

## Список литературы

- 1 Козменков, О. Н. Обеспечение бесперебойного электроснабжения железнодорожного транспорта за счёт автоматизации процессов контроля, управления и планирования действий с ресурсами / О. Н. Козменков // Вестник транспорта Поволжья. – 2015. – № 2 (50). – С. 21–26.
- 2 Добрынин, Е. В. Цифровая подстанция. Метод реализации / Е. В. Добрынин, И. А. Ефремова // Вестник транспорта Поволжья. – 2020. – № 1 (79). – С. 16–22.
- 3 Добрынин, Е. В. An overhead line voltage monitoring system / Е. В. Добрынин, Т. В. Бошкарёва, О. В. Табаков. // Russian electrical engineering. – 2020. – № 3. – С. 191–194.
- 4 Ефремова, И. А. Математическая модель оценки технического состояния масляного трансформатора / И. А. Ефремова, О. Н. Козменков, Е. В. Добрынин // Наука и образование транспорту. – 2020. – № 1. – С. 329–332.

УДК 629.4.015

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОГЛОЩАЮЩИХ АППАРАТОВ НА ПРОДОЛЬНЫЕ СИЛЫ В ПОЕЗДАХ ПРИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОМ ТОРМОЖЕНИИ

П. А. САХАРОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Поглощающие аппараты служат для снижения динамических сил, возникающих в межвагонных соединениях поездов при изменении управляющих воздействий, вызванных сменой режимов движения или профиля пути. Переход с одного режима движения (или профиля пути) на другой приводит к изменению сил, действующих между единицами подвижного состава. Указанное изменение происходит за некоторый период времени, в течение которого режим движения является неустановившимся. В это время значения сил в связях могут существенно превышать силы управляющих воздействий. Их снижению способствуют поглощающие аппараты, упруго-диссипативные свойства которых позволяют значительную часть энергии динамического взаимодействия вагонов преобразовать в энергию колебаний поезда и тепловую, рассеиваемую в окружающую среду. При этом амплитуда и период продольных колебаний поезда зависит от количества вагонов в составе, их массы и расположения, характеристик поглощающих аппаратов.

Существенное влияние на величину продольно-динамических сил, возникающих между вагонами, оказывают силовые характеристики поглощающих аппаратов, которые представляют собой зависимости силы сжатия аппарата  $T$  от величины  $q$  и скорости  $\dot{q}$  сжатия при его нагрузке и разгрузке (рисунок 1). Результаты расчетов, учитывающих конкретные силовые характеристики амортизаторов, могут существенно, если не кардинально, отличаться от результатов аналогичных расчетов, выполненных для амортизаторов с иными характеристиками [1]. В таких условиях целесообразно рассматривать не конкретный тип поглощающего аппарата, а характеристику, свойственную ряду поглощающих аппаратов. Здесь выделяют три основные формы кривой силового нагружения амортизатора: линейную (показатель степени  $n$  по основанию  $q$  которой равен 1), выпуклую вверх (мягкая характеристика с  $n < 1$ ) и выпуклую вниз (жесткая характеристика с  $n > 1$ ).

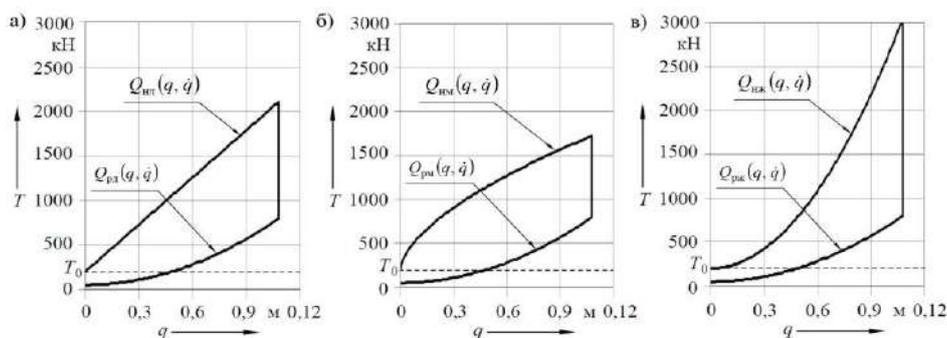


Рисунок 1 – Графики силовых характеристик поглощающих аппаратов с линейной (а), мягкой (б) и жесткой (в) характеристикой

Помимо формы линии нагружения на продольную динамику влияет сила начальной затяжки поглощающего аппарата  $T_0$ . Ее увеличение приводит к росту энергоемкости аппарата и способствует снижению износа его частей. Согласно [2, с. 4] сила начальной затяжки для поглощающих аппаратов грузовых вагонов должна находиться в пределах 0,1–0,4 МН. Величина их максимального сжатия (конструкционный ход) ограничивается значением 120 мм, а соответствующая ему сила при динамическом нагружении не должна превышать 3 МН.

