

Е74

СССР — МПС — ГУУЗ

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

В. М. ЕРМОЛЕНКО

629.4.077-592.527

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СОВМЕСТНЫХ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ
ПОЕЗДА И АГРЕГАТОВ ТЕПЛОВОЗА
ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТОРМОЖЕНИИ
ЛОКОМОТИВА**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

НТБ
ДНУЖТ

СССР — МПС — ГУУЗ

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

В. М. ЕРМОЛЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ
СОВМЕСТНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИ-
ЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПОЕЗДА
И АГРЕГАТОВ ТЕПЛОВОЗА
ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ
ТОРМОЖЕНИИ ЛОКОМОТИВА

2438a

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель —
доктор технических наук,
профессор А. В. ДАБАГЯН.

НАУКОБ

Днепропетровск 1965

НТБ
ДНУЖТ

Публичная защита состоится на заседании Ученого совета.
Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Ученого совета или прислать свои отзывы о работе по адресу: Днепропетровск, Университетская, 2, Институт инженеров железнодорожного транспорта.

Дата отправления автореферата _____ 1965 г.

Работа выполнена на кафедре автоматического управления движением Харьковского политехнического института имени В. И. Ленина.

НТБ
ДНУЖТ

В настоящее время в Советском Союзе проводятся работы по оборудованию тепловозов электрическим тормозом, который в динамическом отношении является аналогом рекуперативного тормоза, широко применяемого на электровозах.

При электрическом торможении тепловоза переходной процесс в поездном составе существенно отличается от переходного процесса при колодочном торможении. В последнем случае тормозное усилие распределено по всей длине поезда. При электрическом торможении оно приложено к голове состава и вызывает в нем весьма интенсивные продольные колебания. Кроме того, в динамическом процессе торможения участвуют первичный двигатель с его регулятором и электропривод тепловоза. Из-за наличия обратной связи между поездом и электрическим тормозом колебания состава могут оказать влияние на протекание переходных процессов в агрегатах силовой установки локомотива. Поэтому возникла необходимость в исследовании динамических процессов, возникающих в системе в случае электрического торможения.

Произведенные исследования можно разделить на два основных этапа.

На первом этапе исследовались вопросы, связанные с влиянием колебаний в поезде на переходные процессы в дизеле, его системе регулирования и электроприводе при электрическом торможении. Такая постановка вопроса вызвана, с одной стороны, опасностью нарушения нормального переходного процесса в силовой установке тепловоза. С другой стороны, оценка взаимного влияния позволяет судить о возможности в дальнейшем исследовать поведение поезда отдельно от энергоустановки и электропривода.

На втором этапе изучался вопрос о величинах относительных перемещений, скоростей и ускорений отдельных экипажей поезда при электрическом торможении. Вопрос рассматривался с точки зрения возможности реализации максимального тормозного усилия, полученного при расчете электрического тормоза тепловоза ТЭП-10. При этом учитывалось влияние на переходной процесс в поезде существенно нелинейной силовой характеристики упругого аппарата ЦНИИ-Н6.

п. 1. В качестве объекта исследования рассматривался поезд, состоящий из тринадцати пассажирских вагонов и локомотива, оснащенного электрическим тормозом.

Задача решалась на электронной моделирующей установке МПТ-9. Для этого были составлены дифференциальные уравнения, описывающие поведение дизеля, его системы регулирования, электрического тормоза и проезда при электрическом торможении, которые после преобразований и вычисления коэффициентов имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
 2,99 \frac{d\varphi}{dt} + 1,92\varphi &= -\xi, \\
 T \frac{d\xi}{dt} &= f, \\
 1,63 \frac{d\psi}{dt} + \psi &= 10,6 \frac{d\xi}{dt} - 1,5, \\
 \frac{di_1}{dt} + 149 i_1 &= 1,9 \frac{dy_0}{dt} - U_0, \\
 \frac{di_2}{dt} + 0,67 i_2 &= (2,58 + 11,7 i_1) (1 + \varphi), \\
 \frac{d\Phi}{di_3} \frac{di_3}{dt} + [4,46 \cdot 10^{-4} + 43,1 \cdot 10^{-4} (1 + \varphi)] i_3 &= \\
 &= (0,148 - 0,201 i_2) (1 + \varphi), \\
 \frac{di_4}{dt} + 1060 i_4 &= 171 \cdot 10^3 \Phi \frac{dy_0}{dt}, \\
 \frac{d^2 y_0}{dt^2} - 1,38 \frac{d}{dt} (y_1 - y_0) - 17,3 (y_1 - y_0) &= \\
 &= (12 - W - 20,8 \Phi i_4) \cdot 8,76 \cdot 10^{-3}, \\
 \frac{d^2 y_1}{dt^2} + 4,64 \frac{d}{dt} (y_1 - y_0) - 4,64 \frac{d}{dt} (y_2 - y_1) + 58 (y_1 - y_0) - \\
 - 58 (y_2 - y_1) &= (12 - W_1) 9,39 \cdot 10^{-3}, \\
 \frac{d^2 y_k}{dt^2} + 4,64 \frac{d}{dt} (y_k - y_{k+1}) - 4,64 \frac{d}{dt} (y_{k+1} - y_k) &= \\
 58 (y_k - y_{k-1}) - 58 (y_{k+1} - y_k) &= (12 - W_1) 9,39 \cdot 10^{-3}, \\
 \frac{d^2 y_{13}}{dt^2} + 4,64 \frac{d}{dt} (y_{13} - y_{12}) - 58 (y_{13} - y_{12}) &= (12 - W_1) 9,39 \cdot 10^{-3}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Здесь φ — относительная координата угловой скорости вала дизеля;

