

Ю. В. Шевчук

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА СТРУКТУРА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ БАРАБАННО-КОЛОДКОВОГО ГАЛЬМА ТРАМВАЯ

Розроблено математичну модель для діагностування барабанно-колодкового гальма трамвая, в якій спрацювання гальмівних накладок та проміжки в шарнірах і важелях виражаються через затримку часу між подачею сигналу на привід гальма та початком гальмування з врахуванням особливостей функціонування цієї системи трамвая та запропоновано структурну схему пристрою для реалізації математичної моделі.

Ключові слова: діагностування, барабанно-колодкове гальмо, зношення гальмівних накладок.

Постановка проблеми

Система ремонтів трамваїв за міжремонтним пробігом, заснована на середньостатистичних оцінках технічного стану сукупності машин, яка застосовується в більшості трамвайних депо, на сьогоднішній день не задовольняє сучасним вимогам ні за рівнем надійності трамваїв на маршруті, ні за рівнем матеріально-технічних затрат.

Сучасний трамвай – це сукупність механічних, електромеханічних, пневматичних, гідравлічних, електронних та інших вузлів та систем, які під час роботи зазнають найрізноманітніших фізико-хімічних впливів різного характеру та рівня навантажень. Внаслідок ремонтів вузлів та систем по проходженню міжремонтного пробігу на трамваї утворюються системи, які складаються із сукупності деталей з різним залишковим робочим ресурсом. Це призводить до того, що в умовах випадкового характеру навантажень того чи іншого агрегату частина деталей замінюється достроково, а частина замінюється в міжремонтному періоді в результаті відмови. Коли мова йде про вузли та системи, які відповідають за гальмування та зупинку вагона, а отже за безпеку та збереження життя пасажирів, то останній варіант є недопустимим.

Надійність та ефективність гальмівної системи трамвая безпосередньо впливає на такі важливі показники якості пасажирських перевезень як безпека, швидкість, комфортабельність та економічність. Хоча частка дорожньо-транспортних пригод зумовлених відмовою гальмівної системи, незначна, проте ці відмови призводять до значних матеріальних збитків, а іноді і людських жертв. Крім того, аналіз показує, що деяких дорожньо-транспортних пригод можна було б уникнути завдяки більш ефективній дії гальмівних систем (меншому гальмівному шляху).

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Раніше проводились дослідження з розробки пристроїв для діагностування функціональних вузлів та систем трамвая з метою підвищення надійності їх функціонування та вимірювання рівня зносу частин, які визначають періодичність планово-попереджувальних ремонтів [1, 2, 3, 4, 5]. Таким чином, можна досягнути зменшення трудомісткості обслуговування, підвищення надійності функціонування трамвайного вагона та відповідно зменшення рівня матеріальних затрат. У роботах [6, 7] розглянуто будову, принцип роботи барабанно-колодкового гальма трамвая, розроблено математичні моделі та запропоновано структури пристроїв для його діагностування. Але ці розробки потребують подальшого розвитку, зокрема через відсутність можливості визначення рівня зносу гальмівних накладок у будь-який момент часу експлуатації та зазорів спрацювання механічного привідного тракту (важелі та коромисла) барабанно-колодкового гальма

трамвая.

Постановка задачі дослідження

Метою статті є підвищення надійності роботи функціональних вузлів барабанно-колодкового гальма. Для досягнення мети необхідно розробити математичну та комп'ютерну моделі. На їх основі побудувати структурну схему пристрою для діагностування, яка на відміну від відомих [5, 6] повинна забезпечити можливість визначення рівня спрацювання гальмівних накладок та рівня спрацювання механічного привідного тракту, який знаходиться у важких умовах експлуатації, що залежать від кліматичних умов.

Основні матеріали досліджень

Для уникання аварійних випадків неконтрольованого руху вагона, в приводі барабанно-колодкового гальма для створення гальмівного зусилля використовується пружина із коефіцієнтом пружності k (рисунок 1) [8]. Таким чином, вихідний стан системи – це стан гальмування, в якому зусилля від пружини за допомогою штока, важелів та роликів передається на гальмівні накладки. Для розгальмовування системи в приводі барабанно-колодкового гальма вбудований соленоїд із рухомим сердечником, який, рухаючись по направляючих, стискає пружину та відповідно розгальмовує систему. Конструкція приводу гальма, що використовується на трамвайних вагонах та описана вище, передбачає зупинку вагона при зникненні напруги мережі на маршруті. Рух трамвайного вагона можливий лише при наявності напруги живлення, а процес гальмування можна описати системою рівнянь (1), в якій перше рівняння описує динаміку переміщення штока, друге рівняння статику (загальмований стан), а в третьому показано приведення сили гальмування, створеної штоком, до сили тертя-гальмування.

