

05.05.03

Л 644

Министерство высшего и среднего специального
образования СССР

Челябинский политехнический институт
имени Ленинского комсомола

На правах рукописи

ЛИТКЕ Павел Евгеньевич

УДК 629.113-592

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРМОЖЕНИЯ
ПОЛИРИЦЕПОВ-ТЯГЕЛОВОЗОВ НА ЧЕТЫРЕХРЕССОРНОЙ
БАЛАНСИРНОЙ ПОДВЕСКЕ

Специальность 05.05.03 - Автомобили и тракторы

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск - 1988

Работа выполнена в Челябинском политехническом институте
имени Ленинского комсомола.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Драгунов Г.Д.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Семенов В.М.,
кандидат технических наук,
доцент Калинин Ю.М.

Ведущая организация - Центральный научно-исследовательский
автомобильный полигон НАМИ (г.Дмитров)

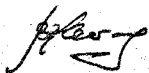
Защита диссертации состоится 6 апреля 1988г., в 15 часов,
на заседании специализированного совета К 053.13.02 в
Челябинском политехническом институте имени Ленинского комсомола
по адресу: 454044, г.Челябинск, пр.им.В.И.Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЦНИ
им. Ленинского комсомола.

Автореферат разослан "29" февраля 1988г.

Ваши отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью,
заверенной печатью, просим направлять по указанному адресу.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук,
доцент



В.В. ЖЕСТКОВ

А к т у а л ь н о с т ь т е м ы. Применение полуприцепов-тяжеловозов в составе седельных автопоездов позволяет значительно расширить номенклатуру перевозимых народнохозяйственных грузов, повысить производительность труда и снизить себестоимость транспортных работ. Вновь создаваемые конструкции полуприцепов в соответствии с "Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года" должны иметь уменьшенную металлоемкость, увеличенный ресурс работы и минимальную трудоемкость технического обслуживания. Для решения этих задач в конструкции полуприцепов-тяжеловозов все большее применение находят четырехрессорные подвески, позволяющие кроме того повысить плавность хода и увеличить скорость движения.

Однако конструкция четырехрессорной подвески оказывает существенное влияние на эффективность торможения. В связи с этим, обоснование и разработка методики выбора параметров четырехрессорной подвески полуприцепа-тяжеловоза, обеспечивающей высокую эффективность торможения автопоезда, является актуальной задачей повышения безопасности движения.

Работа выполнялась в соответствии с планами НИР Министерства автомобильной промышленности СССР на 1983-1985 годы по разделу "Создание научно-технического задела для проектирования перспективных образцов автомобильной техники" (задание 5.1.3).

Ц е л ь ю р а б о т ы является повышение эффективности торможения автопоездов-тяжеловозов путем научно-обоснованного выбора параметров тормозной системы и четырехрессорной балансирной подвески полуприцепа.

О б ь е к т и с с л е д о в а н и я - автопоезд-тяжеловоз, состоящий из седельного тягача КРАЗ-260В и полуприцепа-тяжеловоза ЧМЗАП-93861 грузоподъемностью 16 тонн.

Н а у ч н а я н о в и з н а р а б о т ы заключается в том, что впервые разработана математическая модель процесса торможения автопоезда-тяжеловоза, обеспечивающая определение нормативных критериев эффективности тормозной системы, которая в отличие от известных учитывает влияние на процесс торможения параметров четырехрессорной подвески полуприцепа и особенностей

ее кинематики. Предложен метод выбора параметров четырехрессорной подвески полуприцепа-тяжеловоза, обеспечивающей полное использование сцепного веса при торможении.

Практическая ценность и реализация результатов работы. Разработана методика расчета процесса торможения автопоезда-тяжеловоза, которая служит основой совершенствования тормозных качеств гаммы полуприцепов-тяжеловозов на четырехрессорной подвеске. В результате проведенных исследований разработаны рекомендации по выбору параметров тормозной системы и четырехрессорной балансирующей подвески полуприцепов, составлены алгоритмы и программа расчета на ЭВМ критериев эффективности торможения.

На основе предложенной методики разработан и введен в действие на Челябинском машиностроительном заводе автомобильных и тракторных прицепов руководящий документ РД 37.266.003-87 "Расчет тормозной эффективности автопоезда с полуприцепом на четырехрессорной подвеске. Оптимизация параметров четырехрессорной подвески полуприцепа с точки зрения повышения тормозной эффективности", позволяющий ускорить и повысить качество проектировочных работ.

Проведенный комплекс исследований позволил обосновать и разработать конструктивную схему четырехрессорной подвески полуприцепов ЧМЗАП грузоподъемностью 16-30 тонн, а также конструктивные схемы их тормозных систем.

