\gamma, \quad (1)$$

где p_1 - первоначальное давление в пневморессоре;

p_2 - конечное давление в пневморессоре;

v_1 - объем воздуха в пневморессоре при давлении воздуха p_1 ;

v_2 - объем воздуха в пневморессоре при давлении воздуха p_2 ;

γ - показатель политропы, для воздуха $\gamma = 1,4$.

Объемный расход воздуха, с учетом формулы (1), определялся по формуле:

$$\Delta v = v_1 \cdot \left[1 - \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{1/\gamma} \right]. \quad (2)$$

Давления в пневморессорах записывались на ЭВМ в виде отдельных реализаций, соответствующих одному опыту («бросанию»), при этом для определения расхода воздуха необходимо иметь данные о фактическом объеме воздуха в пневморессорах на начало реализации.

Начальный фактический объем (v_i^n) в пневморессоре определялся по формуле (3), а коэффициент α по номограмме (рис. 9).

$$\begin{aligned} v_i^n &= v_{i-1}^k \cdot \left(\frac{p_{i-1}^k}{p_i^n} \right)^{1/\gamma} = \alpha \cdot v_{i-1}^k = \\ &= v_{i-1}^k \cdot \left(-0,07718 \cdot \left(\frac{p_{i-1}^k}{p_i^n} \right)^3 + 0,539251 \cdot \left(\frac{p_{i-1}^k}{p_i^n} \right)^2 + 0,55817 \cdot \left(\frac{p_{i-1}^k}{p_i^n} \right) - 0,023356 \right), \end{aligned} \quad (3)$$

где v_i^n - начальный объем воздуха в пневморессоре на начало записи i -ой реализации;

v_{i-1}^k - конечный объем воздуха в пневморессоре на конец записи $(i-1)$ реализации;

p_i^n - начальное давление воздуха в пневморессоре на начало записи i -ой реализации;

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

v_{i-1}^k - конечное давление воздуха в пневморессоре на конец записи (i - 1) реализации;

α - коэффициент пропорциональности.

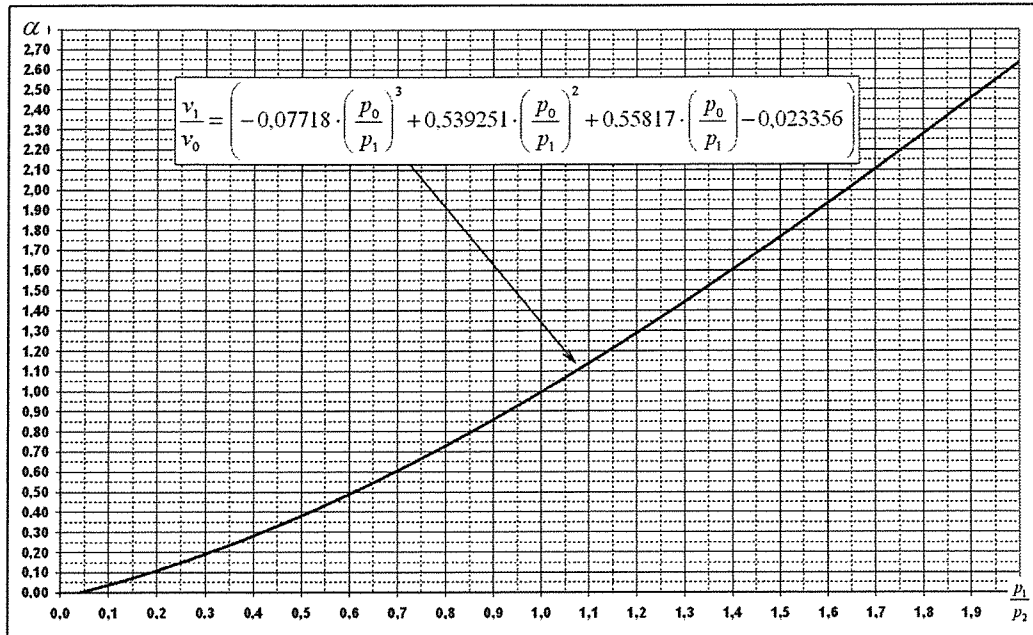


Рис. 9 – Номограмма для определения коэффициента α в формуле (3)

Расход (поступление) воздуха из пневморессоры определялся по формуле:

$$\Delta v = \beta \cdot v_1 = v_1 \cdot \left[1 - \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{1/\gamma} \right], \quad (4)$$

где v_1 и p_1 - начальные значения объема и давления в пневморессоре;

v_2 и p_2 - конечные значения объема и давления в пневморессоре;

β - коэффициент пропорциональности.

Коэффициент β определяется по формуле (5) или по номограмме (рис. 10).

Так как емкость пневматических резервуаров указывается в литрах, то и расход воздуха также определялся в литрах.

$$\beta = 0,07718 \cdot \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^3 - 0,539251 \cdot \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^2 - 0,55817 \cdot \left(\frac{p_1}{p_2} \right) + 1,023356 \cdot \quad (5)$$

Перед каждым выездом на полигон испытаний производилась зарядка системы пневмоподвешивания до достижения номинальных давлений в пневморессорах, а также проверялась плотность элементов пневмоподвешивания.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

