

На правах рукописи

Аспирант ВЛАСЕНКО Б. Т.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ
АВТОМАТИЧЕСКОГО ПУСКА
ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА
ПРИ СТУПЕНЧАТОМ РЕГУЛИРОВАНИИ
ВЫПРЯМЛЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ
НА ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

(Специальность № 05.433 — подвижной состав
и тяга поездов)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1971

НТБ
ДНУЖТ

44359

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта.

Научный руководитель — кандидат технических наук,
доцент **Н. Г. Висин**.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор **В. Б. Медель**,
кандидат технических наук, доцент **Б. П. Петров**.

Ведущее предприятие — Управление Юго-Западной железной дороги.

Автореферат разослан *10 февраля* 1971 г.

Защита состоится *25 марта* 1971 г. на заседании Ученого совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта, г. Днепропетровск, 10, ул. Университетская, 2, ДИИТ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь совета, доцент

Б. М. Климовский

БТ 21228. Областная книжная типография
Днепропетровского областного управления по печати,
г. Днепропетровск, ул. Серова, 7.
Зак. № 390. Тираж 250 экз. Объем 1,25 печ. л. 22/1 1971 г.

НТБ
ДНУЖТ

ВВЕДЕНИЕ

В связи с высокими темпами электрификации железных дорог значительно возрастает объем и скорость пригородного движения на многих участках. Для обеспечения перевозок и повышения культуры обслуживания пассажиров большая роль отведена электропоездам переменного тока, которые работают на линиях с частыми остановками при незначительной длине перегонов. Поэтому для развития высоких скоростей важное значение имеет увеличение ускорения движения в период пуска. Существующая система автоматического управления на электропоездах переменного тока характеризуется нечеткой фиксацией позиций силовым контроллером, в результате чего возникают значительные продольные динамические удары между вагонами. Эти удары весьма сильно ощущаются пассажирами, ведут к преждевременному износу узлов механической части и к бокованию колесных пар моторных вагонов с появлением в некоторых случаях круговых огней на коллекторах тяговых двигателей. Следовательно, вопросы прочности подвижного состава и плавности хода вагонов приобретают особую актуальность, они имеют решающее значение для обеспечения безопасности движения и комфортабельного проезда пассажиров.

Большой вклад в изучение динамики подвижного состава внесли доктора технических наук В. А. Лазарян, К. П. Королев, В. Б. Медель, И. П. Исаев и др.

Обширные исследования усилий в упряжных приборах при трогании и торможении поездов проведены докторами технических наук Ф. В. Флоринским, С. В. Вершинским, В. М. Казариновым, к. т. н. А. И. Стукаловым и др. Однако в этих работах рассматриваются переходные режимы движения пассажирских поездов, составленных из однотипных и одинаково загруженных вагонов без зазоров в упряжи и с одним локомотивом.

Электропоезд, состоящий из моторных и прицепных вагонов, значительно отличающихся по весу, является системой высокой степени неоднородности. Поэтому испытания по определению продольных усилий у электропоезда переменного тока производились впервые и полученные результаты представляют особый интерес. Изучению схем ступенчатого автоматического управления пуском электроподвижного состава посвящены известные труды докторов технических наук Б. Н. Тихменева, Л. М. Трахтмана и кандидатов технических наук Б. П. Петрова, В. В. Привалова, З. М. Рубчинского и др.

В настоящей работе исследовано влияние переходных процессов в силовой цепи и цепях управления на работу системы автоматического пуска электропоездов переменного тока.

В первой главе рассмотрены переходные процессы в силовой цепи тяговых двигателей однофазной схемы выпрямления при последовательном соединении секций вторичной обмотки трансформатора и исследованы самые неблагоприятные моменты замыкания контакторов силового контроллера (КСП) при переходе его с одной позиции на другую.

Вторая глава освещает переходные процессы, протекающие в цепях управления привода силового контроллера, и их влияние на работу системы ступенчатого автоматического пуска электропоезда переменного тока.

В третьей главе, на основе применения теории вероятностей и методов математической статистики, произведен анализ скоростных характеристик тяговых двигателей и основных параметров силовой цепи с целью определения разницы в токах и тяговых усилиях моторных вагонов электропоезда. Для устранения динамических ударов между моторными вагонами разработана новая схема синхронизации пуска электропоездов переменного тока.

Четвертая глава посвящена выбору параметров в цепях управления силовым контроллером при синхронном пуске электропоезда переменного тока и рассмотрению переходных процессов в этих цепях с решением дифференциальных уравнений второго порядка с нелинейными коэффициентами на фазовой плоскости и на вычислительной машине непрерывного действия.

В пятой главе приводятся результаты испытаний параллельно работающих ступенчатых автоматических систем

электропоезда ЭР9П при обычной и улучшенной схемах управления.

Теоретические положения и выводы диссертации проверены экспериментально и внедрены на опытных электропоездах переменного тока Северо-Кавказской и Юго-Западной железных дорогах.

Глава I.