Разработанная четырехрессорная подвеска и быстродействующий привод тормозов, обеспечивающие параметры эффективности автопоезда-тяжеловоза в полном соответствии с требованиями нормативных документов, внедрены на полуприцепе ЧМЗАП-99858 с фактическим экономическим эффектом 90,3 тысячи рублей в год.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на Втором Всесоюзном научно-техническом совещании "Динамика и прочность автомобиля" в октябре 1986 года в г.Москве, на научно-технической конференции Горьковского политехнического института им.Иванова в 1984 году, на 44-ой научно-технической конференции СибАДИ по секции "Автомобили", на XXXVI-XXXIX научно-технических конференциях Челябинского политехнического института (1983-1987г.г.), на заседании конструкторской секции научно-технического совета Челябинского машиностроительного завода автомобильных и тракторных прицепов в 1985 году.

П у б л и к а ц и и. По теме диссертации опубликовано девять печатных работ, получено авторское свидетельство на изобретение.

О б ъ е м р а б о т ы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и приложения; содержит 97 страниц машинописного текста, 46 рисунков, 7 таблиц, список использованной литературы из 60 наименований и 9 страниц приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

I. Состояние вопроса и задачи исследования

При проектировании гаммы полуприцепов и прицепов-тяжеловозов важным является унификация подвесок и колесных тормозных механизмов. Двухосная четырехрессорная балансирная подвеска в полной мере отвечает данному требованию. В то же время такая подвеска, из-за перераспределения нагрузок между осями при торможении, оказывает негативное влияние на эффективность торможения полуприцепа, вследствие недоиспользования момента, развиваемого колесными тормозными механизмами одной из осей. Поэтому для повышения эффективности процесса торможения необходимо располагать методом, позволяющим на стадии проектирования оценивать влияние на него конструктивных параметров четырехрессорной подвески полуприцепа-тяжеловоза.

В работе проведен критический анализ исследований советских и зарубежных ученых по вопросам торможения автопоездов. Теоретические вопросы повышения эффективности торможения рассматривались в работах Н.А.Бухарина, В.Д.Балакина, Б.Б.Генбома, А.Б.Гредескула, Н.К.Дьячкова, В.В.Жесткова, В.А.Иларионова, Г.М.Косолапова, Н.Ф.Метлюка, Н.К.Пчелина, В.П.Петрова, М.А.Петрова, А.А.Ревина, А.К.Фрумкина, Р.И.Фурунжиева, А.С.Федосова и других авторов. Основные положения, изложенные в работах, применимы к тяжеловозным автопоездам. Однако специфика конструкции ходовых частей полуприцепов-тяжеловозов, отсутствие в литературе рекомендаций по их проектированию и методов расчета, учитывающих характерные особенности четырехрессорной подвески полуприцепа, требуют специального теоретического анализа и исследования.

Важным фактором, от которого зависит эффективность экстренного торможения, является также быстродействие и синхрон-

ность срабатывания пневматического привода тормозов. Конструктивные схемы пневмопривода полуприцепов-тяжеловозов сложны и характеризуются большими длинами управляющих и тормозных магистралей, значительной емкостью исполнительных органов, разветвленностью трубопроводов, что в каждом конкретном случае ставит задачу выбора параметров привода.

Таким образом, проблема повышения эффективности экстренного торможения автопоезда-тяжеловоза с полуприцепом на четырехрессорной подвеске потребовала решить следующие задачи:

1. Разработать математическую модель процесса торможения автопоезда-тяжеловоза и методику расчета критериев эффективности торможения, учитывающих взаимное влияние параметров тормозной системы и четырехрессорной балансирной подвески полуприцепа.

2. Обосновать выбор параметров и разработать рекомендации по проектированию четырехрессорной подвески, обеспечивающей высокую эффективность торможения и одновременно удовлетворяющей требованиям плавности хода.

3. Обосновать конструктивные параметры пневмопривода тормозов, обеспечивающие быстроедействие тормозной системы.

2. Математическая модель торможения автопоезда с полуприцепом-тяжеловозом на четырехрессорной подвеске

Для теоретического исследования движения автопоезда в тормозном режиме его расчетная схема представлена, как плоская семимассовая система, описываемая следующими обобщенными координатами:

X, Z - горизонтальные и вертикальные перемещения точки сцепки тягача и полуприцепа вдоль осей неподвижной системы координат, связанной с дорогой;

ψ_T, ψ_n - угловые перемещения поддрессоренных масс тягача и полуприцепа;

Z_i - вертикальные перемещения неподрессоренных масс i оси тягача и полуприцепа;

ψ_i - угловые перемещения колес i оси автопоезда.

Движение системы рассматривается под воздействием тормозных сил T_i ($i = 1, 2, \dots, 5$), определяемых из уравнений вращательного движения колес

$$J_i \ddot{\psi}_i = T_i (r_i + z_i) - M_{Ti}(t), \quad i = 1, 2, \dots, 5; \quad (1)$$

$$T_i = (N_i - c_i z_i - k_i \dot{z}_i) \psi_i, \quad (2)$$

где J_i - момент инерции колес i оси; r_i - радиус качения колес i оси; M_{Ti} - тормозной момент i оси; N_i - вертикальная реакция на i ось; c_i - жесткость шин i оси; k_i - коэффициент демпфирования шин i оси; ψ_i - коэффициент сцепления.