ξ — относительная координата, определяющая положение рейки топливного насоса;

T — время сервомотора;

f — относительная площадь прохода масла через окно золотника;

ψ — относительная координата золотника обратной связи;

i_1, i_2, i_3, i_4 — токи соответственно в цепи обратной связи, в цепях обмоток возбуждения генератора, тягового двигателя и ток якоря тягового двигателя;

Φ — магнитный поток тягового двигателя, зависящий от i_3 ;

y_0 — координата локомотива;

y_k — координата k -го вагона;

W и W_1 — сопротивление движению соответственно локомотива и вагона.

При выводе уравнений были учтены основные нелинейности рассматриваемой схемы. Так, время сервомотора T принимает разное значение в зависимости от направления движения поршня сервомотора. Изменение координат ξ и ψ ограничено упорами. Зависимость $\Phi(i_3)$ — нелинейна в связи с насыщением магнитной системы тяговых двигателей. Функции W и W_1 — нелинейно зависят от скорости поезда. Нелинейный характер переходных процессов усугублялся наличием в ряде уравнений произведений переменных величин.

Так как на первом этапе исследования не ставилась задача рассмотреть поведение каждого экипажа поезда отдельно, а оценивалось только влияние переходного процесса в составе на поведение силовой установки локомотива, представилось возможным, с целью упрощения набора на модели, заменить многомассовую систему поезда эквивалентной схемой, состоящей из четырех масс. Параметры замещающей схемы выбирались таким образом, чтобы первые три собственных частоты и масса реального поезда равнялись собственным частотам и массе замещающей схемы. При этом варьируемыми параметрами являлись вторая масса и вторая и третья жесткости этой схемы. Первая масса принималась равной массе локомотива, жесткость связи между первой и второй массами принята равной жесткости реальной сцепки между тепловозом и

первым вагоном. Третья и четвертая масса определялись следующим образом:

$$m_3 = m_1 = \frac{M_n - m_1 - m_2}{2}, \quad (2)$$

где m_1, m_2, m_3, m_4 — соответственно первая, вторая, третья и четвертая массы замещающей схемы;
 M_n — общая масса поезда.

Полученная система уравнений преобразовывалась к машинным координатам и набиралась на электронной моделирующей установке МПТ-9.

В результате исследований были получены осциллограммы переходных процессов в дизеле, его регуляторе, элементах электрического тормоза и в замещающей поезд схеме.

Анализ осциллограмм показал, что при колебаниях поезда высшие гармоники не возбуждаются. Таким образом, замещающая схема в линейном приближении правильно отображает переходной процесс в первой сцепке и позволяет судить о влиянии колебаний поезда на поведение силовой установки тепловоза. Как выяснилось, это влияние невелико и при изучении переходных процессов в поездном составе можно исключить из рассмотрения силовую установку тепловоза, а тормозное усилие подавать на вход модели поезда в соответствии с характеристикой электрического тормоза.

п. 2. Четырехмассовая замещающая схема не дает полной картины переходного процесса в поездном составе при электрическом торможении тепловоза. По осциллограммам переходного процесса в этой схеме нельзя судить ни о поведении каждого экипажа в отдельности, ни о скорости распространения упругой волны по длине состава. Кроме того, в случае учета нелинейностей, имеющих место в упругих устройствах поезда, такая замена вообще не правомочна. Для изучения этих вопросов исследовалась электронная схема, моделирующая переходные процессы в четырнадцатимассовой системе.