Влияние переходных процессов в силовой цепи на работу системы автоматического управления электропоездов переменного тока

Опыт эксплуатации электропоездов переменного тока показывает, что в период автоматического пуска из-за нечеткой работы реле ускорения (РУ) не фиксируется силовым контроллером ряд позиций. Для выявления этих причин были рассмотрены переходные процессы в цепи тяговых двигателей однофазной схемы выпрямления при несимметричном изменении выпрямленного напряжения по полупериодам с применением вентильного перехода.

Исследованием установлено, что за время перехода силового контроллера с одной позиции на другую вследствие возрастания скорости электропоезда среднее значение тока, при котором отпадает якорь реле ускорения $I_{min} = I_{py}$ уменьшается до $I_{\partial} \approx 0,95I_{py}$.

При включении очередной секции вторичной обмотки трансформатора начинается переходной процесс.

Дифференциальные уравнения для определения мгновенного значения выпрямленного тока i_d в режимах коммутации и выпрямления, с некоторыми допущениями имеют вид:

Режим коммутации

$$X_d \frac{di_{dk}}{d\omega t} + R_d i_{dk} + E' = 0; \quad (1)$$

Режим выпрямления

$$X_d \frac{di_{db}}{d\omega t} + R_d i_{db} + E' = U_{m\tau} \sin \omega t; \quad (2)$$

Решение этих уравнений позволяет определить:

$$i_{dk} = \left(I_{\psi} + \frac{E'}{R_d} \right) e^{-\frac{R_d}{X_d} \omega (t - t_0)} - \frac{E'}{R_d}; \quad (3)$$

где I_ϕ — ток силовой цепи в момент начала коммутации;
 $E' = c\Phi_0 v + 2n\Delta U$ — постоянная составляющая противо э. д. с.
 тягового двигателя;

n — отношение числа последовательно включенных вентилях в основном выпрямительном плече к числу последовательно включенных вентилях в переходном выпрямительном плече;

ΔU — прямое падение напряжения в выпрямительных элементах переходного плеча;

$R_d = R_{дв.} + R_{ср.} + cvk$ — суммарное активное сопротивление обмоток тягового двигателя, сглаживающего реактора и составляющей активного сопротивления цепи;

$X_d = X_{дв.} + X_{ср.}$ — суммарное индуктивное сопротивление тягового двигателя и сглаживающего реактора.

$$i_{дв} = \frac{U_{мт} \cdot R}{R^2 + X^2} \left(\sin \omega t - \frac{X}{R} \cos \omega t \right) - \frac{E'}{R} + \left[I_\alpha + \frac{E'}{R} - \frac{U_{мт} \cdot R}{R^2 + X^2} \left(\sin \omega t_0 - \frac{X}{R} \cos \omega t_0 \right) \right] e^{-\frac{R}{X} \omega (t - t_0)} \quad (4)$$

где $U_{мт}$ — амплитудное значение синусоидального напряжения контактной сети, приведенное к числу секций вторичной обмотки трансформатора;

$R = R_{дв.} + R_{ср.} + R_{гор.} + R_{тр.} + cvk$ — суммарное активное сопротивление общей цепи;

$R_{гор.}$ — активное сопротивление токоограничивающего реактора;

$R_{тр.}$ — активное сопротивление рассматриваемой секции вторичной обмотки трансформатора;

$X = X_{дв.} + X_{ср.} + X_{гор.} + (X_{тр.} + X'_{кс})$ — суммарное индуктивное сопротивление общей цепи;

$X_{гор.}$ — индуктивное сопротивление токоограничивающего реактора;

$X_{тр.}$ — общее индуктивное сопротивление трансформатора, приведенное ко вторичной обмотке;

$X'_{кс}$ — общее индуктивное сопротивление контактной сети, приведенное ко вторичной обмотке трансформатора;

I_a — ток в силовой цепи в момент начала выпрямления;

ωt_0 — угол коммутации, который на основании опытных данных принят равным $\frac{\pi}{6}$.

В качестве начальных условий расчета переходного процесса на рис. 1 обозначены значения силовых токов:

$$\left. \begin{array}{l} I_{\psi_1} \text{ — в момент начала коммутации} \\ I_{a_1} \text{ — в момент начала выпрямления} \end{array} \right\} \text{ I полупериод}$$

$$\left. \begin{array}{l} I_{\psi_2} \text{ — в момент начала коммутации} \\ I_{a_2} \text{ — в момент начала выпрямления} \end{array} \right\} \text{ II полупериод}$$

Для нахождения I_{ψ_1} принято, что средний ток за период на предыдущей позиции равен I_d . Тогда:

$$I_{\text{ср.}2\pi} = \frac{\int_0^{\pi/6} i_{dk_1} d\omega t + \int_{\pi/6}^{\pi} i_{dv_1} d\omega t + \int_{\pi}^{7/6\pi} i_{dk_2} d\omega t + \int_{7/6\pi}^{2\pi} i_{dv_2} d\omega t}{2\pi} = I_d; \quad (5)$$

$$I_{a_1} = i_{dk_1} \text{ при } \omega t = \frac{\pi}{6};$$

$$I_{\psi_2} = i_{dv_1} \text{ при } \omega t = \pi;$$

$$I_{a_2} = i_{dk_2} \text{ при } \omega t = \frac{7}{6}\pi$$

Определение мгновенных значений токов i_{dk} и i_{dv} на каждой позиции от 0 до 2π через интервал $\omega t = \frac{\pi}{6}$ рассмотрено в трех вариантах:

1) переход КСП с четной на нечетную позицию при замыкании контактора в момент $\omega t = 0$, рис. 1а;

2) переход КСП с нечетной на четную позицию при замыкании контактора в момент $\omega t = 0$, рис. 1б;

3) переход КСП с нечетной на четную позицию при замыкании контактора в момент $\omega t = \frac{\pi}{2}$, рис. 1в.

