

СССР—МПС—ГУУЗ

**ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Ассистент КАБЛУКОВ В.А.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ ДИНАМИКИ
ЭЛЕКТРОЕЗДОВ ТИПА ЭР**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1964

**НТБ
ДНУЖТ**

Публичная защита диссертации состоится на заседании Ученого совета

«10» марта 1964 г.

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

1964 г.

НТБ
ДНУЖТ

СССР—МПС—ГВУЗ

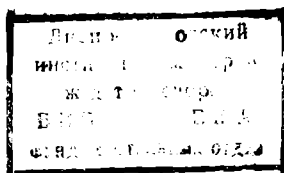
**ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Ассистент КАБЛУКОВ В.А.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ ДИНАМИКИ
ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ТИПА ЭР**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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



Днепропетровск
1964

НТБ
ДНУЖТ

2217a.

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного
транспорта

НТБ
ДНУЖТ

Техническое перевооружение железнодорожного транспорта и быстрые темпы электрификации железных дорог позволили в последние годы резко увеличить объем и скорости пригородного движения на многих участках. В этих условиях вопросы прочности вагонов электропоездов, безопасности движения и создания максимальной комфортабельности для пассажиров приобретают особое значение.

По условиям эксплуатации, из-за большого количества остановок во время движения электропоездов, часто встречаются переходные режимы (трогания, торможения, набор и сброс силы тяги и др.), т. е. режимы, при которых возникают наибольшие продольные усилия и ускорения. Поэтому, исследование величины продольных усилий, скорости изменения этих усилий, величин ускорений при переходных режимах движения представляет большой интерес для конструкторов и эксплуатационников электропоездов пригородного движения.

В настоящей работе рассматриваются некоторые переходные режимы: различные виды трогания и торможения десятивагонного электропоезда типа ЭР-1 и ЭР-2, наиболее распространенных на сети дорог СССР.

Первая глава работы посвящена выбору расчетной схемы и построению математической модели исследуемых процессов.

В связи с большой неоднородностью электропоездов по массе вагонов (массы моторных вагонов, распределенных по всей длине поезда, в 1,27 раза больше чем массы прицепных вагонов) в качестве расчетной схемы была принята одномерная система твердых тел, соединенных связями с упругими несовершенствами. Силы тяги в электропоезде реализуются тяговыми двигателями всех моторных вагонов, и поэтому приложены к различным массам входящим в расчетную схему.

Уравнения движения, для такой расчетной схемы, составлены в форме уравнений Лагранжа второго рода. Если за обобщенные координаты приняты относительные перемещения (q_i) твердых тел, то систему дифференциальных уравнений можно записать так:

$$\ddot{q}_i = \frac{Q_i}{m_i} - \frac{Q_{i+1}}{m_{i+1}} + \frac{S_{i-1}}{m_{i-1}} \frac{m_{i-1}}{m_i} \left(1 + \frac{m_i}{m_{i+1}} \right) + \frac{S_{i+1}}{m_{i+1}} \quad (i = 1, 2, \dots, 10). \quad (1)$$

где m_i — масса груза (вагона);

Q_i — обобщенная сила (при трогании Q_i — сила тяги моторного вагона, при торможении — тормозная сила каждого вагона);

S_i — продольные усилия в i -ой связи системы.

Для поезда без зазоров в упряжи (поезд оборудованный упругими переходными площадками при вязком и упруго-вязком сопротивлении связей S_i является линейной функцией перемещений и скоростей т. е.

$$S_i = kq_i - \beta \dot{q}_i \quad (2)$$

При наличии зазора в упряжи зависимость усилия S_i от обобщенных координат q_i и скоростей $\dot{q}_i$ можно записать так:

$$\begin{aligned} S_i &= 0 && \text{при} && |q_i| < \delta_i \\ S_i &= (|q_i| - \delta_i) k \operatorname{sign} q_i + \beta \dot{q}_i && && \\ &&& \text{при} && |q_i| > \delta_i \end{aligned} \quad (3)$$

где: k — жесткость связи;

β — коэффициент вязкого сопротивления;

δ_i — полная величина зазора в упряжи.