Для набора на модели исходная система уравнений:

$$\begin{aligned} Mp^2x_1 + kp(x_1 - x_2) + c(x_1 - x_2) &= S, \\ mp^2x_2 - kp(x_1 - x_2) + kp(x_2 - x_3) - c(x_1 - x_2) + c(x_2 - x_3) &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$$mp^2x_{14} - kp(x_{13} - x_{14}) - c(x_{13} - x_{14}) = 0,$$

где M — масса локомотива;

m — масса вагона;

k — коэффициент диссипации сцепки;

- c — коэффициент жесткости сцепки;
 S — сила торможения (тяги);
 x_i — координата центра тяжести соответственно локомотива и вагонов;
 p — оператор дифференцирования — после перехода к относительным координатам и ряда преобразований была приведена к виду:

$$\begin{aligned}
 \alpha_1 = & \frac{S}{\frac{(M+m)c_1}{m} \left[\frac{Mm}{(M+m)c_1} p^2 + \frac{k_1}{c_1} p + 1 \right]} + \\
 & \frac{\left(\frac{k_1}{c_1} p + 1 \right) \alpha_2}{\frac{M}{M} \frac{m}{m} \left[\frac{Mm}{(M+m)c_1} p^2 + \frac{k_1}{c_1} p + 1 \right]} + \\
 & + \frac{\left(\frac{k_2}{c_2} p + 1 \right) \alpha_2}{\frac{(M+m)c_1}{Mc_2} \left[\frac{Mm}{(M+m)c_1} p^2 + \frac{k_1}{c_1} p + 1 \right]} - \\
 & - \frac{\left(\frac{k_2}{c_2} p + 1 \right) \alpha_1}{\frac{c_1}{c_2} \left[\frac{Mm}{(M+m)c_1} p^2 + \frac{k_1}{c_1} p + 1 \right]}; \\
 \alpha_2 = & \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{k_1}{c_1} p + 1 \right) \alpha_1}{\frac{m}{2c_1} p^2 + \frac{k_1}{c_1} p + 1} + \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{k_1}{c_1} p + 1 \right) \alpha_2}{\frac{m}{2c_1} p^2 + \frac{k_1}{c_1} p + 1} + \\
 & + \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{k_2}{c_2} p + 1 \right) \alpha_1}{\frac{c_1}{2c_2} \frac{m}{2c_1} p^2 + \frac{k_1}{c_1} p + 1} + \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{k_2}{c_2} p + 1 \right) \alpha_2}{\frac{c_1}{2c_2} \frac{m}{2c_1} p^2 + \frac{k_1}{c_1} p + 1} -
 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\alpha_{13} = \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{k_1}{c_1} p + 1 \right) \alpha_{12}}{\frac{m}{2c_1} p^2 + \frac{k_1}{c_1} p + 1} - \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{k_2}{c_2} p + 1 \right) \alpha_{12}}{\frac{c_1}{c_2} \frac{m}{2c_1} p^2 + \frac{k_1}{c_1} p + 1} - \frac{1}{2} \frac{\left(\frac{k_2}{c_2} p + 1 \right) \alpha_{13}}{\frac{c_1}{c_2} \frac{m}{2c_1} p^2 + \frac{k_1}{c_1} p + 1}.$$

k_1 и c_1 в этих уравнениях численно равны соответственно коэффициентам демпфирования и жесткости сцепки. $k_2 = c_2 = 0$ на всей длине рабочего хода, а при достижении упругим аппаратом упора определяются соотношениями:

$$k_2 = 10 k_1; \quad c_2 = 10 c_1. \quad (5)$$

Для набора на модели обычным способом системы двадцать шестого порядка необходимое число операционных усилителей значительно превосходит их количество в машине МПТ-9. Включением дополнительных пассивных элементов во входные цепи и в цепи обратной связи модели удалось снизить их количество более чем в пять раз и моделировать систему (4) на тринадцати усилителях.

Для задания на вход тормозной силы использовалась характеристика электрического тормоза, разработанного ВНИТИ для тепловоза ТЭП-10. Эта характеристика набиралась на нелинейном блоке и в функции от скорости локомотива подавалась на вход первого операционного усилителя. Абсолютная скорость тепловоза для подачи ее на вход нелинейного блока снималась с выхода специальной электронной схемы.