Из полученных осциллограмм установлено, что время совместной работы силовой и подъемной катушек РУ после включения контактора КСП составляет 0,01—0,015 сек. Сравнивая средние значения токов за один, полтора и два полупериода с током уставки реле ускорения можно определить

НТБ
ДНУЖТ

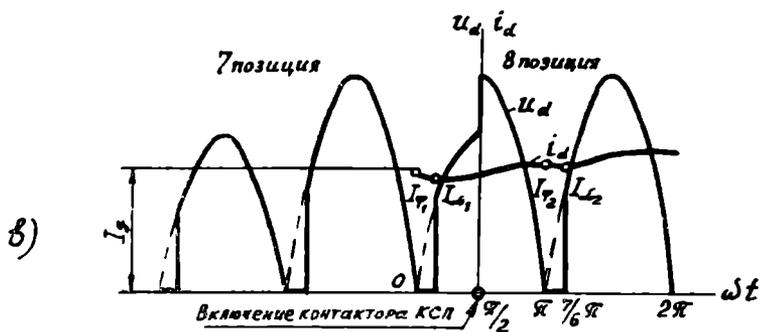
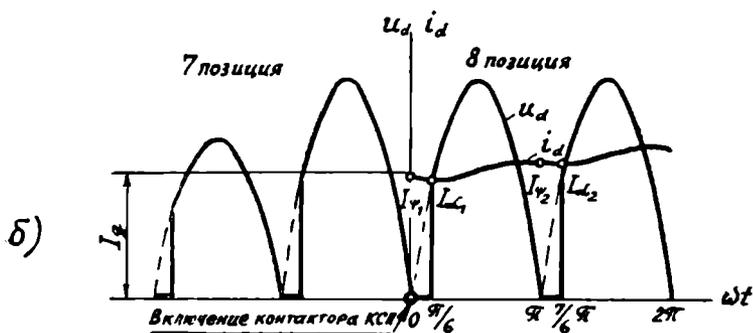
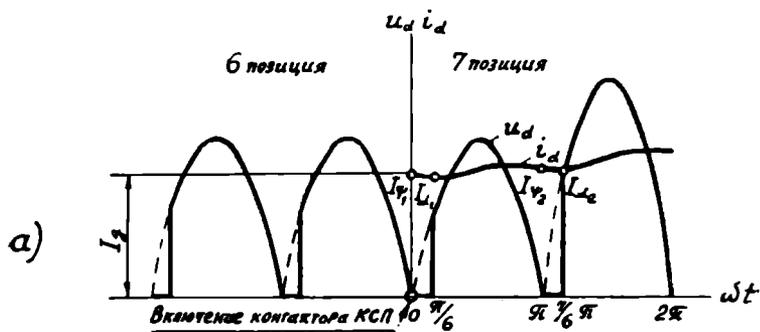


Рис. 1.

позиции, которые не будут фиксироваться силовым контроллером.

Расчет переходных процессов производился по данным электропоезда ЭР9П с применением цифровой вычислительной машины «Наири».

Мгновенные значения токов, вычисленные по приведенной методике, с достаточной степенью точности (2%) совпадают со значениями соответствующих мгновенных токов, снятых экспериментально на моторных вагонах электропоезда ЭР9П.

Анализ показал, что самыми неблагоприятными вариантами включения контактора КСП являются первый и третий, так как среднее значение тока на ряде позиций за время 0,01—0,015 сек не достигает тока уставки реле ускорения и поэтому силовой контроллер не фиксирует их.

Для устранения этого недостатка необходимо, чтобы якорь РУ отпадал с некоторой задержкой времени, при которой ток в силовой цепи успевал бы дополнительно возрасти до величины, превышающей ток уставки реле ускорения. Разработка такого устройства, предложенного автором, рассматривается в главе II.

Глава II.

Исследование переходных процессов в цепях управления привода силового контроллера

Основной недостаток существующей схемы автоматического управления на электропоездах переменного тока состоит в том, что подъемная катушка РУ включена в цепь вентиля привода силового контроллера, обладающего значительной индуктивностью. Для анализа переходных процессов в цепях управления привода КСП при автоматическом пуске рассмотрено два случая:

1) контакт переключателя вентиля ПВ1 разомкнут, а питание привода силового контроллера осуществляется через н. з. контакт реле ускорения;

2) в момент замыкания контакта переключателя вентиля ПВ1 питание вентиля приводного устройства поддерживается через подъемную катушку РУ, а н. з. контакт реле ускорения размыкается.