Тормозные моменты M_{Ti} являются функциями времени и определяются динамическими характеристиками пневмопривода, рассчитанными по математической модели. Расчетная схема и математическая модель привода составлены по методике, разработанной В.В.жестковым.

Уравнения движения поддресоренных масс автопоезда при торможении имеют вид:

$$(m_n + m_T) \ddot{x} - m_n h_{cun} \ddot{\psi}_n - m_T h_{cun} \ddot{\psi}_T = \sum_{i=1}^5 T_i; \quad (3)$$

$$(m_n + m_T - \sum_{i=1}^5 m_i) \ddot{z} + (m_n - m_4 - m_5) l_{0n} \ddot{\psi}_n - (m_T - \sum_{i=1}^3 m_i) l_{0T} \ddot{\psi}_T = \sum_{i=1}^5 R_i; \quad (4)$$

$$(-m_T h_{cun}) \ddot{x} - (m_T - \sum_{i=1}^3 m_i) l_{0T} \ddot{z} + [J_T + (m_T - \sum_{i=1}^3 m_i) l_{0T}^2 + m_T h_{cun}^2] \ddot{\psi}_T = D_T - l_{0T} \sum_{i=1}^3 R_i + h_{cun} \sum_{i=1}^3 T_i; \quad (5)$$

$$(-m_n h_{cun}) \ddot{x} + (m_n - \sum_{i=4}^5 m_i) l_{0n} \ddot{z} + [J_n + (m_n - \sum_{i=4}^5 m_i) l_{0n}^2 + m_n h_{cun}^2] \ddot{\psi}_n = D_n + l_{0n} \sum_{i=4}^5 R_i + h_{cun} \sum_{i=4}^5 T_i; \quad (6)$$

$$D_T = -R_1 l_{1T} + (R_2 + R_3) l_{2T} + T_1 h_g + [T_2 (\frac{r_1 - a_2 + b_2}{b_2}) + T_3 (\frac{r_1 - a_3 + b_3}{b_3})] \times \\ \times (h_w - \psi_T l_{2T}) - [T_2 (\frac{r_1 - a_2}{b_2}) + T_3 (\frac{r_1 - a_3}{b_3})] (h_w - \psi_T l_{2T}); \quad (7)$$

$$D_n = P_A (l_{2n} - l_T) + P_B (P_{2n} - \sigma) + P_D (l_{2n} + b) + P_E (l_{2n} + l_T) - \\ - T_4 \text{tg } \beta_4 (l_{2n} - l_T) + T_5 \text{tg } \beta_5 (l_{2n} + l_T) + T_4 [h_w - \psi_n (l_{2n} - l_T)] + \\ + T_5 [h_w - \psi_n (l_{2n} + l_T)]; \quad (8)$$

где m_n, m_T - поддресоренная масса полуприцепа и тягача; m_i - неподдресоренная масса i оси; R_i - силы взаимодействия поддресоренных и неподдресоренных масс i оси; J_n, J_T - момент инерции поддресоренных масс полуприцепа и тягача; h_g - высота

центра тяжести тягача; h_w, h_w - расстояние по вертикали между точками крепления реактивных штанг для тягача и полуприцепа; $h_{ц.п.}, h_{ц.т.}$ - расстояние по вертикали от центра тяжести полуприцепа и тягача до точки сцепки; $l_{от}, l_{оп}$ - расстояние от точки сцепки до центра тяжести тягача и полуприцепа; $l_{1T}, l_{2T}, r_T, a_2, b_2, b_3, a_3, l_{2n}, l_T, \sigma, \beta$ - геометрические параметры подвесок.

Реакции R_i определяются из уравнений движения колесных осей автопоезда вдоль оси z вида $m_i \ddot{z}_i = N_i - R_i$:

$$R_1 = C_{p1}(z_T - z_T + \psi_T l_{1T}) + K_{p1}(\dot{z}_1 - \dot{z}_T + \dot{\psi}_T l_{1T}) + F_1 \text{sign}(\dot{z}_1 - \dot{z}_T + \dot{\psi}_T l_{1T}); \quad (9)$$

$$R_2 = 0,5 C_{p2} \left(\frac{z_2 + z_3}{2} - z_T - \psi_T l_{2T} \right) + 0,5 F_2 \text{sign} \left(\frac{\dot{z}_2 + \dot{z}_3}{2} - \dot{z}_T - \dot{\psi}_T l_{2T} \right) - T_2 j_2 \frac{r_T - a_2 + b_2}{b_2} - T_2 j_2 \frac{r_T - a_2}{b_2}; \quad (10)$$

$$R_3 = 0,5 C_{p2} \left(\frac{z_2 + z_3}{2} - z_T - \psi_T l_{2T} \right) + 0,5 F_2 \text{sign} \left(\frac{\dot{z}_2 + \dot{z}_3}{2} - \dot{z}_T - \dot{\psi}_T l_{2T} \right) - T_3 j_3 \frac{r_T - a_3 + b_3}{b_3} + T_3 j_3 \frac{r_T - a_3}{b_3}; \quad (11)$$

$$R_4 = C_p \left(z_4 - \frac{z_A + z_B}{2} \right) - T_4 \text{tg} \beta_4 + F_4 \text{sign} \left(\dot{z}_4 - \frac{\dot{z}_A + \dot{z}_B}{2} \right); \quad (12)$$

$$R_5 = C_p \left(z_5 - \frac{z_A + z_E}{2} \right) + T_5 \text{tg} \beta_5 + F_5 \text{sign} \left(\dot{z}_5 - \frac{\dot{z}_A + \dot{z}_E}{2} \right); \quad (13)$$