Предварительные исследования показали, что интенсивные колебания состава происходят только в момент включения электрического тормоза. При движении рабочей точки по тормозной характеристике заметных колебаний поезда не происходит. Поэтому дальнейшие исследования поведения поезда производились при включении электрического тормоза в точке

характеристики, соответствующей максимальному значению тормозной силы.

На модели были отработаны следующие режимы: а) торможение; б) переход от режима тяги к торможению; в) переход от торможения к режиму тяги; г) переход от режима торможения к режиму тяги и снова к торможению; д) кратковременный перерыв тяги.

Анализ осциллограмм показал, что на всех рассмотренных режимах деформация сцепок не достигает величины полного рабочего хода. Поэтому колебания имеют явно выраженный линейный характер. Величины максимальных значений амплитуд убывают от головы к хвосту поезда. Благодаря рассеиванию энергии в сцепках колебания довольно быстро затухают.

п. 3. Упругие устройства ЦНИИ-Н6, конструкции И. Н. Новикова, устанавливаемые в настоящее время на пассажирских вагонах, кроме пружин снабжены фрикционным поглощающим аппаратом. Это позволяет значительную часть кинетической энергии соударяющихся вагонов рассеять в виде тепла. При отдаче фрикционное устройство отключается. Наличие такого устройства позволяет получить силовую характеристику сцепки в виде петли.

Так как при электрическом торможении не наблюдается растяжения сцепки, то при моделировании характеристики упругого аппарата представляется возможным ограничиться воспроизведением только той ее части, которая характеризует сжатие. Кроме того, как показали исследования, описанные в п. 2, величина максимального сжатия сцепки такова, что рабочая точка не выходит за пределы излома петли. Поэтому рабочий диапазон силовой характеристики упругого аппарата, при электрическом торможении представляет собой петлю с линейной верхней и нижней ветвями.

Поведение поезда, состоящего из локомотива и 13 вагонов, оснащенного упругими аппаратами системы Новикова, при электрическом торможении описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} M \frac{d^2 x_1}{dt^2} - \gamma_1 (x_1 - x_2) &= S, \\ m \frac{d^2 x_2}{dt^2} - \gamma_1 (x_1 - x_2) - \gamma_2 (x_2 - x_3) &= 0, \\ m \frac{d^2 x_{14}}{dt^2} - \gamma_{13} (x_{13} - x_{14}) &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Эта система после перехода к относительным координатам в операторной форме может быть записана так:

$$\begin{aligned} Mmp^2\alpha_1 - (M - m)(c_1 + \delta_1 c_2)\alpha_1 - M(c_1 + \delta_2 c_2)\alpha_2 &= mS, \\ mp^2\alpha_2 - (c_1 + \delta_1 c_2)\alpha_1 - 2(c_1 + \delta_2 c_2)\alpha_2 - (c_1 + \delta_3 c_2)\alpha_3 &= 0, \\ mp^2\alpha_i - (c_1 + \delta_{i-1}c_2)\alpha_{i-1} - 2(c_1 + \delta_i c_2)\alpha_i - & \\ - (c_1 + \delta_{i+1}c_2)\alpha_{i+1} &= 0, \\ mp^2\alpha_{13} - (c_1 + \delta_{12}c_2)\alpha_{12} - 2(c_1 + \delta_{13}c_2)\alpha_{13} &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь M — масса локомотива;

m — масса вагона;

α_i — относительное перемещение i -го и $i-1$ -го вагонов;

$c_1 = \text{const}$ — коэффициент сжатия сцепки, соответствующий нижней ветви силовой характеристики упругого устройства;

$c_2 = \text{const}$ — выбирается так, чтобы сумма $c_1 + c_2$ равнялась коэффициенту сжатия, соответствующему верхней ветви той же характеристики

$$\delta_i = \begin{cases} 1 & \text{при } p\alpha_i > 0 \\ 0 & \text{при } p\alpha_i < 0. \end{cases}$$

Система (7), разрешенная относительно α_i , имеет вид:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{mS - M(c_1 + \delta_2 c_2)\alpha_2}{Mmp^2 + (M - m)(c_1 + \delta_1 c_2)}; \\ \alpha_2 &= \frac{(c_1 + \delta_1 c_2)\alpha_1 - (c_1 + \delta_3 c_2)\alpha_3}{mp^2 + 2(c_1 + \delta_2 c_2)}; \\ \alpha_i &= \frac{(c_1 + \delta_{i-1}c_2)\alpha_{i-1} - (c_1 + \delta_{i+1}c_2)\alpha_{i+1}}{mp^2 + 2(c_1 + \delta_i c_2)}; \\ \alpha_{13} &= \frac{(c_1 + \delta_{12}c_2)\alpha_{12}}{mp^2 + 2(c_1 + \delta_{13}c_2)}. \end{aligned} \quad (8)$$

Каждое из уравнений этой системы воспроизводилось на одном операционном усилителе путем добавления ряда цепей из пассивных элементов, причем часть из них включалась через реле. Таким образом, последовательное соединение таких схем позволяет моделировать систему (8), описывающую переходные процессы в сцепках поезда при электрическом торможении тепловоза.