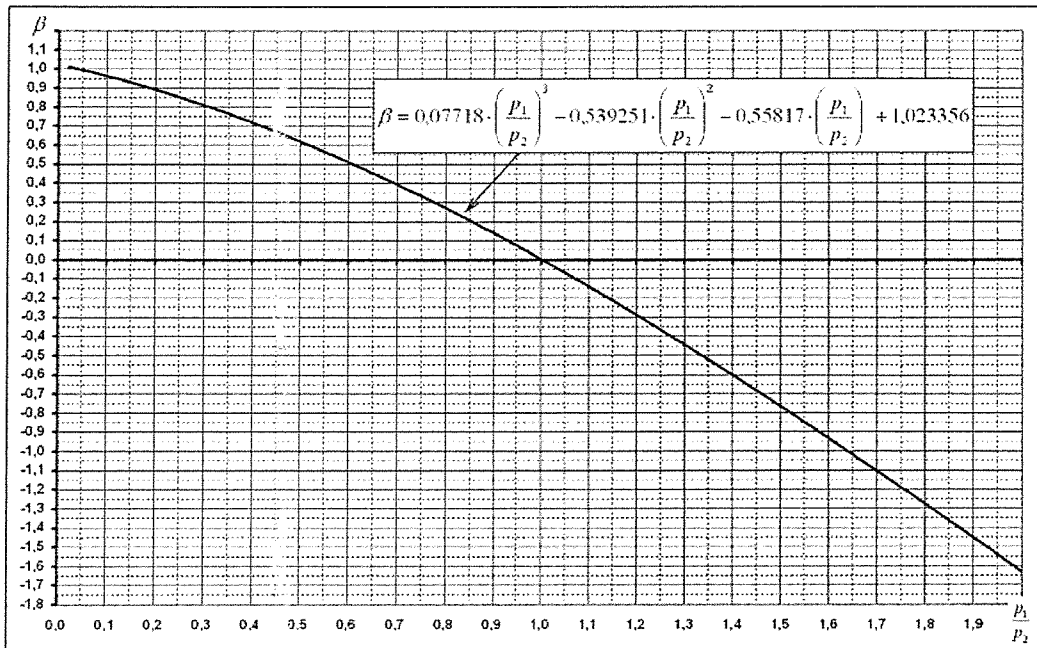


Рис. 10. Номограмма для определения коэффициента β в формуле (5)

Результаты расчетно-экспериментальных исследований расхода воздуха из системы пневмоподвешивания при экстренном пневматическом торможении представлены в табл.1.

Таблица 1. Расход воздуха в пневморессорах при экстренном пневматическом торможении

Скорость в начале торможения, км/ч	Расход воздуха в пневморессорах, л				Суммарный расход воздуха, л
	1	2	3	4	
40	-0,020235	-0,05647	-0,02947	-0,01976	-0,12594
60	-0,074984	-0,01071	-0,04474	0,019618	-0,11082
80	0,0096395	-0,10077	-0,05413	-0,02984	-0,17511
100	-0,372932	-0,0356	-0,03438	-0,0282	-0,47111
120	-0,356029	-0,02141	-0,02478	-0,02286	-0,42507
140	-0,083206	-0,0108	-0,11857	0,082265	-0,13031
160	-0,224866	0,038588	-0,18925	0,021565	-0,35397

Знак плюс величины расхода в табл. 1 указывает на перетекание сжатого воздуха из одной пневморессоры в другую через перепускной клапан. Наибольший расход воздуха из пневморессор зафиксирован на тележке с котловой стороны вагона (рис. 11).

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

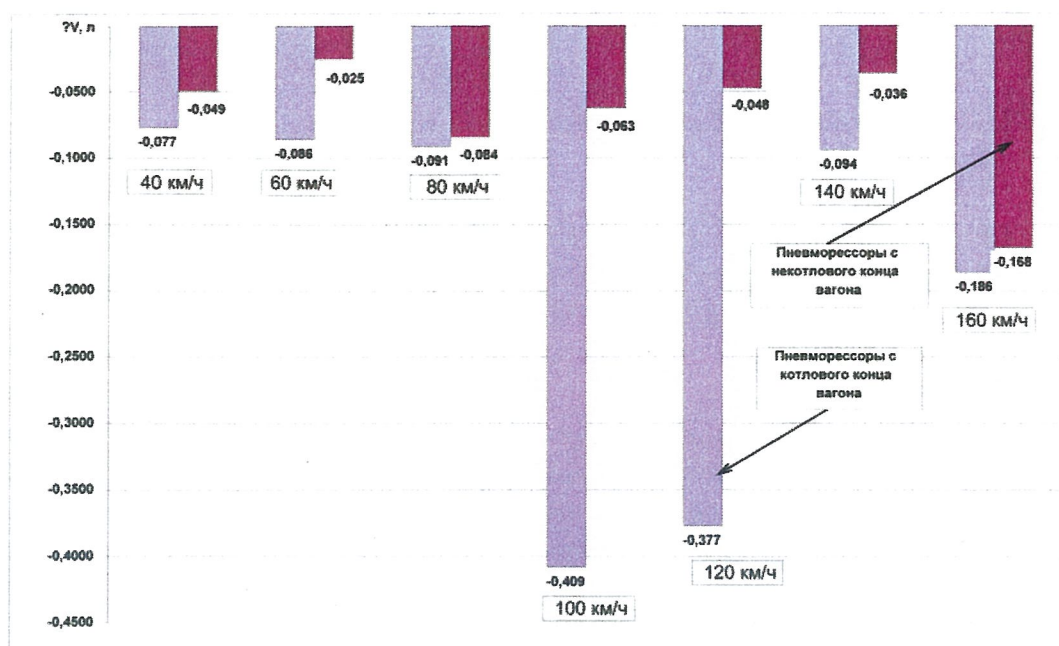


Рис. 11. Расход сжатого воздуха из пневморессор, установленных на тележках с котловой и некотловой концов вагона, при экстренном пневматическом торможении

На основании выполненных исследований установлено, что максимальная величина расхода сжатого воздуха из пневморессор при экстренном пневматическом торможении пассажирского вагона с системой пневмоподвешивания не превышает 0,5 л и составляет при суммарном объеме пневморессор 320 л - 0,15 %.