

Ю. В. Шевчук

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И СТРУКТУРА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ БАРАБАННО-КОЛОДОЧНОГО ТОРМОЗА ТРАМВАЯ

Разработана математическая модель для диагностирования барабанно-колодочного тормоза трамвая, в которой износ тормозных накладок и зазоры в шарнирах и рычагах выражаются через задержку времени между подачей сигнала на привод тормоза и началом торможения с учетом особенностей функционирования данной системы трамвая и предложена структурная схема устройства для реализации математической модели.

Ключевые слова: диагностирование, барабанно-колодочный тормоз, износ тормозных накладок.

Постановка проблемы

Система ремонтов трамваев по межремонтному пробегу, основанная на среднестатистических оценках технического состояния совокупности машин, которая применяется в большинстве трамвайных депо, на сегодняшний день не удовлетворяет современным требованиям ни по уровню надежности трамваев на маршруте, ни по уровню материально-технических затрат.

Современный трамвай – это совокупность механических, электромеханических, пневматических, гидравлических, электронных и других узлов и систем, которые во время работы подвергаются разнообразным физико-химическим влияниям разного характера и уровня нагрузок. В результате ремонтов узлов и систем по прохождению межремонтного пробега на трамвае образуются системы, которые состоят из совокупности деталей с разным остаточным рабочим ресурсом. Это приводит к тому, что в условиях случайного характера нагрузок того или иного агрегата часть деталей заменяется досрочно, а часть заменяется в межремонтном периоде в результате отказа. Последний вариант является недопустимым, когда речь идет об узлах и системах, которые отвечают за торможение и остановку вагона, а следовательно за безопасность и сохранение жизни пассажиров.

Надежность и эффективность тормозной системы трамвая непосредственно влияет на такие важные показатели качества пассажирских перевозок как безопасность, скорость, комфортабельность и экономичность. Хотя часть дорожно-транспортных приключений, предопределенных отказом тормозной системы незначительная, однако эти отказы приводят к значительным материальным убыткам, а иногда и человеческим жертвам. Кроме того, анализ показывает, что некоторых дорожно-транспортных приключений можно было бы избежать благодаря более эффективному действию тормозных систем (меньшему тормозному пути).

Анализ последних исследований и публикаций

Раньше проводились исследования по разработке устройств по диагностированию функциональных узлов и систем трамвая для повышения надежности их функционирования и измерению уровня износа частей, которые определяют периодичность планово-предупредительных ремонтов [1, 2, 3, 4, 5]. Таким образом, можно достичь уменьшения трудоемкости обслуживания, повышения надежности функционирования трамвайного вагона и соответственно уменьшения уровня материальных затрат. В работах [6, 7] рассмотрены строение, принцип работы барабанно-колодочного тормоза трамвая, разработаны математические модели и предложены структуры устройств для его диагностирования. Но данные разработки требуют дальнейшего развития в частности из-за

отсутствия возможности определения уровня износа тормозных накладок в любой момент времени эксплуатации и зазоров износа механического приводного тракта (рычаги и коромысла) барабанно-колодочного тормоза трамвая.

Постановка задачи исследования

Целью статьи является повышение надежности работы функциональных узлов барабанно-колодочного тормоза. Для достижения цели необходимо разработать математическую и компьютерную модели. На их основе построить структурную схему устройства для диагностирования, которая в отличие от известных [5, 6] должны обеспечить возможность определения уровня износа тормозных накладок и механического приводного тракта, который находится в тяжелых условиях эксплуатации, зависящих от климатических условий.

Основные материалы исследования

Для избежания аварийных случаев неконтролируемого движения вагона, в приводе барабанно-колодочного тормоза для создания тормозного усилия используется пружина с коэффициентом упругости k (рисунок 1) [8]. Таким образом, исходное состояние системы является состоянием торможения, в котором усилие от пружины с помощью штока, рычагов и роликов, передается на тормозные накладки. Для растормаживания системы в приводе барабанно-колодочного тормоза встроен соленоид с подвижным сердечником, который, двигаясь по направляющим, сжимает пружину и соответственно растормаживает систему. Конструкция привода тормоза, которая используется на трамвайных вагонах и описана выше предусматривает остановку вагона при исчезновении напряжения сети на маршруте. А движение трамвайного вагона возможно лишь при наличии напряжения питания, и процесс торможения можно описать системой уравнений 1, в которой первое уравнение описывает динамику перемещения штока, второе уравнение статику (заторможенное состояние), а в третьем показано приведение силы торможения, созданной штоком к силе трения-торможения.