Основные соотношения для определения тока в цепи вентиля $i_3(t)$ и подъемной катушке $i_1(t)$ имеют вид:

$$i_3(t) = \frac{U(r_1 + r_2)}{A} + \frac{L_1 L_3 K}{D} (p_1 e^{p_1 t} - p_2 e^{p_2 t}) + \frac{UL_1 + L_3 K(r_1 + r_2)}{D} (e^{p_1 t} - e^{p_2 t}) + \frac{U(r_1 + r_2)}{D} \left(\frac{e^{p_1 t}}{p_1} - \frac{e^{p_2 t}}{p_2} \right); \quad (6)$$

$$i_1(t) = \frac{Ur_2}{A} + \frac{Ur_2}{D} \left(\frac{e^{p_1 t}}{p_1} - \frac{e^{p_2 t}}{p_2} \right) + \frac{L_3 K r_2}{D} (e^{p_1 t} - e^{p_2 t}); \quad (7)$$

где

$$p_0 = 0; \quad p_1 = \frac{-B + D}{2L_1 L_3}; \quad p_2 = -\frac{B + D}{2L_1 L_3};$$

$$A = r_1 r_2 + r_1 r_3 + r_2 r_3; \quad B = r_1 L_3 + r_2 L_1 + r_2 L_3 + r_3 L_1;$$

$$D = \sqrt{B^2 - 4AL_1 L_3}; \quad K = \frac{U}{r_2 + r_3} (1 - e^{-\beta t_0}) = i_3(0);$$

r_1, r_2, r_3 — соответственно эквивалентное сопротивление подъемной катушки РУ, дополнительное сопротивление в цепи и сопротивление вентиля привода КСП;

L_1, L_3 — индуктивности подъемной катушки РУ и вентиля привода КСП.

Расчеты и испытания показали, что эффективность действия подъемной катушки РУ в промежутке между позициями недостаточна, так как ток в ней нарастает постепенно и не достигает установившейся величины. Объясняется это тем, что в момент замыкания контакта переключателя вентилей ПВ1 она подключается последовательно с вентилем привода КСП и постоянная времени общей цепи увеличивается до 0,058 сек.

В связи с тем, что время питания подъемной катушки ограничено 0,04 сек, это во многих случаях приводит к неприятягиванию якоря РУ и, как следствие, к хронометрическому проскакиванию одной из позиций силового контроллера.

При существующей конструкции переключателя вентилей время совместного действия силовой и подъемной катушек РУ после включения контактора КСП незначительно и увеличить его затруднительно. Поэтому предлагается на электропоездах переменного тока устанавливать небольшую панель автоматики, с помощью которой при замыкании контакта ПВ1 подъемная катушка РУ подключается на дополнительную цепь с активным сопротивлением и ток в ней, почти мгновенно достигает установившейся величины. Следовательно, работа реле ускорения значительно улучшается.

При размыкании ПВИ необходимо, чтобы якорь РУ отпал после прекращения питания подъемной катушки, с допустимой задержкой времени. С этой целью параллельно подъемной катушке реле ускорения подключается еще одна, причем обе шунтируются конденсатором. Тогда при размыкании контакта ПВИ в цепи подъемных катушек происходит разряд конденсатора и отпадение якоря РУ будет с некоторой задержкой времени. Спадание тока описывается уравнением:

$$i = \frac{CU_{a6}}{p_1 - p_2} \left[p_1 p_2 (e^{p_1 t} - e^{p_2 t}) + \frac{1}{r_1 C} (p_1 e^{p_1 t} - p_2 e^{p_2 t}) \right]; \quad (8)$$

где

$$p_{1,2} = -\frac{r}{2L} \pm \sqrt{\frac{r^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}};$$

При $i_{\text{омп.}} = 0,25a$ время задержки на одну позицию составляет $t_{\text{зап.}} = 0,08$ сек, за которое ток в силовой цепи возрастает до установившейся величины и случаи проскакивания позиций будут исключены.

Кроме того, с помощью такой задержки можно обеспечить постепенное нарастание тока в цепи тяговых двигателей при повторном наборе позиций (после выбега электропоезда) и тем самым устранить возникающие при этом динамические удары.

Осуществление выше указанных мероприятий по улучшению системы автоматического пуска, позволяет значительно повысить тяговые свойства электропоезда переменного тока.

Глава III.

Синхронный пуск электропоездов переменного тока

В современных электропоездах переменного тока, работающих по обычной схеме автоматического управления практически невозможно достигнуть одновременного перехода силовых контроллеров на очередные позиции. Объясняется это отклонениями от номинального значения параметров силовой цепи моторных вагонов, в связи с чем неизбежно возникает разница в токах, которая приводит к неодновременному отпаданию якорей РУ. Для определения разницы в величинах тока между моторными вагонами, находящимися в одном сцепе произведен анализ стабильности скоростных

НТБ
ДНУЖТ
11

характеристик тяговых двигателей. Следует также учесть, что на электропоездах переменного тока имеются различия в параметрах и характеристиках выпрямительной установки, тягового трансформатора и сглаживающего реактора. При установлении закона распределения отклонений характеристик тяговых двигателей использованы материалы заводских контрольных испытаний 181 двигателя.