Вследствие неоднородности расчетной схемы по массе, решение такой системы дифференциальных уравнений вручную настолько громоздко, что доведение исследования до числовых результатов требует огромной затраты труда, а в нелинейной постановке (поезд с зазорами) становится практически невыполнимым *).

При построении электрической схемы модели-аналога без усилителей был использован простой и наглядный способ — четырехплюсников. Механические четырехплюсники заменялись соответствующими им по первой системе электромеханических аналогий электрическими четырехплюсниками и соблюдались граничные условия $S = 0$, скорость $\dot{v} \neq 0$.

Независимые напряжения-аналоги сил тяги моторных вагонов подавались в соответствующие ячейки модели при помощи специального устройства — коммутатора, позволявшего подавать напряжения как одновременно, так и в разные моменты времени.

На модели-аналоге были получены решения задачи о трогании электропоезда силами тяги каждого моторного вагона $Q_i = 1$, которые прикладывались одновременно и с различным запаздыванием.

*) Лазарян В. А. «Применение математических машин непрерывного действия к решению задач продольной динамики подвижного состава». Траусжелдор-издат. 1962 г.

При одновременном приложении сил тяги максимальные значения усилий в сечениях составляют

№ сечения	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Усилие в

тоннах 0,600 0,260 0,700 0,126 0,472 0,131 0,670 0,164 0,510

Неодновременное приложение сил тяги приводит к резкому росту усилий во всех сечениях и при неблагоприятном сочетании времени запаздывания или опережения включения тяговых двигателей приводит, например, в четвертом сечении к увеличению усилия в 7,7 раза.

Решение задачи о трогании электропоезда с зазорами в упряжи на модели-аналоге сопряжено с большими трудностями, т. к. требует изготовления специального сложного оборудования. Поэтому решение нелинейной задачи проводилось при помощи двух математических машин непрерывного действия МПТ-9.

Первоначально, в качестве контрольной, была решена задача аналогичная той, которая моделировалась на модели-аналоге. Решение такой задачи было необходимо также и для того, чтобы оценить эффективность обоих методов. Для решения на машине система дифференциальных уравнений (1) была приведена к нормальной форме. Полученные 18 уравнений 1-го порядка, в свою очередь, были заменены машинной системой дифференциальных уравнений.

$$X_i = Y_i \frac{N_0 N_s}{N_1} \quad (4)$$

$$Y_i = \frac{N_0 N_s}{N_2} (W_i^* - W_{i+1}^*) + \frac{m_{i-1}}{m_i} \left(\frac{N_0 N_s}{N_2} W_{i-1}^* \right) - \\ - \left(1 + \frac{m_i}{m_{i+1}} \right) \frac{N_0 N_s}{N_2} W_i^* + \frac{N_0 N_s}{N_2} W_{i+1}^* \\ (i = 1, 2, \dots, 10),$$

где: X_i, Y_i, W_i, W_i^* - электрические напряжения, моделирующие физические величины $x_i, y_i, \frac{S_i}{m_i}, \frac{Q_i}{m_i}$, а

$$N_1 = \frac{x_i}{X_i}, N_2 = \frac{y_i}{Y_i}, N_3 = \frac{S_i}{m_i W_i}, N_4 = \frac{t}{\tau}, \quad - \text{масштабные}$$

коэффициенты.

Была составлена блок-схема решения этой системы машинных уравнений и найдены усилия S_i .

Результаты решения хорошо согласуются с результатами, полученными на модели-аналоге без усилителей.

В случае нелинейной системы решение уравнений на машине осуществлялось подобно тому, как и в случае линейной задачи, с некоторыми изменениями блок-схемы решения.