где C_p, C_{p1}, C_{p2} - жесткость рессор полуприцепа, передней оси тягача и задней тележки тягача; K_{p1} - коэффициент демпфирования амортизаторов передней оси тягача; F_1, F_2, F_4, F_5 - силы сухого трения в рессорах; j_2, j_3 - углы установки реактивных штанг подвески тягача.

В уравнениях (8), (12) и (13) вертикальные перемещения точек А, В, Д, Е и угол поворота балансира четырехрессорной подвески, с учетом кинематических связей неподрессоренных и поддрессоренной масс полуприцепа (рис.1), определены следующим образом:

$$z_A = z_n + \psi_n (l_{2n} - l_\delta - l_p); \quad (14)$$

$$z_B = z_n + \psi_n l_{2n} + l_\delta \sin \alpha - e (1 - \cos \alpha); \quad (15)$$

$$z_D = z_n + \psi_n l_{2n} - l_\delta \sin \alpha - e (1 - \cos \alpha); \quad (16)$$

$$z_E = z_n + \psi_n (l_{2n} + l_\delta + l_p); \quad (17)$$

$$a = l_0 \cos \alpha - (e + R_0) \sin \alpha ; \quad (18)$$

$$b = l_0 \cos \alpha + (e + R_0) \sin \alpha ; \quad (19)$$

$$\alpha = 2 \operatorname{arctg} \left[\frac{A_4 - A_5 + 2 C_p \psi_n l_T}{(A_4 + A_5 + 8 N_{cm} - 4 C_p z_l)(e + R_0) + 2 C_p l_0^2} \cdot \frac{l_0}{2} \right] ; \quad (20)$$

$$A_4 = 2 \left[C_p z_4 + 2 \frac{T_4}{l_p} \left(r_4 + z_4 - \frac{h a_4}{\cos \beta_4} \right) \right] ; \quad (21)$$

$$A_5 = 2 \left[C_p z_5 - 2 \frac{T_5}{l_p} \left(r_5 + z_5 - \frac{h a_5}{\cos \beta_5} \right) \right] , \quad (22)$$

где z_n - вертикальное перемещение центра тяжести полуприцепа;
 l_{2n} - расстояние по горизонтали от центра тяжести полуприцепа до точки С балансира; e - эксцентриситет балансира; R_0 - радиус опоры балансира; N_{cm} - статическая нагрузка на ось; $h a_4$ ($h a_5$) - плечо действия силы Q_4 (Q_5) относительно центра колеса.

Расчетная схема четырехрессорной балансирной подвески полуприцепа

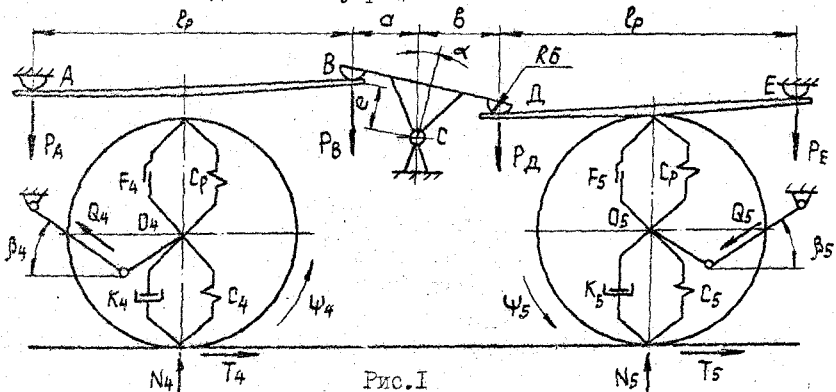


Рис. I

Уравнения (1-22) образуют систему для определения координат $x, z, \psi_T, \psi_n, z_l, \psi_l$ и представляют собой математическую модель движения в продольной плоскости автопоезда с полуприцепом-тяжеловозом на четырехрессорной подвеске при торможении.

3. Теоретическое исследование процесса торможения

Исследование процесса торможения проведено на основе разработанной математической модели, для реализации которой создана программа расчета на алгоритмическом языке Фортран-IV.