Разработана компьютерная модель [3], с помощью которой исследовано влияние описанных выше характеристик поглощающих аппаратов на силы в межвагонных соединениях поездов при переходе на режим электродинамического торможения локомотивом.

Рассмотрено торможение поездов, оборудованных поглощающими аппаратами с одинаковой максимальной энергоемкостью 100 кДж при конструкционном ходе 120 мм и отличающимися линиями нагрузки силовых характеристик, расчетные выражения которых имеют вид

$$Q_{\text{нл}} = 10^5 + 1,23 \cdot 10^7 q + 10^5 |\dot{q}|; \quad (1)$$

$$Q_{\text{нм}} = 10^5 + 4,2 \cdot 10^6 q^{0,6} + 10^5 |\dot{q}|; \quad (2)$$

$$Q_{\text{нж}} = 10^5 + 1,54 \cdot 10^8 q^2 + 10^5 |\dot{q}|. \quad (3)$$

Согласно формулам (1)–(3) значение силы начальной затяжки принято минимально допустимым для поглощающих аппаратов грузовых вагонов  $T_0 = 100$  кН. Разгрузка всех поглощающих аппаратов в представленном исследовании происходит по линии, определяемой выражением

$$Q_{\text{пл}} = Q_{\text{рм}} = Q_{\text{рж}} = 5 \cdot 10^4 + 2,3 \cdot 10^7 q^2 - 10^5 |\dot{q}|. \quad (4)$$

Выполнена оценка продольной динамики поезда с составом из 100 вагонов, 25 из которых порожние, а 75 – груженые. Порожние вагоны массой по 24 т расположены в голове поезда. Груженые вагоны массой по 100 т. Тормозная сила локомотива в течение одной секунды возрастает до максимального значения, равного в первом опыте 300 кН, во втором – 600 кН, в третьем – 900 кН. В момент начала торможения поезд находится в сжатом состоянии, то есть влияние зазоров не проявляется. Результаты расчетов показали, что при тормозной силе локомотива 300 кН максимальные сжимающие силы в поездах превышают тормозную силу на 50, 27, 25 % соответственно при жестких, линейных и мягких силовых характеристиках амортизаторов. Соответствующие значения при тормозной силе 600 кН составили 70, 25, 17 %, а при 900 кН – 80, 25 и 14 %. Во всех случаях распределение максимальных продольных сил по длине поезда имеет схожий вид. Анализ результатов многочисленных вычислительных экспериментов подтверждает представленные результаты, демонстрирующие, что уменьшение показателя степени  $n$  линий силовых характеристик амортизаторов вагонов способствует снижению максимальных продольных сил в поездах при переходных режимах движения. С ростом силы управляющего воздействия, в частности электродинамического тормоза локомотива, указанное влияние увеличивается.

Увеличение силы начальной затяжки и соответствующее увеличение энергоемкости поглощающих аппаратов способствует существенному снижению максимальных сил. В аналогичных представленных выше исследованиях в поездах, оборудованных амортизаторами с различными силовыми характеристиками и начальной затяжкой до 400 кН, наибольшие значения продольных сил превысили силу торможения локомотива не более чем на 10–23 % в зависимости от величины затяжки. Меньшие значения сил соответствуют амортизаторам с большей силой затяжки. Для амортизаторов с жесткой силовой характеристикой увеличение силы начальной затяжки с 0 до 400 кН привело к снижению продольных сил при резком изменении тормозной силы на величину до 50 %.