«Зазор» моделировался схемой «зона нечувствительности» и включался по схеме:

$$S_i = [|S_i^*| - S_{\text{з}}] \cdot \text{sign}, q_i \tau_0 (|S_i^*| S_{\text{з}}) \quad (3)$$

где $S^* = kq + \beta \dot{q}$; $S_{\text{з}} = k\delta$

$$\tau_0(S) - \text{единичные функции} \quad \begin{cases} \tau_0 = 0 \\ \tau_0 = 1 \end{cases}$$

При силе тяги 10,2 т и зазоре 36 мм были получены следующие максимальные усилия:

Сечение	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Максимальное усилие	-11,7	9,6	-11,3	9,5	11,1	-8,3	18,0	-8,7	11,3

Исследование влияния величины зазора на продольные усилия показало, что с увеличением зазора усилия во всех сечениях растут примерно по одному закону. Исключение составляет 7-е сечение, где усилие растет несколько интенсивней.

При одновременном включении тяговых двигателей в электропоезде с зазорами в упряжи наибольшие усилия возникают во всех сечениях при запаздывании двигателей 2-го и 9-го моторных вагонов и достигают 26 т в V сечении при запаздывании Q_2 на 2,5 сек (зазор 36 мм) и 26,2 т в VI сечении при запаздывании Q_9 также на 2,5 сек.

Решение задачи о трогании электропоезда без зазора в упряжи было получено также на электронной цифровой вычислительной машине «УРАЛ-1».

Численное интегрирование системы дифференциальных уравнений (1), приведенных к нормальному виду, производилось при помощи четырехстрочного метода Рунге-Кутты с применением автоматического выбора шага. Полученные решения хорошо согласуются с решениями описанными выше.

Проведенные опыты в натуре, позволили проверить все три метода решения задачи о трогании электропоезда.

Сопоставление результатов опытов с результатами полученными на модели-аналоге, МПТ-9 в ЭАЦВМ «УРАЛ-1», дано в таблице:

Вид данных	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Опыт в натуре	-4,5	-1,13	-4,9	-0,77	3,3	1,05	5,3	1,29	4,2
Решение на МПТ-9	-4,59	-1,26	-5,1	-0,82	3,57	1,11	5,65	1,44	4,1
Решение на Урал-1	-4,3	-1,12	-5,0	-0,77	3,42	1,02	5,25	1,4	4,3
Решение Модель-аналога	-4,55	-1,21	-5,3	-0,9	3,6	0,99	5,1	1,25	3,9

Как видно, точность полученных решений вполне удовлетворительна.

Все опыты по троганию и торможению проводились для трех состояний поезда по зазорам и упругим переходным площадкам:

1. Зазоры нормальные, площадки включены.
2. Зазоры увеличены, площадки включены.
3. Зазоры увеличены, площадки выключены.

Анализ результатов показал, что с увеличением зазоров усилия во всех сечениях возрастали.

Трогание электропоезда производилось со схемой синхронизации работы тяговых двигателей и без нее. В опытах по троганию определялся наиболее оптимальный вариант выключения тяговых двигателей одного или двух моторных вагонов. Опыты по торможению проводились при скоростях движения электропоезда в момент начала торможения 10, 30, 50, 70, 90, 110 км/час, при этом торможение осуществлялось электро-пневматическим тормозом (ПСТ), стоп-краном с головы поезда (СКГ), стоп-краном из середины поезда (СКС), стоп-краном из хвостового вагона (СКХ).

Полученные данные свидетельствуют о том, что усилия несколько выше при торможении пневматическими тормозами (стоп-кран).

Большое количество проведенных опытов (775 — по троганию и 731 — по торможению) позволили построить кривую и полигон повторяемости усилий в электропоезде.

Оценка комфортабельности при переходных режимах движения производилась по скорости нарастания усилий во всех сечениях поезда и по величине продольных ускорений. Установлено, что эти ве-

личины мало отличаются от таких же величин в пассажирском поезде.

Записанные величины перемещений поглощающих аппаратов автосцепок свидетельствуют о том, что все аппараты работают достаточно устойчиво.