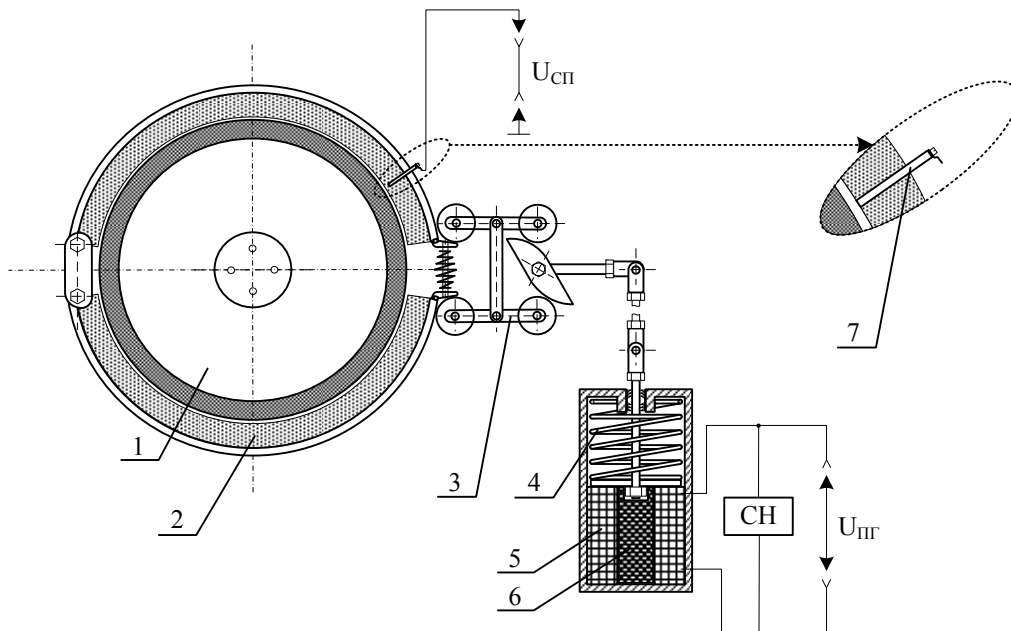


Рис. 1. Будова барабанно-колодкового гальма трамвая з електромагнітним приводом: 1 – гальмівний барабан, 2 – гальмівна накладка, 3 – механізм приводу гальмування, 4 – гальмівна пружина, 5 – котушка гальмівного соленоїда, 6 – привідний сердечник соленоїда, 7 – легкосплавний стрижень (діаметр 3 – 6 мм)

$$\begin{cases} \vec{F}_{np} + \vec{F}_{mp} = \vec{F}_p; \\ \vec{F}_{np} + \vec{F}_z = 0; \\ \vec{F}_{mz} = \vec{F}_z \cdot \vec{S}, \end{cases} \quad (1)$$

де \vec{F}_{np} – вектор сили пружності пружини, \vec{F}_{mp} – вектор сили тертя, яка характеризує втрати зусилля, \vec{F}_p – вектор рівнодійної сили, \vec{F}_z – вектор сили гальмування, що створюється штоком, \vec{F}_{mz} – вектор сили тертя гальмування, \vec{S} – вектор коефіцієнта приведення сили гальмування до сили тертя гальмування.

Систему (1), враховуючи деякі положення та знехтувавши силами тертя втрат, можна переписати у вигляді наступної системи рівнянь:

$$\begin{cases} k \cdot x = m \cdot a; \\ k \cdot x = F_z; \\ F_{mz} = F_z \cdot S; \\ m = m_{um} + m_{nen}, \end{cases} \quad (2)$$

де x – видовження гальмівної пружини, m_{um} – маса гальмівного штока, m_{nen} – приведена маса гальмівних приводів, m – сума мас гальмівного штока та приведеної маси гальмівних приводів, a – прискорення гальмівного штока.