На модели исследовались переходные процессы в поезде при реализации локомотивом тормозного усилия $S = 22 \cdot 10^3$ дан. При этом максимальные амплитуды относительных перемещений соседних вагонов лежали в пределах величин, установленных при исследованиях, описанных в п. 2. Характер колебаний нелинейный. Затухание переходных процессов в сцепках происходило гораздо интенсивней, чем в ранее рассмотренных случаях.

Как показали исследования переходных процессов в агрегатах силовой установки тепловоза и в упрощенной модели поезда их взаимное влияние незначительно. Это позволило в дальнейшем изучение поведения поезда проводить без учета динамики дизеля, его системы регулирования и элементов электрического тормоза. Однако учет нелинейной силовой характеристики вагонной упряжи привел к существенному изменению характера продольных колебаний поезда. Кроме того, в системах с явно выраженными нелинейностями принцип суперпозиции не пригоден и, следовательно, раздельное изучение процессов может оказаться недопустимым. Поэтому возникает вопрос о дополнительной проверке возможности раздельного рассмотрения процессов, возникающих при электрическом торможении в агрегатах энергосистемы тепловоза и в поездном составе, оборудованном упряжными аппаратами системы Новикова.

Для решения этой задачи схема, моделирующая дизель, систему регулирования и электрический тормоз, подключалась к модели, реализующей поезд.

Для получения на модели переменного напряжения, характеризующего тормозную силу, необходимо на вход нелинейного блока, а также на вход блока, моделирующего возбудитель генератора подать сигнал, представляющий абсолютную скорость локомотива. Так как выходные напряжения усилителей моделируют относительные перемещения соседних экипажей, потребовалось специальное преобразующее звено, позволяющее получать на выходе абсолютную скорость тепловоза. Для построения такого звена исходным является первое уравнение системы (6)

$$Mp^2x_1 - \gamma_1(x_1 - x_2) = S,$$

которое с использованием ранее оговоренных обозначений может быть записано так:

$$V = -\frac{1}{p} \frac{(c_1 - \delta_1 c_2) \alpha_1 - S}{M}$$

Таким образом, абсолютная скорость локомотива V может быть получена с помощью одного интегрирующего звена.

На электронной модели была проделана серия экспериментов, в процессе которых были сняты осциллограммы изменения таких параметров, как тормозное усилие, обороты дизеля, перемещение рейки топливного насоса, токи возбuditеля и генератора, ток в цепи обратной связи электрического тормоза, а также относительные перемещения и относительные скорости вагонов поезда. Сопоставление этих осциллограмм с осциллограммами, снятыми при раздельном исследовании переходных процессов в силовой установке локомотива и в поездном составе показало, что взаимное влияние этих процессов невелико. Качественное их различие заключается в появлении на осциллограмме относительных перемещений экипажей поезда некоторых неявно выраженных гармонических составляющих с основной частотой, соответствующей частоте переходных процессов в системе регулирования. Эти колебания наиболее сильно проявляются на осциллограммах первой, третьей и четвертой сцепок, где их амплитуда достигает 7% от максимального отклонения.

Что касается максимального значения деформации сцепок, то они с точностью до 5% совпадают с деформациями, полученными при рассмотрении переходных процессов в поезде без учета динамики энергоустановки локомотива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

I. Разработана методика электронного моделирования переходных процессов в системе, состоящей из дизеля, регулятора, электропривода и поезда при электрическом торможении тепловоза.

II. Исследовалось:

- 1) влияние переходных процессов в поезде на работу электропривода и дизеля с его системой автоматического регулирования;
- 2) влияние ограничений хода сцепки на динамику поезда;
- 3) влияние рассеивания энергии в упругом аппарате на скорость затухания колебаний поезда.