Результаты обработки этих данных методами математической статистики показывают, что 74,6% тяговых двигателей имеют отклонения скоростных характеристик, не превышающие $\pm 3\%$.

На основании расчета определено, что время одновременного срабатывания приводов КСП из-за расхождения характеристик составляет 0,2—0,4 сек, а для соударения вагонов в электропоезде достаточно 0,2—0,3 сек.

Следовательно, удары между моторными вагонами, работающими в одном сцепе, неизбежны.

Так как разница в токах между моторными вагонами электропоезда от процентных отклонений U_d , D_i , Φ_i согласно аналитическим и экспериментальным данным не превышает 10%, то вполне возможно обеспечить одновременность их работы.

Поэтому предлагается синхронизировать работу приводов силовых контроллеров на электропоездах переменного тока, работающих по системе многих единиц.

Достигается это путем применения реле синхронизации, которое при подаче питания от контроллера машиниста срабатывает и автоматически прерывает цепь поездного провода, соединяя его последовательно с н. з. контактом реле ускорения ведущего моторного вагона. В данном случае сохраняется автономность управления каждым моторным вагоном и обеспечивается автоматическое восстановление прежней несинхронной схемы управления по окончании пуска. Кроме того, на ведущем моторном вагоне за счет автоматического подключения к подъемной катушке РУ дополнительного сопротивления его ток уставки снижается на 10%, но не ниже номинального значения, так как предварительно все реле ускорения регулируются в поезде на одинаковую уставку (выше номинальной на 15%). Тогда при отпадании якоря РУ на ведущем моторном вагоне контакты реле ускорения ведомых моторных вагонов будут уже замкнуты и готовы получить питание, что вызовет синхронное срабатывание приводов силовых контроллеров электропоезда.

Для подачи достаточного по времени питания ведомым приводам КСП от РУ ведущего моторного вагона его силовой контроллер должен вращаться более замедленно. Это осуществляется автоматическим включением в цепь вентиля привода КСП индуктивного дросселя.

В диссертации также предложена автором и рассмотрена принципиальная схема синхронного пуска электропоездов переменного тока, выполненная на бесконтактных элементах.

Г л а в а IV.

Выбор параметров в цепях управления силовым контроллером при синхронном пуске электропоездов

Для обеспечения синхронизации пусковых устройств на электропоездах переменного тока необходимо, чтобы клапан привода силового контроллера у ведущего моторного вагона открывался позже, чем у ведомых на некоторое время Δt . Поэтому в цепь катушки клапана привода КСП после н. з. контакта РУ включается последовательно индуктивный дроссель, имеющий шихтованный магнитопровод Ш-образной системы с симметричными ветвями и воздушным зазором.

Задача заключается в выборе необходимой задержки времени включения клапана привода силового контроллера при минимальных габаритах индуктивного дросселя.

Трудность расчета состоит в том, что индуктивность дросселя в зависимости от тока существенно изменяется, кроме того, электромагнит клапана имеет на сердечнике демпферное кольцо, влияющее на характер изменения тока в цепи катушки клапана.

Нарастание токов в цепи клапана i_1 и демпферном кольце i_2 описывается дифференциальными уравнениями:

$$r_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} = U; \quad (9)$$

$$r_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} = 0; \quad (10)$$

где $r_1 = r_{в.} + r_{н.д.} + r_{доп.}$ — общее сопротивление цепи;

r_2 — сопротивление демпфера;

$L_1 = L_{в.} + L_{н.д.}$ — суммарная индуктивность клапана и дросселя;

U — напряжение источника питания.

При дальнейшем преобразовании этой системы получаются уравнения второго порядка с нелинейными коэффициентами, решение которых производилось на фазовой плоскости и на аналоговой вычислительной машине.

Приведенный числовой расчет показывает, что время запаздывания включения вентиля с индуктивным дросселем на одну позицию составляет 0,07 сек., а на один оборот вала КСП — 1,3 сек. Тогда, если время свободного вращения силового контроллера без индуктивного дросселя 5,0 сек., то при его включении — 6,3 сек.

Такая разница необходима для того, чтобы обеспечить достаточные по времени импульсы питания ведомых КСП, так как при синхронном пуске их приводы питаются от одного реле ускорения ведущего моторного вагона.

Благодаря применению дросселя можно легко перевести ведомую электросекцию в ведущую и наоборот.

По приведенной методике были изготовлены индуктивные дроссели и установлены на опытных электропоездах переменного тока. Результаты испытаний достаточно хорошо совпали с теоретическими расчетами.

Глава V.

Электрические и динамические испытания электропоезда переменного тока

Экспериментальная работа по исследованию параллельно работающих автоматических систем электропоезда ЭР9П выполнялась в мае-июне 1968 г. работниками кафедр электроподвижного состава и строительной механики ДИИТа на Юго-Западной железной дороге.