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

де x_0 – початкова координата штока при t_0 , x_{cm} – лінійне стискання пружини в розгальмованому стані, t_1 – час, еквівалентний гальмівній затримці, x_1 – кінцева координата штока (загальмований стан), x_{nk} – величина нормального зазору між гальмівними накладками та барабаном, x_m – величина зазорів (знос) у важелях, шарнірах, з'єднаннях, x_{zn} – величина зносу гальмівних накладок.

У дослідженні математичної моделі для діагностування барабанно-колодкового гальма обрано об'єктно-орієнтований пакет прикладних програм *Matlab* з його графічним інструментом візуалізації *Simulink*. У вказаному середовищі розроблено комп'ютерну модель, яка представлена на рисунку 2. За допомогою блоків Gain-Gain2, Integrator-Integrator5 реалізовано диференціальне рівняння системи рівнянь (3). Блоки Gain-Gain2 задають коефіцієнт біля похідної старшого порядку диференціального рівняння системи (3) $\frac{m}{k} = 0,328$. Початкові умови блоків Integrator-Integrator5 – $x'(0) = 0$ (швидкість у початковий момент рівна нулю), $x(0) = 0,08$ м (відмітка, до якої пружина стискається в розгальмованому стані). Для перевірки роботи комп'ютерної моделі задамо окремими випадками, у яких час затримки спрацювання $t_1=0,4$ с; $t_1=0,42$ с; $t_1=0,45$ с. На рисунку 3 відображено графік видовження пружини, який характеризує сумарний проміжок викликаний спрацюванням шарнірів, важелів, коромисел та гальмівних накладок барабанно-колодкового гальма у окремих випадках.

Пристрій для реалізації наведеної вище математичної моделі можна виконати із застосуванням серійних стандартних елементів, що випускаються промисловістю. Структура пристрою для діагностування барабанно-колодкового гальма трамвая зображена на рисунку 4, де 1 – сенсор притискання гальмівних колодок, 2 – сенсор напруги привода гальма, 3, 4 – перший та другий порогові елементи, 5 – генератор імпульсів, 6, 7 – перший та другий елементи АБО-НІ, 8 – елемент І, 9, 10 – перший та другий одновібратори, 11 – лічильник імпульсів, 12 – реєстр, 13 – функціональний перетворювач, 14 – дешифратор, 15 – цифровий індикатор.