Проведены расчеты быстрогодействия пневмопривода тормозов полуприцепа и обоснована его принципиальная схема. Исследовались различные варианты конструктивного исполнения привода. При этом переменными величинами являлись диаметры управляющих и тормозных магистралей, длины трубопроводов, а также количество управляющих аппаратов (с ускорителями в управляющих магистралах и без них). Разработанная схема привода обеспечила соответствие времени срабатывания нормативным требованиям. Это достигнуто за счет выполнения управляющей магистрали внутренним диаметром 8 мм и установкой ускорительного клапана наполнения.

Рассмотрено влияние конструктивных параметров четырехрессорной подвески полуприцепа на величину перераспределения нормальных реакций дороги между осями при торможении, оцениваемую коэффициентом $C = N_4 / N_5$.

Результаты расчета процесса торможения полуприцепа-тягеловоза на серийной подвеске (см. рис.1) показывают значительное перераспределение нормальных реакций N_4 и N_5 в момент экстренного торможения. Это является следствием того, что тормозные моменты закручивают рессоры и через балансир перераспределяют нагрузки на оси. Проведенные теоретические исследования различных вариантов конструктивных схем подвески показали, что для уменьшения перераспределения реакций N_4 и N_5 наиболее рациональной является схема подвески, у которой реактивные штанги установлены в положение, когда один из их концов крепится к кронштейну балансира, а центр качания балансира смещен вниз относительно линии, соединяющей точки касания опор балансира с рессорами. На рис.2 представлена схема модернизированной четырехрессорной подвески.

В предложенной схеме подвески уменьшение перераспределения реакций N_4 и N_5 определяется комплексом параметров. К ним относятся: h — расстояние от дороги до точки пересечения оси штанги с вертикальной осью колеса, β — угол наклона штанги, эксцентриситет балансира e , радиус опор балансира $R\delta$, плечо балансира $l\delta$, которыми можно варьировать в достаточно широком диапазоне при проектировании.

В диссертации проведено исследование влияния указанных параметров на коэффициент C с учетом возможного изменения длины и жесткости рессор, радиуса и жесткости шин, базы полупри-

цепы, а также изменяющихся в процессе эксплуатации дифферента полуприцепа, статического прогиба подвески.

Конструктивная схема модернизированной четырехрессорной подвески полуприцепа

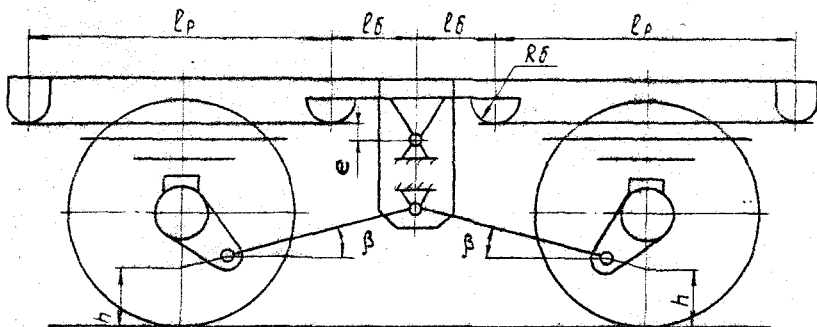


Рис.2

На рис.3а показано, как за счет уменьшения h и увеличения β можно уменьшить перераспределение реакций при торможении. Так при $\beta = 0$ с уменьшением h от 0,45 м до 0,15 м коэффициент C может быть увеличен с 0,53 до 0,83.

Уменьшение перераспределения реакций N_4 и N_5 в предложенной конструкции узла балансира происходит за счет того, что при повороте балансира в процессе торможения плечо балансира слева от оси вращения уменьшается, а справа увеличивается. Показано, что при изменении $(e + R_b)$ от 0 до 0,05 м коэффициент C может быть увеличен в среднем на 20 % (рис.3б). Влияние параметра $(e + R_b)$ может быть уменьшено или увеличено с изменением плеча балансира l_b (рис.3в).

Исследование показало, что варьированием совокупностью параметров β , h , $e + R_b$, l_b при проектировании возможно в значительной степени уменьшить перераспределение нормальных реакций на осях. Для полуприцепа-тяжеловоза определены параметры подвески, при которых практически отсутствует перераспределение N_4 и N_5 в момент торможения.

Для практического использования результатов исследования при проектировании четырехрессорной подвески полуприцепов-тяжеловозов получено выражение предварительного выбора параметров:

Зависимость коэффициента C от геометрических параметров подвески

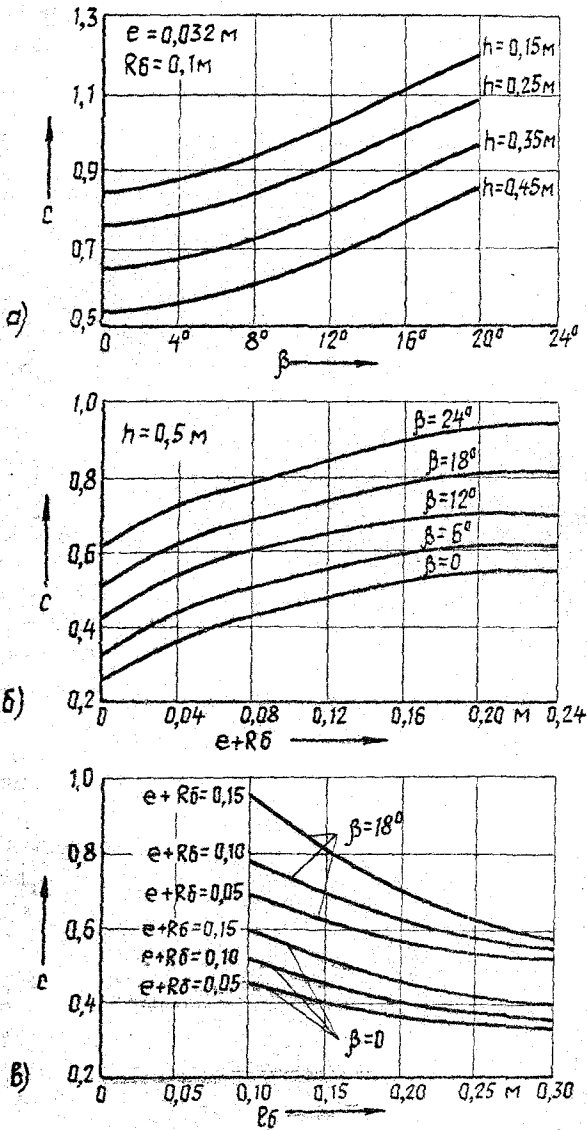


Рис. 3

$$\operatorname{tg} \beta \left(\frac{e \delta^2}{e + R \delta} - \frac{N \delta m}{C_n} \right) = \frac{2h \rho \delta^2}{(e + R \delta) \rho_p} ; \quad (23)$$

где C_n — жесткость подвески оси.

Уравнение найдено при допущении, что движение масс подвески установившееся, а трение в рессорах и демпфирование в шинах отсутствует.

Для оценки влияния параметров модернизированной подвески на плавность хода в работе проведено исследование движения автопоезда по математической модели, в которой учитывался микропрофиль дороги, а тормозной момент принимался равным нулю. Плавность хода оценивалась по величине вертикальных ускорений в центре тяжести полуприцепа. Исследованием установлено, что модернизированная подвеска снижает величину вертикальных ускорений по сравнению с серийной.

4. Экспериментальные исследования

Программа экспериментальных исследований предусматривала определение характеристики "коэффициент продольного сцепления-коэффициент скольжения" тормозящего колеса полуприцепа, исследование динамики пневмопривода тормозов полуприцепа и испытание автопоезда на эффективность торможения.

При проведении дорожных испытаний измерялись: перемещение педали тормоза, давление воздуха в тормозных камерах, тормозной путь и замедление, усилия в сцепке, тормозные силы на колесах передней и задней оси четырехрессорной подвески полуприцепа и вертикальные реакции дороги на эти оси.

Тормозной путь замерялся специальным колесом с датчиком угла поворота. Измерение усилий производилось методом тензометрирования с помощью полупроводниковых тензорезисторов КТЦА и осциллографа Н-115. Замедление замерялось акселерометром ВТ-20. Относительная погрешность измерения силовых параметров составила 0,34 — 4,6 %, параметров замедления и давления воздуха 1,5 и 3,3 %, соответственно.

Экспериментальные исследования пневмопривода тормозов полуприцепа проводились в лабораторных условиях. Регистрировались: перемещение педали тормоза, изменение давления воздуха в магистрали управления на уровне соединительной головки и в тормозной камере задней оси полуприцепа. Время перемещения

педали фиксировалось при помощи электрических контактов, а давление воздуха датчиками ТДМ.

Испытания показали высокое быстродействие пневмопривода тормозов полуприцепа. Время срабатывания составило 0,42 с.

Разработанный пневмопривод был установлен на полуприцепе при проведении дорожных испытаний на эффективность процесса экстренного торможения автопоезда. Исследовались два варианта подвески полуприцепа: серийная и модернизированная.

Экспериментальные диаграммы торможения показывают, что перераспределение нормальных реакций N_4 и N_5 значительно у серийной конструкции. Наблюдается разгрузка первой оси и догрузка второй на 1,5-2,0 т, соответственно. У модернизированной перераспределение реакций отсутствует. Это подтверждает выводы теоретического исследования.

Тормозной путь автопоезда с полуприцепом на модернизированной подвеске составляет 18,5 м, а с полуприцепом на серийной подвеске 19,75 м.