Для проведения испытаний моторвагонное депо Фастов выделило из рабочего парка электропоезд, который был оборудован схемой синхронного пуска с улучшенной системой автоматического управления. Чтобы устранить действие инерционных усилий на работу реле ускорения все панели с РУ были развернуты на 90°

Наибольшие динамические удары между вагонами предполагались во втором сечении, что составляет 0,75L от конца электропоезда. Для измерения и записи усилий была подготовлена автосцепка-динамометр.

После проведения подготовительных работ опытный электропоезд снова был введен в эксплуатируемый парк и даль-

нейшие исследования велись в рабочем состоянии согласно графику движения поездов.

Особый интерес представляло трогание с места и разгон электропоезда по существующей схеме, а также схеме синхронного пуска при различных пусковых режимах.

Проведенные испытания подтвердили, что при работе электропоездов переменного тока по существующей системе автоматического управления не фиксируются силовым контроллером как четные, так и нечетные позиции. Анализ осциллограммы № 98, рис. 2, показывает, что при несинхронном пуске разница во времени начала нарастания токов в моторных вагонах при одной и той же уставке реле ускорения составляет от 0,2 до 1,0 сек. Запись производилась при одинаковой регулировке времени вращения всех валов КСП.

Установлено, что для соударения моторных вагонов необходима разница в переключении силовых контроллеров на одну позицию 0,2—0,3 сек.

Поэтому продольно-динамические удары в электропоезде переменного тока из-за одновременного увеличения тяговых усилий достигают до 8 тонн.

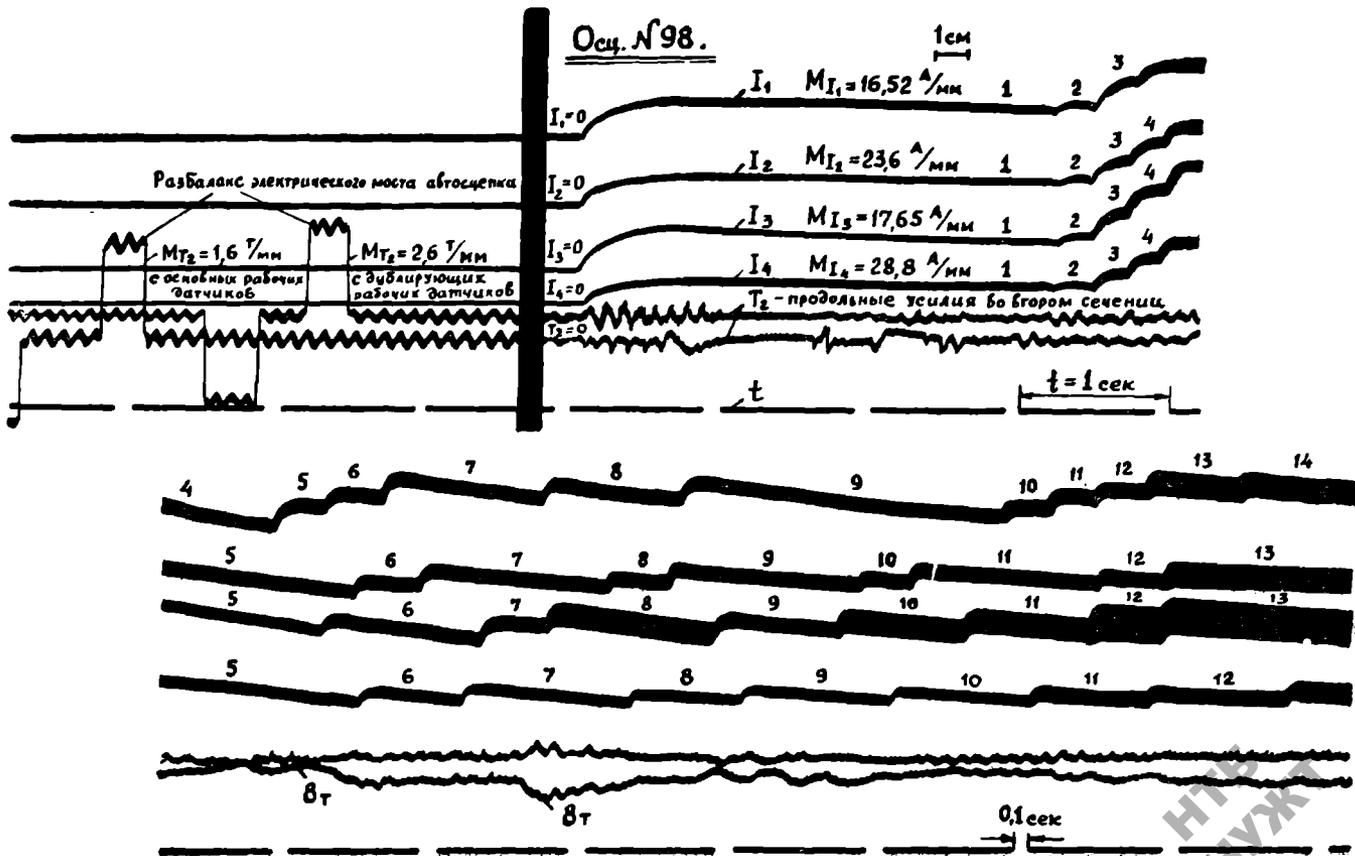
При синхронном пуске электропоезда некоторое запаздывание силового тока ведущего моторного вагона, по сравнению с ведомыми, составляет всего лишь от 0,02 до 0,1 сек. (см. осц. № 9, рис. 3).