Рассмотрено плавное торможение неоднородного поезда с составом из 40 порожних и 60 груженых вагонов массой 24 и 100 т соответственно. Для достижения уровня продольных сил, не превышающих силы электродинамического тормоза локомотива 500 кН, поезду с мягкими силовыми характеристиками амортизаторов потребовалось плавное увеличение тормозной силы в течение 17 с, линейными – 22 с, жесткими – 35 с. То есть в поездах с мягкими силовыми характеристиками амортизаторов допустимо более резкое изменение тормозной силы, чем при линейных или жестких.

Таким образом, снижению продольных сил в межвагонных соединениях поездов способствует увеличение энергоемкости поглощающих аппаратов, достигаемое уменьшением показателя степени  $n$  линии нагружения их силовых характеристик или путем повышения силы начальной затяжки.

При одинаковой энергоемкости важным преимуществом аппаратов с мягкими характеристиками является меньшая сила закрытия, соответствующая их сжатию на величину конструкционного хода. То есть при значительном сжатии таких амортизаторов, характерном для вагонов при роспуске с горки или маневровых операциях, в них возникают значительно меньшие силы, что продляет срок службы вагонов и повышает безопасность их эксплуатации [1].

#### Список литературы

- 1 Шимановский, А. О. Оценка влияния характеристик поглощающих аппаратов сцепных устройств на продольные силы в грузовом поезде / А. О. Шимановский, П. А. Сахаров // Актуальные вопросы машиноведения : сб. науч. тр. / Объединенный ин-т машиностроения НАН Беларуси. – Минск, 2019. – Вып. 8. – С. 216–219.
- 2 Аппараты поглощающие сцепных и автосцепных устройств железнодорожного подвижного состава. Технические требования и правила приемки : ГОСТ 32913-2014. – Введ. 2015.06.01. – М. : Стандартиформ, 2015. – 9 с.
- 3 Сахаров, П. А. Расчетно-экспериментальный метод исследования продольной динамики поезда / П. А. Сахаров // Механика. Исследования и инновации : сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2020. – Вып. 13. – С. 128–140.

УДК 621.3

## ВИЗУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ В СИСТЕМЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

*О. В. ТАБАКОВ, Т. В. БОШКАРЕВА*

*Самарский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация*

Электрификация железных дорог осуществляется как переводом существующих железных дорог на электрическую тягу, так и созданием новых электрифицированных железных дорог. На электрифицированных железных дорогах тяговые электродвигатели локомотивов (электровозов или электрических секций пригородных поездов) получают энергию от контактной сети, подключенной к тяговой подстанции. Электрифицированная железная дорога одновременно решает еще одну важную задачу – осуществляет электроснабжение районов, прилегающих к дороге, промышленных и сельскохозяйственных предприятий.

Повышение надежности тяговых подстанций и устройств электроснабжения планируется осуществлять за счет применения автоматизированных систем оперативно-технологического управления, удаленного мониторинга и диагностики устройств, силового оборудования с передачей данных по цифровым каналам связи в аналитические и диспетчерские центры управления.

С внедрением систем удаленной диагностики и мониторинга состояния оборудования тяговые подстанции будут обслуживаться по техническому состоянию, без оперативного персонала. Для этого необходимы специальные датчики, современное оборудование, которое требует минимум обслуживания и приборов для диагностики и испытаний электрооборудования тяговых подстанций, позволяющих выявлять скрытые дефекты на ранних стадиях развития.

В частности, предлагается использование системы визуального контроля за положением коммутационных аппаратов на автоматизированной тяговой подстанции, т. е. той, которая управляется по системе телесигнализации.

Разъединитель отвечает за создание видимого разрыва предварительно обесточенной цепи с целью обезопасить обслуживающий персонал (или электроустановку, выведенную в ремонт) от поражения электрическим током.

При дистанционном управлении разъединителями энергодиспетчер ориентируется только на показания системы телесигнализации. Однако эта информация не всегда оказывается достоверной. Причиной может служить как состояние аппаратуры телесигнализации, так и состояние самого разъединителя.

Это значит, что при управлении энергодиспетчером коммутационных аппаратов по системе телесигнализации на «отключение», «ответ» от разъединителя может прийти положительный, т. е. ножи разомкнуты, однако по факту цепь может остаться замкнутой.

Установка дополнительных датчиков, контролирующих состояние цепи (замкнута/разомкнута), помогает контролировать процесс переключения, но не состояние самого оборудования. То есть позволяет определить аварийную ситуацию, но не предотвратить.