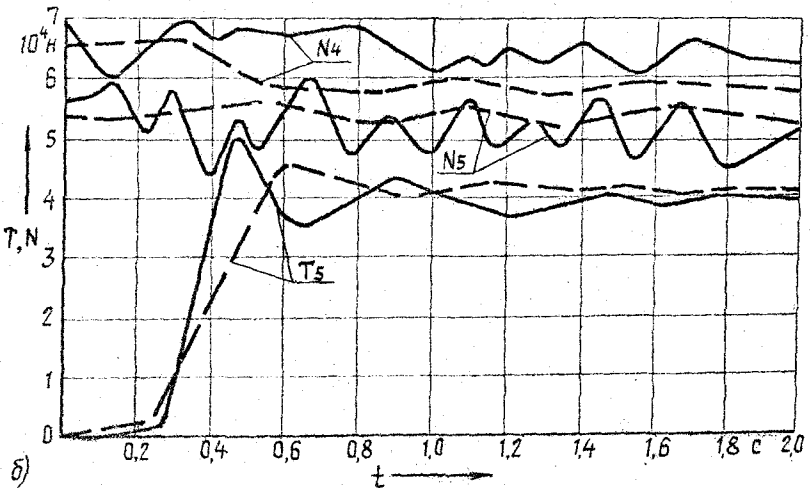
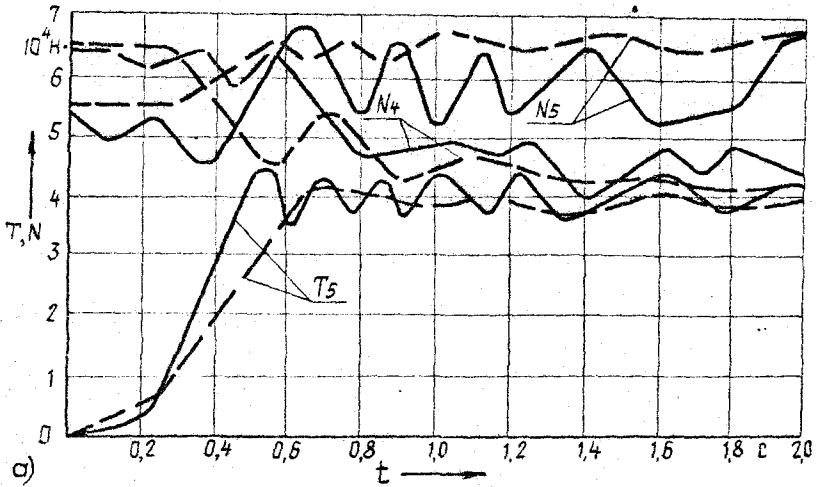
Сравнение экспериментальных и теоретических диаграмм (рис.4) показывает их качественное совпадение и достаточную для практических расчетов сходимость (погрешность не превышает 10%), что подтверждает возможность использования разработанной математической модели в практике.

Результаты экспериментов доказывают возможность повышения эффективности торможения полуприцепа на четырехрессорной подвеске.

Таким образом, проведенные расчеты и эксперименты показали, что модернизированная подвеска позволяет без изменения тормозных механизмов сократить тормозной путь автопоезда на 5 %, а установившееся замедление увеличить на 10 % (рис.5) и обеспечить высокую плавность хода.

В приложении к диссертации помещены материалы, подтверждающие экономическую эффективность внедрения результатов работы.

Временные характеристики тангенциальных и нормальных сил на осях серийной (а) и модернизированной (б) подвесок полуприцепа



— экспериментальные значения
 - - - - - расчетные значения

Рис. 4

Зависимость тормозного пути S_T и установившегося замедления $\dot{\gamma}_{уст}$ от момента тормозных механизмов M_T .

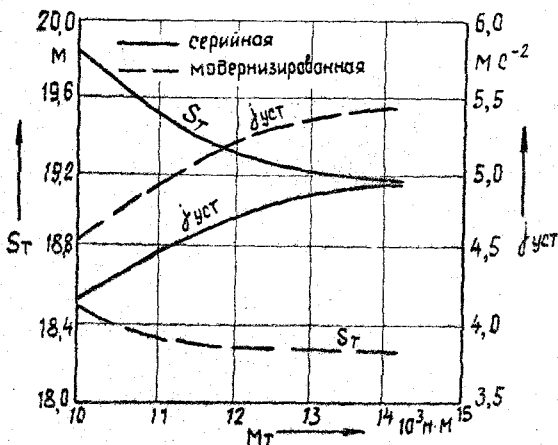


Рис.5

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель для исследования процесса торможения автопоезда с полуприцепом-тяжеловозом на четырехрессорной подвеске, позволяющая на стадии проектирования машины рассчитывать критерии эффективности торможения автопоезда. Модель учитывает геометрические, жесткостные и демпфирующие параметры подвески и шин полуприцепа, а также кинематику движения колесных осей и балансира четырехрессорной подвески полуприцепа при торможении.

2. Установлено, что для повышения эффективности торможения полуприцепа при одинаковых тормозных механизмах на осях и условиях сцепления колес с дорогой следует при проектировании четырехрессорной подвески управлять следующим комплексом параметров: эксцентриситетом e балансира, длиной балансира l_b , радиусом опоры рессоры R_b , расположением реактивных штанг и углом β их наклона к горизонту.

3. Для уменьшения перераспределения нормальных реакций на осях полуприцепа следует уменьшать h и l_b , увеличить β , e и

$R\delta$, устанавливать реактивные штанги с креплением одного из концов на кронштейне балансира.