Такие величины являются незначительными и предусматриваются для обеспечения достаточных по времени импульсов питания приводов ведомых КСП, у которых нарастание токов происходит почти одновременно на всех позициях.

Следовательно, предлагаемая схема синхронного пуска с улучшенной системой автоматического управления позволяет устранить ударные воздействия между вагонами в электропоезде, а также надежно зафиксировать все позиции.

Технико-экономический расчет, приведенный в приложении диссертации, показывает, что синхронизация пуска электропоездов переменного тока с улучшенной системой автоматического управления дает возможность получить годовую экономию от уменьшения расхода электроэнергии и затрат на ремонт автосцепок по Юго-Западной железной дороге в сумме 40 тыс. руб.

Рис. 2.



НИИ
ДНУЖТ

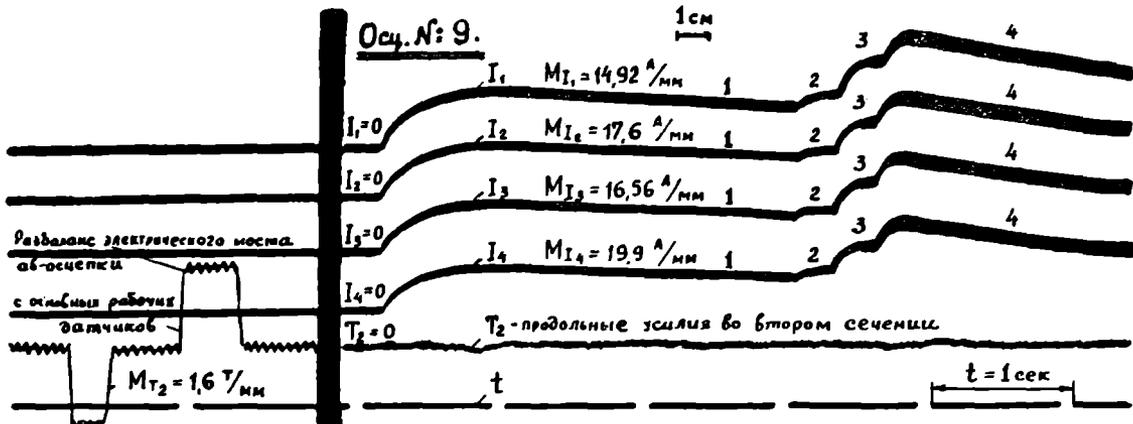
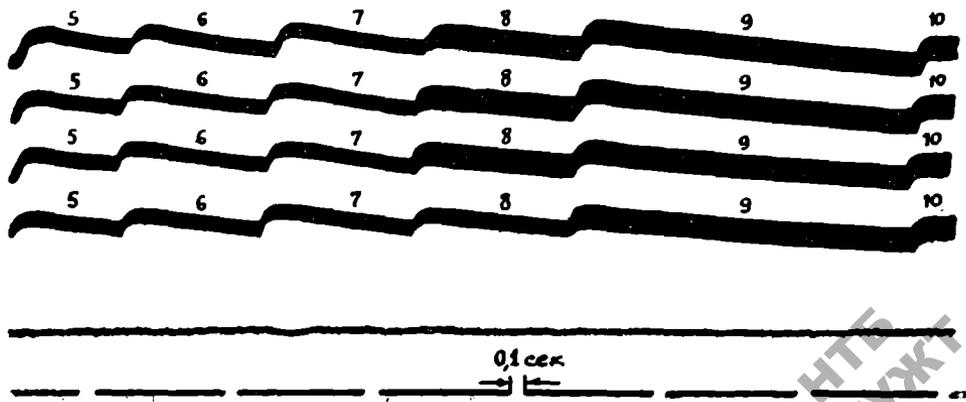


Рис. 3.



НТБ
ДНУЖТ

Основные выводы

1. Исследования и проведенные испытания показали, что реле ускорения в период пуска часто не фиксирует четные или нечетные позиции силового контроллера. Это вызывает в эксплуатации боксование колесных пар моторных вагонов, сопровождающееся иногда явлением круговых огней на коллекторах тяговых двигателей.

2. Произведенный расчет переходных процессов в силовой цепи при автоматическом управлении показал, что самым неблагоприятным моментом перехода силового контроллера с одной позиции на другую является переход с симметричной схемы выпрямления на несимметричную. В этом случае нарастание тока в тяговых двигателях из-за наличия в цепи значительной индуктивности происходит замедленно. За время совместного действия силовой и подъемной катушек реле ускорения после включения контактора КСП 0,01—0,015 сек, среднее значение выпрямленного тока не успевает достичь величины уставки РУ и поэтому происходит проскакивание позиций силовым контроллером. Для устранения этого, как показали расчеты, необходимо, чтобы якорь РУ отпадал с дополнительной задержкой времени в 0,08 сек, для чего параллельно подъемным катушкам рекомендуется устанавливать конденсатор. Такую задержку времени между позициями необходимо обеспечить и на бесконтактном реле ускорения.