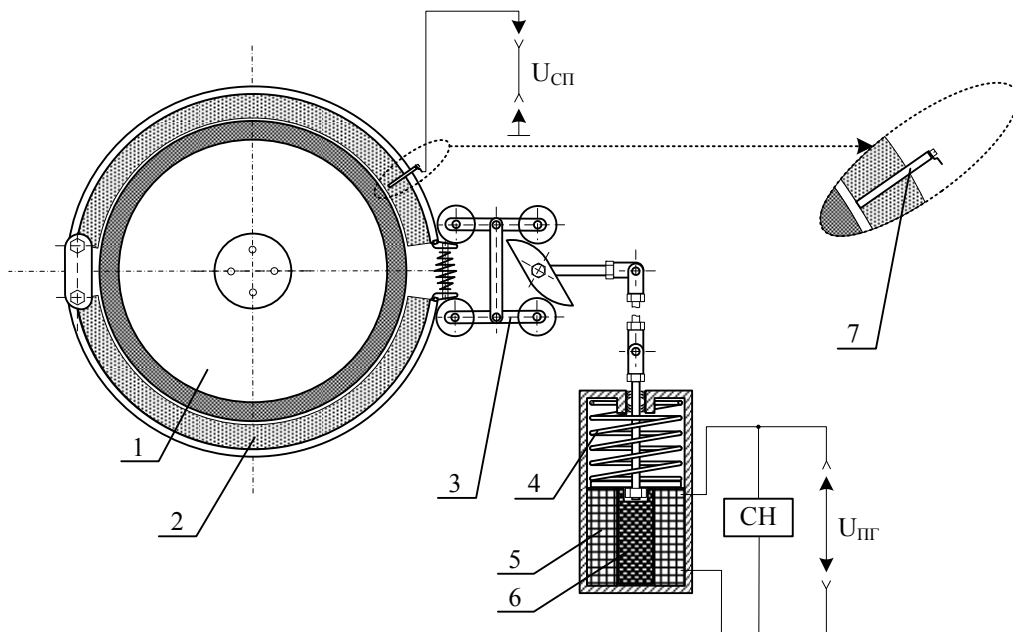


Рис. 1. Строение барабанно-колодочного тормоза трамвая с электромагнитным приводом: 1 – тормозной барабан, 2 – тормозная накладка, 3 – механизм привода торможения, 4 – тормозная пружина, 5 – катушка тормозного соленоида, 6 – приводной сердечник соленоида, 7 – стержень из легкого сплава (диаметр 3 – 6мм)

$$\begin{cases} \vec{F}_{yn} + \vec{F}_{mp} = \vec{F}_p; \\ \vec{F}_{yn} + \vec{F}_m = 0; \\ \vec{F}_{mm} = \vec{F}_m \cdot \vec{S}, \end{cases} \quad (1)$$

где $\vec{F}_{yn}$ – вектор силы упругости пружины, $\vec{F}_{mp}$ – вектор силы трения, которая характеризует потери усилия, $\vec{F}_p$ – вектор равнодействующей силы, $\vec{F}_m$ – вектор силы торможения, которая создается штоком, $\vec{F}_{mm}$ – вектор силы трения торможения, $\vec{S}$ – вектор коэффициента приведения силы торможения к силе трения торможения.

Систему (1), учитывая некоторые положения и пренебрегая силами трения потерь, можно представить в виде следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} k \cdot x = m \cdot a; \\ k \cdot x = F_s; \\ F_{ms} = F_m \cdot S; \\ m = m_{um} + m_{nmn}, \end{cases} \quad (2)$$

где x – удлинение тормозной пружины, m_{um} – масса тормозного штока, m_{nmn} – приведенная масса тормозных приводов, m – сумма масс тормозного штока и приведенной массы тормозных приводов, a – ускорение тормозного штока.

$$\begin{cases} F_{mm} = k \cdot x \cdot S; \\ -\frac{m}{k} \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + x = 0; \\ x_0 = x_{cm}; \\ x_1 = x_{nk} + x_m + x_{zn}, \end{cases} \quad (3)$$

где x_0 – начальная координата штока при t_0 , x_{cm} – линейное сжатие пружины в расторможенном состоянии, t_l – время эквивалентное тормозной задержке, x_l – конечная координата штока (заторможенное состояние), x_{nk} – величина нормального зазора между тормозными накладками и барабаном, x_m – величина зазоров (износа) в рычагах, шарнирах, соединениях, x_{zn} – величина износа тормозных накладок.