4. Для предварительного выбора параметров четырехрессорной подвески полуприцепов-тяжеловозов получено выражение

$$\operatorname{tg} \beta \left(\frac{\ell \delta^2}{e + R\delta} - \frac{N_{cm}}{C_n} \right) = \frac{2h \ell \delta^2}{(e + R\delta) \rho_p} ;$$

5. Разработана конструктивная схема четырехрессорной балансирной подвески полуприцепа, у которой отсутствует перераспределение нормальных реакций дороги между осями при торможении. Ее особенностями являются: установка реактивных штанг с креплением одного из концов на кронштейне балансира, выполнение узла балансира с эксцентриситетом и опорамк балансира большого радиуса кривизны, выбор параметров $h = 0,27$ м и $\beta = 18^\circ$ при $e + R\delta = 0,132$ м, $\ell \delta = 0,2$ м.

6. Разработана конструктивная схема быстродействующего пневматического тормозного привода полуприцепа с применением в магистрали управления ускорителя наполнения и трубопровода внутренним диаметром 0,008 м.

7. Эффективность торможения автопоезда-тяжеловоза с полуприцепом на модернизированной четырехрессорной подвеске соответствует нормативным значениям.

8. Разработанные теоретические рекомендации используются при проектировании полуприцепов-тяжеловозов ЧМЗАП в виде руководящего документа РД 37.265.003-87 "Расчет тормозной эффективности автопоезда с полуприцепом на четырехрессорной подвеске. Оптимизация параметров четырехрессорной подвески полуприцепа с точки зрения повышения тормозной эффективности", введенного в действие с 01.08.87.

9. Внедрение в производство четырехрессорной подвески, параметры которой выбраны по результатам данной работы, на полуприцепе ЧМЗАП-99858 дало экономический эффект 90,3 тысячи рублей в год.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Литке П.Е., Жестков В.В. Математическая модель торможения автопоезда с полуприцепом на трехосной рессорной балансирной подвеске / Челяб. политехн. ин-т. - Челябинск, 1987. - 13 с. - Деп. в ЦИЛТЭМавтопром 29.07.87, № 1583АП.

2. Литке П.Е., Жестков В.В., Сусин С.А. Исследование влияния параметров трехопорной рессорной балансирной подвески полуприцепа на эффективность торможения и плавность хода / Челябин. политехн. ин-т. - Челябинск, 1987. - 20 с. - Деп. в ЦНИТЭИ автопром 29.07.87, № 1582АП.

3. Жестков В.В., Литке П.Е. Оптимизация параметров трехопорной балансирной подвески полуприцепов // Второе Всесоюзное научно-техническое совещание "Динамика и прочность автомобиля" Тезисы докладов. - М.: НАМИ, 1986. - с. III.

4. Жестков В.А., Жестков В.В., Литке П.Е. Особенности торможения прицепа-тяжеловоза на четырехрессорной подвеске // Исследование силовых установок и шасси транспортных и тяговых машин. - Челябинск, 1984. - с. 105-110. - (Тр. ЧПИ; 6/н).

5. Жестков В.А., Жестков В.В., Литке П.Е., Харин В.С. Динамика торможения автопоезда и обоснование выбора параметров четырехрессорной подвески прицепов // Научно-техническая конференция. Повышение эффективности проектирования и испытаний автомобилей: Тезисы докл. и сообщений. - Горький: Политехн. ин-т, 1984. - с. 9 - Б надзаг.: Горьковское областное правление НТО машиностроительной промышленности.

6. Харин В.С., Литке П.Е. Динамика торможения полуприцепа-тяжеловоза на четырехрессорной подвеске // Исследование силовых установок и шасси транспортных и тяговых машин. - Челябинск, 1985. - с. 64-65. - (Тр. ЧПИ; 6/н).

7. Жестков В.В., Литке П.Е. Прогнозирование динамики пневмопривода при проектировании тормозной системы прицепов-тяжеловозов // Автомобильная промышленность. - 1983. - № 5. - с. 23.

8. Жестков В.В., Литке П.Е., Жестков В.А. Экспериментальные исследования тормозных приводов прицепов-тяжеловозов // Экспресс-информация. Конструкции автомобилей / НИИНАВТОПРОМ. - 1979. - № 1. - с. 9-22.

9. Жестков В.В., Литке П.Е., Жестков В.А. Совершенствование конструкции тормозных пневматических приводов прицепов-тяжеловозов // Экспресс-информация. Конструкции автомобилей / НИИНАВТОПРОМ. - 1980. - № 12. - с. 5-9.

Ю.А.с.1342753 СССР, МКИ ⁴ В60 11/04. Шасси транспортного средства / П.Е.Литке, В.В.Жестков, В.А.Жестков, И.Д.Мишпотман (СССР). - № 3977288/27-11; Заяв. 20.11.85; Опубл. 07.10.87., Бюл. № 37. - 1 с.: ил.

Литке