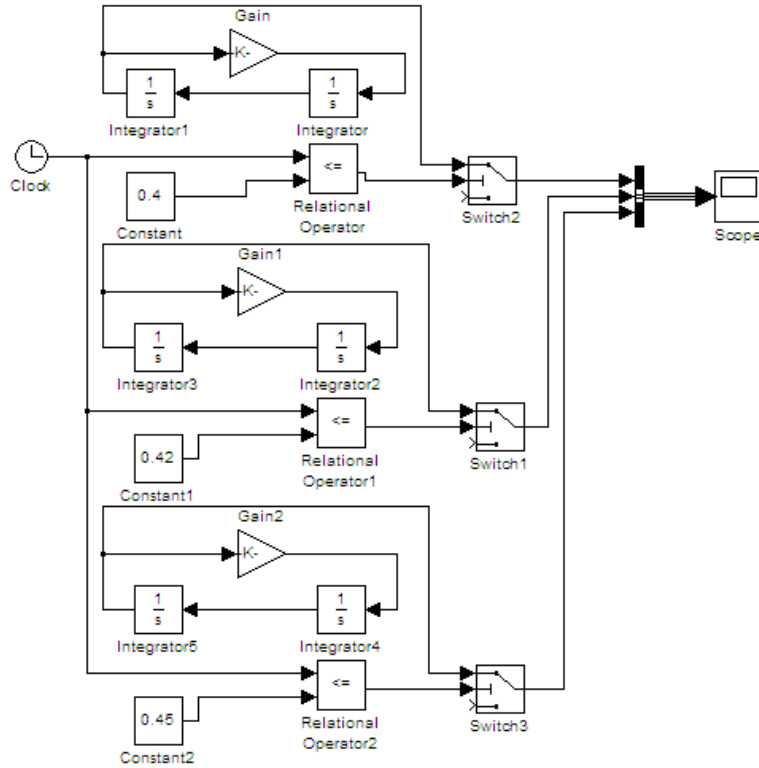


Рис. 2. Комп'ютерна модель для діагностування барабанно-колодкового гальма

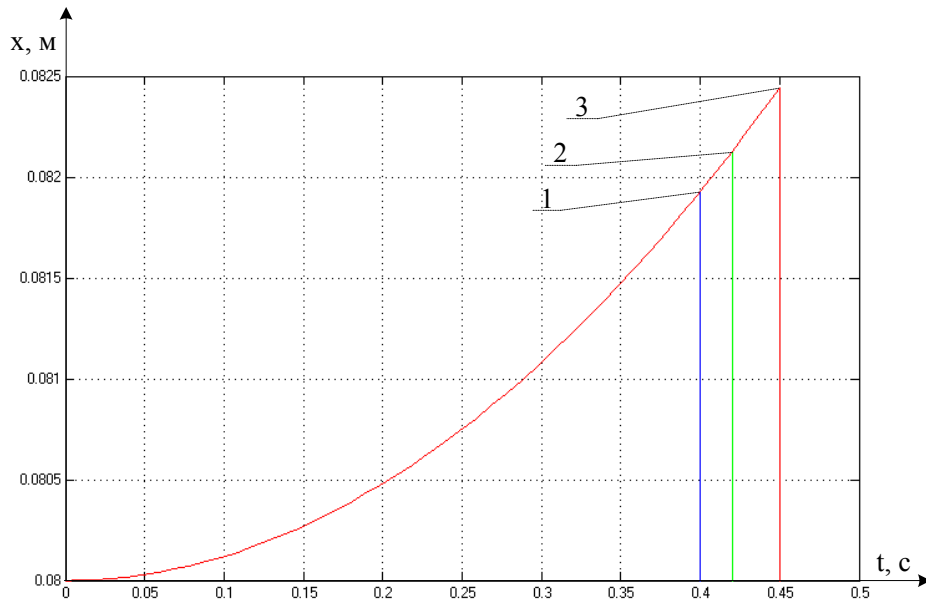


Рис. 3. Графік видовження пружини привода гальма при часі спрацювання: 1) $t_1=0,4\text{c}$, 2) $t_1=0,42\text{c}$, 3) $t_1=0,45\text{c}$

Сенсор притискання виконаний у вигляді легкосплавного стержня, вставленого у гальмівну накладку на одному рівні із її гальмівною поверхнею, під затримкою гальмування мається на увазі запізнення притискання гальмівних колодок до гальмівного барабана, зумовлене нормальним проміжком між гальмівними накладками та гальмівним барабаном, проміжком, набутим в результаті зносу гальмівних накладок, та спрацюванням у шарнірах механічного тракту гальмівного механізму. Кількість сегментів індикатора не менша чотирьох.