Для исследования математической модели диагностирования барабанно-колодочного тормоза избран объектно-ориентированный пакет прикладных программ Matlab с его графическим инструментом визуализации Simulink. В указанной среде разработана компьютерная модель, которая представлена на рисунке 2. С помощью блоков Gain-gain2, Integrator-integrator5 реализовано дифференциальное уравнение системы уравнений (3)

$\frac{m}{k} = 0,328$. Блоки Gain-gain2 задают коэффициент около производной старшего порядка дифференциального уравнения системы (3). Начальные условия блоков Integrator-Integrator5 – (скорость в начальный момент равна нулю), $x_0 = 0,08$ м (отметка, к которой пружина сжимается в расторможенном состоянии). Для проверки работы компьютерной модели зададимся частными случаями, в которых время задержки срабатывания $t_1=0,4$ с; $t_1=0,42$ с; $t_1=0,45$ с. На рисунке 3 изображен график удлинения пружины, характеризующий суммарный зазор, вызванный износом шарниров, рычагов, коромысел и тормозных накладок барабанно-колодочного тормоза в отдельных случаях.

Устройство для реализации приведенной выше математической модели можно выполнить с применением серийных стандартных элементов, которые выпускаются промышленностью. Структура устройства для диагностирования барабанно-колодочного тормоза трамвая изображена на рисунке 4, где 1 – сенсор прижатия тормозных колодок, 2 – сенсор напряжения привода тормоза, 3, 4 – первый и второй пороговые элементы, 5 – генератор импульсов, 6, 7 – первый и второй элементы ИЛИ-НЕТ, 8 – элемент И, 9, 10 – первый и второй одновибраторы, 11 – счетчик импульсов, 12 – регистр, 13 – функциональный преобразователь, 14 – дешифратор, 15 – цифровой индикатор.