Переходные процессы рассматривались при следующих режимах:

- 1) торможение при движении под уклон для поддержания постоянной скорости поезда;
- 2) торможение поезда усилием, соответствующим внешней характеристике электрического тормоза тепловоза ТЭП-10;

- 3) переход от режима тяги к режиму торможения;
- 4) переход от режима торможения к режиму тяги;
- 5) переход от режима торможения к режиму тяги и снова к режиму торможения;
- 6) кратковременный перерыв тяги.

III. Задача решалась на электронной моделирующей установке МПТ-9. При исследовании динамики поезда, оснащенного нелинейными упругими устройствами типа ЦНИИ-Н6, были рассчитаны и изготовлены нелинейные приставки к операционным усилителям модели. Эти приставки позволили при помощи 13 операционных усилителей решать систему 26-го порядка, каждое уравнение которой содержало нелинейность типа петли.

IV. В результате исследований установлено:

1) влияние переходных процессов в поезде на работу энергоустановки и электропривода тепловоза незначительно и поэтому динамические процессы в поездном составе и агрегатах тепловоза могут рассматриваться независимо;

2) при электрическом торможении по характеристикам, заданным ВНИТИ, упругие устройства деформируются на величину, при которой не происходит включение дополнительных пружин упругого аппарата, и поэтому рабочая часть силовой характеристики сцепки имеет вид петли с линейными верхней и нижней ветвями;

3) в поездах с упругими устройствами системы Новикова наличие нелинейных элементов качественно меняет характер переходного процесса, однако максимальные амплитуды колебаний остаются без существенных изменений.

При рассмотренных режимах установлено, что максимальные деформации сцепок не превосходят величины $\alpha_{\max} \leq 50 \text{ мм}$, относительные скорости соседних вагонов

$$\left(\frac{d\alpha}{dt} \right)_{\max} \leq 16 \frac{\text{см}}{\text{сек}},$$

относительные ускорения

$$\left(\frac{d^2\alpha}{dt^2} \right)_{\max} \leq 230 \frac{\text{см}}{\text{сек}^2};$$

4) ускорения, возникающие при электрическом торможении, не представляют опасности для элементов состава и для пассажиров. В связи с этим внедрение тормозного устройства, разработанного ВНИТИ, для тепловоза ТЭП-10 не нарушит безопасности движения.

Перечень научных трудов, в которых опубликовано основное содержание работы

1. Е р м о л е н к о В. М., Д а б а г я н А. В. Применение электронной модели для исследования переходных процессов в поезде при электрическом торможении тепловоза. Изв. вуз, «Электромеханика», № 5, 1964.

2. Е р м о л е н к о В. М. Исследование влияния электрического торможения тепловоза на продольную динамику поезда. Сборник рефератов докладов научно-технической конференции ХПИ, Изд. ХГУ, 1964.

3. Е р м о л е н к о В. М. Моделирование характеристик упругого аппарата пассажирского поезда на электронной модели. Вестник ХПИ «Автоматика и вычислительная техника», № 3 (51), Изд. ХГУ, 1965.

4. Е р м о л е н к о В. М. Продольная динамика поезда при электрическом торможении тепловоза. Вестник ХПИ «Автоматика и вычислительная техника», № 3 (51), Изд. ХГУ, 1965.

Основные положения работы изложены в следующих докладах:

1. Е р м о л е н к о В. М. Исследование переходных процессов в поезде при электрическом торможении. Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава и аспирантов ХПИ, г. Харьков, апрель, 1963 г.

2. Е р м о л е н к о В. М. Продольные колебания поезда при электрическом торможении локомотива. Научно-техническая конференция ХПИ по итогам научной работы, г. Харьков, апрель, 1964 г.

3. Е р м о л е н к о В. М. Нелинейные колебания в поезде при электрическом торможении тепловоза. Совещание по проблеме нелинейных колебаний механических систем, г. Рига, 1964 г.

4. Е р м о л е н к о В. М. Исследование динамики поезда при электрическом торможении тепловоза. Научно-техническая конференция преподавателей, сотрудников и аспирантов ХПИ по итогам научной работы, г. Харьков, апрель, 1965 г.

НТБ
ДНУЖТ

Ответственный за выпуск — доцент **В. П. Аврамов.**

Сдано в набор 27/VIII-65 г. Подписано к печати 17/IX-65 г.
БЦ 50759. Объем 1 ф. л. и 1 усл. п. л. Формат 60×90¹/₁₆.
Заказ 583. Тираж 200.

Типография № 14 Харьковского областного управления по печати,
Фрунзе, 21.

Сканировала Камянская Н.А.

НТБ
ДНУЖТ