3. Рассмотренные переходные процессы в цепях управления автоматическим пуском показали, что существующая схема включения подъемной катушки реле ускорения не обеспечивает надежной работы РУ, а следовательно, и системы автоматического управления. Так, за время действия подъемной катушки 0,04 сек. ток в ней не успевает возрасти до величины, необходимой для притягивания якоря РУ. Это приводит к хронометрическому проскакиванию позиций силовым контроллером. Поэтому предлагается устанавливать небольшую панель автоматики, позволяющую обеспечить независимую цепь питания подъемной катушки реле ускорения в момент замыкания контакта переключателя вентилей ПВ1.

4. Испытаниями установлено, что при существующей системе автоматического управления на электропоездах переменного тока возникают продольные динамические удары между вагонами, достигающие до 8 т, что вызывает преждевременный износ узлов механической части.

5. Несинхронный пуск электропоездов переменного тока приводит к тому, что разница во времени начала нарастания токов в моторных вагонах при одной и той же уставке РУ составляет от 0,2 до 0,4 сек, а для соударения вагонов необходимо 0,2—0,3 сек. Следовательно, динамические удары в электропоезде переменного тока из-за неодновременного отпадения якорей реле ускорения неизбежны.

6. Рекомендуются, на основании проведенных исследований и длительного опыта эксплуатации электропоездов переменного тока, применить разработанное в ДИИТе устройство для синхронизации хода силовых контроллеров, которое позволяет:

а) устранить продольные динамические удары между вагонами и уменьшить износ головок и хвостовиков автосцепок;

б) значительно сократить число случаев боксования колесных пар и тем самым повысить надежность работы тяговых двигателей;

в) получить большее ускорение электропоезда и уменьшить общий расход электрической энергии до 1,5—2,0%;

г) получить экономический эффект от внедрения данного устройства на электропоездах переменного тока по Юго-Западной железной дороге около 40 тыс. руб. в год.

7. Безотказная работа в течение пяти лет опытных электропоездов на Северо-Кавказской и Юго-Западной железных дорогах дает основание рекомендовать усовершенствованную систему управления не только на существующем электроподвижном составе переменного тока, но и на вновь проектируемом.

Результаты работы докладывались и обсуждались на:

1. XVII научно-технической конференции, ДИИТ, март 1967 г.

2. Первой Республиканской конференции молодых ученых железнодорожников, ДИИТ, февраль 1969 г.

3. Заседании научного семинара кафедр электроподвижного состава, электрических машин и преобразователей ДИИТа, декабрь 1969 г.

4. Техническом совете моторвагонного депо ст. Фастов-1, Юго-Западной железной дороги, январь 1970 г.

5. Техническом совете службы локомотивного хозяйства управления Юго-Западной железной дороги, январь 1970 г.

6. Техническом совете локомотивного депо Ростов Северо-Кавказской железной дороги, февраль 1970 г.

7. Научно-технической конференции молодых ученых железнодорожного транспорта, РИИЖТ, март 1970 г.

8. Юбилейной научно-технической конференции, ДИИТ, апрель 1970 г.

**Основное содержание диссертации опубликовано
в следующих работах:**

1. Висин Н. Г., Власенко Б. Т., Синхронизация и улучшение автоматизации пуска электропоезда ЭР9П. Труды ДИИТа, вып. 66, 1966 г.

2. Власенко Б. Т., Синхронизация пуска электропоезда ЭР9. Тезисы докладов XVII научно-технической конференции ДИИТа, 1967 г.

3. Висин Н. Г., Власенко Б. Т. Синхронный пуск электропоездов переменного тока на бесконтактных элементах. Труды ДИИТа, вып. 77, 1968 г.

4. Власенко Б. Т. Влияние переходных процессов в силовой цепи и цепях управления на работу системы автоматического пуска электропоездов переменного тока. Тезисы докладов первой республиканской конференции молодых ученых-железнодорожников. Днепропетровск, 1969 г.

5. Власенко Б. Т. Влияние переходных процессов в силовой цепи на работу автоматического управления электропоезда ЭР9П. Труды ДИИТа, вып. 87, 1969 г.

6. Власенко Б. Т. Влияние переходных процессов в силовой цепи и цепях управления на работу системы автоматического пуска электропоездов переменного тока. Материалы научно-технической конференции молодых ученых железнодорожного транспорта. Ростов-на-Дону, 1970 г.

7. Власенко Б. Т. Влияние переходных процессов в силовой цепи и цепях управления на работу системы автоматического пуска электропоездов переменного тока. Материалы юбилейной научно-технической конференции ДИИТа. Днепропетровск, 1970 г.

Некоторые разделы диссертации освещены в отчете ДИИТа: «Исследование повышения надежности работы системы автоматического управления на электропоездах переменного тока ЭР9П», 1969 г.