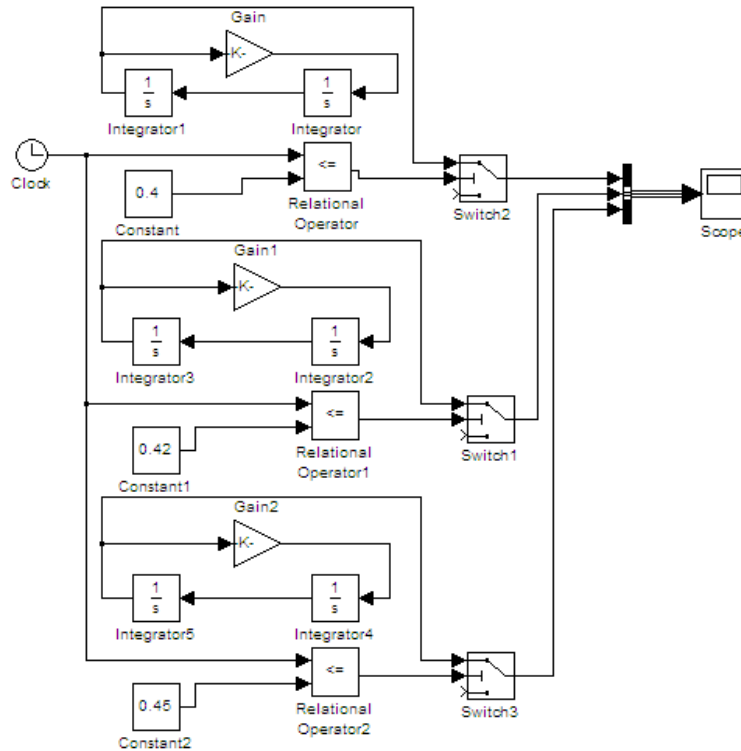


Рис. 2. Компьютерная модель для диагностирования барабанно-колодочного тормоза

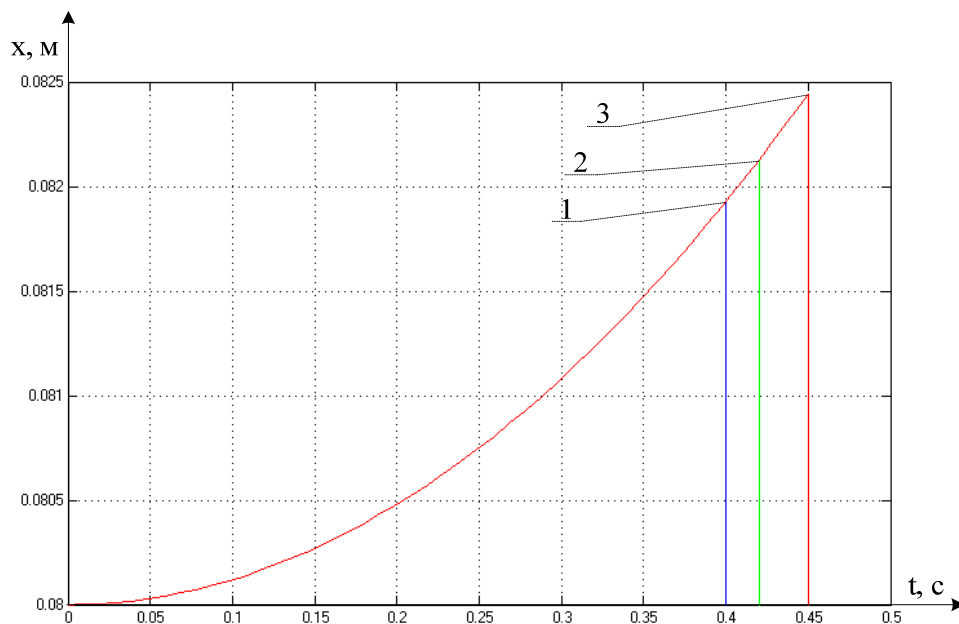


Рис. 3. График удлинения пружины привода тормоза при времени срабатывания: 1) $t_1=0,4\text{с}$, 2) $t_1=0,42\text{с}$, 3) $t_1=0,45\text{с}$

Сенсор прижатия выполнен в виде стержня из легкого сплава вставленного в тормозную накладку на одном уровне с ее тормозной поверхностью, под задержкой торможения понимается опоздание прижатия тормозных колодок к тормозному барабану, что вызвано нормальным зазором между тормозными накладками и тормозным барабаном, зазором, приобретенным в результате износа тормозных накладок, и износом в шарнирах механического тракта тормозного механизма. Количество сегментов индикатора не меньше четырех.

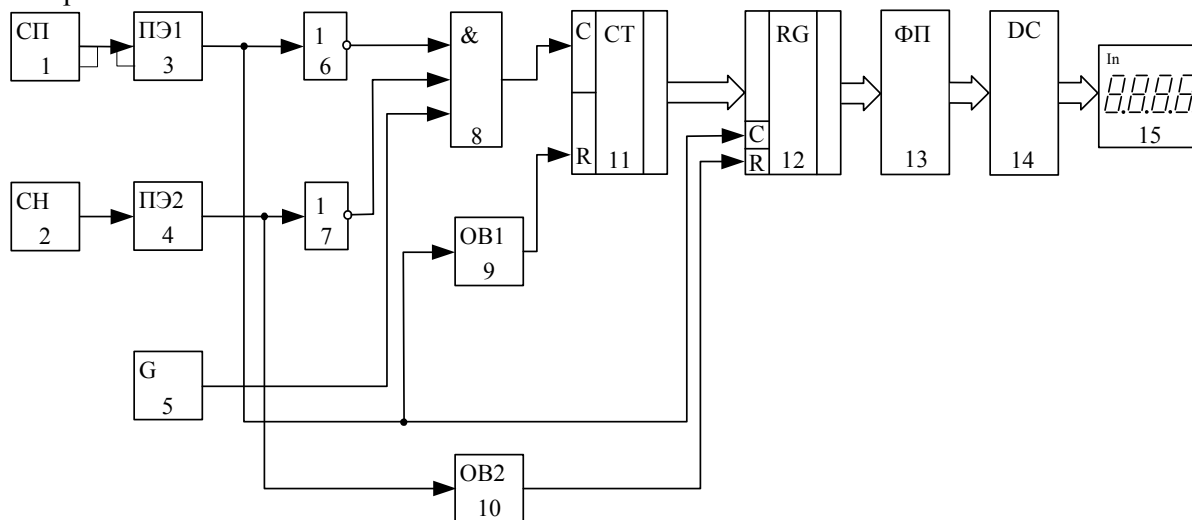


Рис. 4. Структура устройства для диагностирования барабанно-колодочного тормоза

Предложенное устройство работает следующим образом: при подаче напряжения питания на схему генератор импульсов 5 начинает генерировать импульсы с достаточно малым периодом, который в основном будет характеризовать погрешность работы устройства.