Выводы

Выполненные исследования как в реальных условиях, так и на математических машинах (электрическая модель-аналог, МПТ-9 и ЭАЦВМ «Урал-1») позволяют сделать следующие выводы:

1. Продольные усилия при всех переходных режимах движения электропоезда невелики. При трогании и дальнейшем наборе силы тяги наибольшая величина усилия составляет 21 т, при торможении — 17 т. Наиболее часто повторялись усилия: при трогании до 8 т (94%) и при торможении также до 8 т (97,5%). Следовательно, расчетное продольное усилие для условий нормальной эксплуатационной работы должно быть принято 25—30 тонн.

2. Одновременность пуска тяговых двигателей снижает продольные усилия на 25—30% и обеспечивает более спокойный ход электропоезда. Поэтому существующий автоматический пуск электропоезда должен быть дополнен схемой синхронизации работы тяговых двигателей моторных вагонов с растяжкой времени перехода на следующую позицию до 2—2,5 сек (время, необходимое для затухания переходного процесса при продольных колебаниях электропоезда).

3. Зазоры в автосцепках вагонов электропоезда приводят к росту продольных усилий, на 7—10% и снижению комфортабельности движения. Упругие переходные площадки снижают влияние зазоров на величину усилий и, особенно, на величину ускорений и производных усилий по времени. Таким образом, упругие переходные площадки необходимы.

4. В случае преднамеренного выключения тяговых двигателей одного моторного вагона (малый поток пассажиров) следует отключать двигатели среднего (06) моторного вагона, при отключении двигателей двух моторных вагонов — 04—06 или 06—08, т. к. при этом возникающие в электропоезде продольные усилия, ускорения и производные усилий по времени будут наименьшими.

5. Автосцепки и поглощающие аппараты, которыми оборудованы вагоны электропоездов, рассчитаны на продольные усилия 250 т, что в 12 раз больше усилий, возникающих в этих поездах при нормальной эксплуатационной работе. Следовательно, необходимо разработать облегченную автосцепку и поглощающий аппарат, что позволит снизить тару вагонов.

6. Электрическая модель и исследования на математических машинах, проведенные как для линейной, так и для нелинейной неоднородной по массе системы, с распределенными по длине силами тяги (какой является электропоезд ЭР), хорошо отображают протекающий в реальных условиях процесс. Следовательно, исследование продольной динамики поездов такого типа может с успехом проводиться на моделях-аналогах, математических машинах непрерывного действия и электронных автоматических цифровых вычислительных машинах с достаточной для практических целей точностью. При этом, для решения линейных задач (поезд без зазоров в упряжи) наиболее эффективной является модель-аналог, для нелинейных (поезд с зазорами в упряжи) — математические машины непрерывного действия. Использование математических машин позволит значительно сократить трудоемкие и дорогостоящие натурные испытания, которые должны проводиться только как проверочные с минимальным числом опытных поездов.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих статьях:

Лазарян В. А., Барбас И. Г., Каблуков В. А., Манашкин Л. А. — Применение электронных моделей к решению задач о трогании поездов. Вестник ЦНИИ № 3, 1963 г.

Захаров В. Н., Каблуков В. А., Уланов А. А. — Устройство для одновременной подачи нескольких независимых сил тяги. Труды ДИИТ, выпуск 45. Трансжелдориздат, 1963 г.

Каблуков В. А. — Электрическое моделирование продольных усилий, возникающих в электропоездах пригородного движения. Труды ДИИТ, выпуск 45. Трансжелдориздат, 1963.

Каблуков В. А. — Решение задачи о трогании электропоезда ЭР на электронных математических машинах. Труды ДИИТ, выпуск 45. Трансжелдориздат, 1963.

Типография Днепропетровского металлургического института.

г. Днепропетровск, пр. Гагарина, 4.

Заказ 253. Тираж 120. Подп. к печ. 4. II. 64 г. БТ 07581. Объем 0,75 л. л.

Сканировала Камянская Н.А.