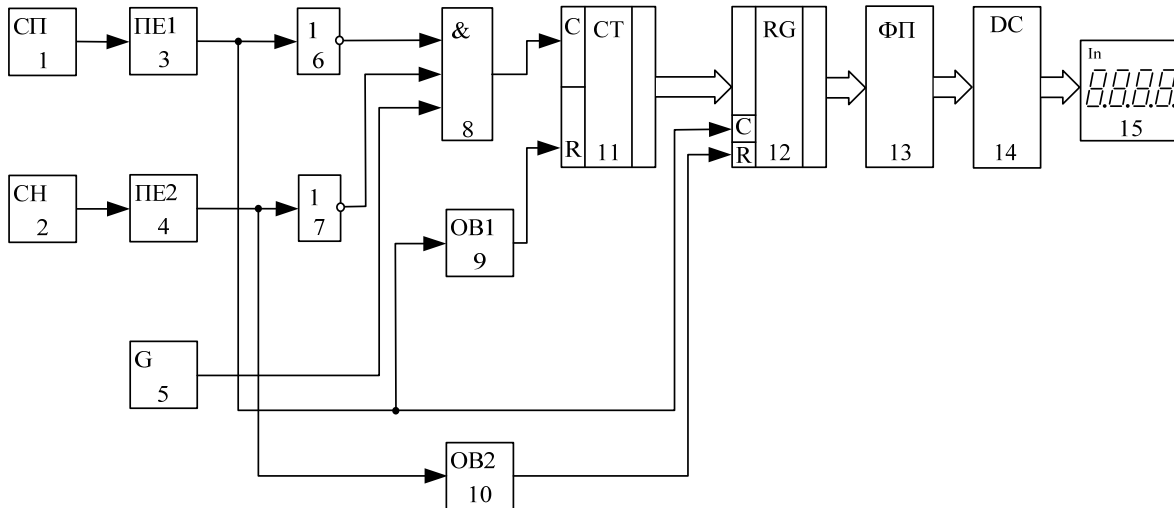


Рис. 4. Структура пристрою для діагностування барабанно-колодкового гальма трамвая

Запропонований пристрій працює так. При подачі напруги живлення на схему генератор імпульсів 5 починає генерувати імпульси із достатньо малим періодом, який в основному буде характеризувати похибку роботи пристрою.

При загальмовуванні трамвайного вагона із привода гальма знімається напруга, яка контролюється сенсором напруги привода гальма 2, на виході порогового елемента 4 зникає сигнал логічної одиниці, внаслідок чого на виході елемента АБО-НІ 6 з'являється сигнал логічної одиниці. Оскільки між поданням сигналу гальмування та стисканням гальмівних накладок проходить певний інтервал часу, який характеризує числову затримку гальмування, то на виході сенсора притискання гальмівних накладок 2 відсутній сигнал, отже на виході елемента АБО-НІ 6 присутній сигнал логічної одиниці. В результаті чого імпульси з генератора 5 проходять через логічний елемент 8 і на інкрементний вхід лічильника 11, який почне їх підраховувати.

При притисканні гальмівної накладки до гальмівного барабана на виході 1 сенсора притискання гальмівної накладки з'являється сигнал, що поступає на вхід порогового елемента. З виходу порогового елемента 3 сигнал логічної одиниці поступає на вхід дозволу запису регістра 12, на вхід АБО-НІ 6 та на вхід одновібратора 9, з виходу якого через певний проміжок часу надходить сигнал на вхід скиду лічильника. На виході елемента АБО-НІ 6, з'явиться сигнал логічного нуля, внаслідок чого імпульси з генератора 5 перестануть надходити на інкрементний вхід лічильника. З вихідної цифрової шини лічильника 11 сигнал, який характеризує числову затримку гальмування, поступає на вхідну цифрову шину регістра 12, де запам'ятовується. З вихідної цифрової шини регістра сигнал поступає на вхідну цифрову шину функціонального перетворювача 13, де відповідно до початкових умов розв'язується диференціальне рівняння системи рівнянь 3, з вихідної цифрової шини інформація про параметр проміжку та зносу гальмівних накладок та гальмівного механічного тракту поступає на вхідну цифрову шину дешифратора 14, з вихідної цифрової шини сигнал, прийнятний для відображення на цифровому індикаторі, поступає на вхід цифрового індикатора 15, на якому відображається числова затримка гальмування.

Для початку руху вагона на привід гальма подається напруга привода гальма, яка

Наукові праці ВНТУ, 2011, № 1

розгальмовує барабанно-колодкове гальмо, внаслідок чого на виході сенсора напруги з'являється сигнал, який поступає на вхід порогового елемента, з виходу порогового елемента сигнал логічної одиниці поступає на вхід елемента АБО-НІ 7 та на вхід одновібратора 10, з виходу якого сигнал з затримкою часу надходить на вхід скиду регістра 12 і скидає його. При наступному гальмуванні робота схеми повторюється.

Висновки

1. Розроблена математична та комп'ютерна модель для діагностування барабанно-колодкового гальма трамвая, яка на відміну від існуючих дозволяє визначати величину зносу гальмівних накладок та набутих у процесі роботи системи проміжків у механічних важелях та шарнірах.

2. Запропоновано структурну схему пристрою для діагностування барабанно-колодкового гальма трамвая, яка реалізує розроблену математичну модель.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

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. Базилицький, 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-колодкового 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 Юрій Володимирович – аспірант кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості та на транспорті.

Вінницький національний технічний університет.