При затормаживании трамвайного вагона из привода тормоза снимается напряжение, которое контролируется сенсором напряжения привода тормоза 2, на его выходе исчезает сигнал, в результате чего на выходе элемента ИЛИ-НЕТ 6 появляется сигнал логической единицы. Поскольку между появлением сигнала торможения и сжатием тормозных накладок проходит определенный интервал времени, который характеризует числовую задержку торможения, то на выходе сенсора прижатия тормозных накладок 2 отсутствует сигнал, следовательно на выходе элемента ИЛИ-НЕТ 6 присутствует сигнал логической единицы. В результате чего импульсы из генератора 5 проходят через логический элемент 8 И на инкрементный вход счетчика 11, который станет их подсчитывать.

При прижатии тормозной накладки к тормозному барабану на выходе 1 сенсора прижатия тормозной накладки появляется сигнал, который поступает на вход порогового элемента. Из выхода порогового элемента 3 сигнал логической единицы поступает на вход разрешения записи регистра 12, на вход ИЛИ-НЕТ 6 и на вход одновибратора 9, из выхода которого через определенный промежуток времени поступает сигнал на вход сброса счетчика. На выходе элемента ИЛИ-НЕТ 6 появится сигнал логического нуля, в результате чего импульсы из генератора 5 перестанут поступать на инкрементный вход счетчика. Из исходной цифровой шины счетчика 11 сигнал, который характеризует числовую задержку торможения поступает на входную цифровую шину регистра 12, где запоминается. Из исходной цифровой шины регистра сигнал поступает на входную цифровую шину функционального преобразователя 13, где в соответствии с начальными условиями решается дифференциальное уравнение системы уравнений 3, из исходной цифровой шины информация о параметре зазора и износа тормозных накладок и тормозного механического тракта поступает на входную цифровую шину дешифратора 14, из исходной цифровой шины сигнал, приемлемый для отображения на цифровом индикаторе, поступает на вход цифрового индикатора 15, на котором отображается цифровая задержка торможения.

Для начала движения вагона на привод тормоза подается напряжение, которое растормаживает барабанно-колодочный тормоз, в результате чего на выходе сенсора напряжения появляется сигнал, который поступает на вход порогового элемента, из выхода порогового элемента сигнал логической единицы поступает на вход элемента ИЛИ-НЕТ 7 и на вход одновибратора 10, из выхода которого сигнал с задержкой времени поступает на вход сброса регистра 12 и сбрасывает его. При следующем торможении работа схемы повторяется.

Выводы

1. Разработана математическая модель для диагностирования барабанно-колодочного тормоза трамвая, которая в отличие от существующих позволяет измерять уровень износа тормозных накладок и приобретенных в процессе работы системы зазоров в механических рычагах и шарнирах.
2. Предложена структурная схема устройства для диагностирования барабанно-колодочного тормоза трамвая, которая реализует разработанную математическую модель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веклич В. Ф. Диагностика технического состояния троллейбусов / В. Ф. Веклич. – М.: Транспорт, 1990. – 295 с.
2. Мокін Б. І. Математична модель функціонування прискорювача трамвая / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2003. – № 6. – С. 72 – 76.
3. Мокін Б. І. Синтез структури системи для діагностування прискорювача трамвая / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2004. – № 1. – С. 41 – 45.
4. Розводюк М. П. Математична модель та структура пристрою для технічного діагностування прискорювача трамвая / М. П. Розводюк, Ю. В. Шевчук, М. А. Солонінко // Вісник Кременчуцького державного технічного університету імені Михайла Остроградського. – 2010. – № 4/3. – С. 130 – 133.
5. Грабко В. В. Синтез структури пристрою для технічного діагностування прискорювача трамвая / В. В. Грабко, Ю. В. Шевчук, В. П. Базалицький, М. А. Солонінко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2010. – №28. – С. 423 – 425.
6. Пат 17392 А1 Україна МПК⁸ В60Т17/22. Пристрій для контролю зношення гальмівних накладок / Мокін Б. І., Грабко В. В., Розводюк М. П., Шевчук Ю. В.; Заявник та патентовласник Вінницький національний технічний університет. – № u200604094; заявл. 13.04.2006; опубл. 15.09.2006, Бюл. № 9.
7. Мокін Б. І. Математична модель та мікроконтролерний пристрій для діагностування барабанно-колодочного гальма трамвая / Б. І. Мокін, М. П. Розводюк, Ю. В. Шевчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2006. – №6. – С. 97 – 99.
8. Иванов М. Д. Устройство и эксплуатация трамвая. / М. Д. Иванов, А. П. Алпаткин, Б. К. Иерпольский – ВШ, 1985. – 264 с.

Шевчук Юрий Владимирович – аспирант кафедры электромеханических систем автоматизации в промышленности и на транспорте.

Винницкий национальный технический университет.