

Для діагностування параметрів гальмівної системи окремого вагона та состава поїзда розроблено математичну модель, яка впроваджена в алгоритм роботи програмно-апаратного комплексу. Вона дозволяє імітувати роботу працездатного гальмівного обладнання та виявляти з високою достовірністю діагностичні ознаки технічного стану пневматичної системи пасажирських вагонів

Ключові слова: пасажирський вагон, діагностична станція, датчик, гальмове обладнання, математична модель, випробувальний стенд, тиск повітря

Для диагностики параметров тормозной системы отдельного вагона и состава поезда разработана математическая модель, которая внедрена в алгоритм работы программно-апаратного комплекса. Она позволяет имитировать работу трудоспособного тормозного оборудования и выявлять с высокой достоверностью диагностические признаки технического состояния пневматической системы пассажирских вагонов

Ключевые слова: пассажирский вагон, диагностическая станция, датчик, тормозное оборудование, математическая модель, испытательный стенд, давление воздуха

РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОЇ ДІАГНОСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ ГАЛЬМ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

В. Г. Равлюк

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: ravvg@ukr.net

Я. В. Дерев'янчук

Асистент*

E-mail: slavad2@i.ua

І. М. Афанасенко

Старший викладач*

E-mail: afanassenkoi@rambler.ru

М. Г. Равлюк

Старший викладач*

*Кафедра вагонів

Український державний університет

залізничного транспорту

пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050

1. Вступ

Основні завдання залізниці – це пропускну та провізна спроможність, швидкість руху та вага поїздів, що обертаються, – визначають вимоги до гальмівних систем і залежать від рівня технічних характеристик гальм.

Стан гальмівного обладнання пасажирських вагонів не відповідає необхідним експлуатаційним вимогам, тому на його ремонт і усунення дефектів, що викликані несправною роботою гальм, витрачаються великі кошти. Як показує досвід експлуатації, основна частина витрат на утримання пасажирського господарства припадає на обробку та закупівлю колісних пар, а аналіз причин, за якими бракуються колісні пари, які потрапляють на обточування, виявив, що найчастіше їх бракують через повзуни, навари, вищербини, які зазвичай з'являються внаслідок неправильної роботи гальмової системи пасажирського рухомого складу. Крім цього, тріщини на дисках коліс, перегріву букс спостерігаються, в основному, на колесах, що мають нерівномірний прокат, який є також наслідком несправностей у гальмівній системі, що викликає необхідність проводити дослідження з діагностування технічного стану гальмівного обладнання пасажирського рухомого складу.

2. Аналіз попередніх досліджень та постановка проблеми

Однією з найважливіших умов забезпечення безпеки залізничних перевезень є широке впровадження засобів технічного діагностування гальмової системи пасажирських вагонів на шляху прямування та підготовки їх до рейсу. Тому виникає необхідність виконання ретельного аналізу для широкого впровадження засобів технічного діагностування, що дозволить підвищити інтенсивність використання пасажирських вагонів, полегшить важку і небезпечну працю робітникам, які здійснюють контроль за процесом експлуатації вагонів.

Питанням діагностування вузлів рухомого складу, а зокрема електропневматичних гальм присвячено багато наукових праць. У статті [1] запропоновано адаптивний закон керування електропневматичними гальмами (ЕПГ), що дозволяє при нестачі апріорної інформації про об'єкт управління реалізувати вимоги, які запропоновані до системи автоматизованого управління ЕПГ.

Передумови широкого впровадження пневматичних гальм з електронним керуванням на залізничному рухомому складі замість звичайних пневматичних очевидні та описані у роботі [2], дозволили скоротити

на 5–15 % витрати палива на тягу поїздів, збільшити на 20 % пропускну здатність вантажонапружених ліній, поліпшити керуваність поїздів, підвищити швидкість і безпеку руху, зменшити діючі в складі поїздів поздовжні навантаження.

У методиці [3] для автоматичних стендів застосовано підхід до гальмівного приладу як до сукупності пневматичних вузлів, що знаходяться в певній залежності один від одного. Перевірка головних і магістральних частин здійснюється окремо, за спеціально розробленими програмами, «еталонну» частину замінено високоточною електронною моделлю. Такий підхід дозволив конкретизувати місце несправності з точністю, що досягає однієї деталі або вузла.

Науковцями в праці [4] наведено підсумки гальмових випробувань пасажирських потягів, які обладнані чавунними та композиційними гальмовими колодками, вказані причини зниженої гальмової ефективності, а також наведені рекомендації щодо удосконалення норм та підвищення гальмової сили потягів.

При змішаному гальмуванні електропоїзд гальмується як електричними, так і фрикційними гальмами. У роботі [5] розглядалося питання про раціональному розподілі гальмівного зусилля електропоїзди між електричними і фрикційними гальмами. Він актуальний при вдосконаленні електропоїздів та розробці перспективного рухомого складу.

У праці [6] авторами розглянуто результати гальмівних випробувань електропоїзда виробництва ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» (Україна). Під час стаціонарних і ходових випробувань визначалися працездатність і ефективність гальмівних систем як окремих вагонів, так і гальмівної системи електропоїзда в цілому в порожньому та навантаженому стані. Отримані в ході проведених випробувань значення параметрів і характеристик гальмівної системи електропоїзда підтверджують їх відповідність технічному завданню та технічним вимогам.

У статті [7] розглядаються різні режими поздовжньо-динамічних зусиль, які передаються вздовж довжини поїзда при гальмуванні шляхом математичного моделювання. Результати моделювання порівнюються для того, щоб дати нове розуміння процесу гальмування у поїзді і дію на поздовжню динаміку поїзда.

Виконано моделювання теплових ефектів у роботі [8] є дуже важливим етапом у вивченні гальмівної системи рухомого складу, особливо залізничних транспортних засобів, в яких необхідно забезпечити гальмування великої ваги та довжини рухомого складу. В результаті тривалого гальмування на поверхні кочення виникають значні напруження та деформації, наслідком яких є поява тріщин на ободі колеса. Тому важливо точно визначити розподіл температури, яка викликана процесом перенесення тепла, що генерується під час гальмування.

Розглянуті авторами [9] методи динамічних випробувань вагонів у дослідних лабораторіях на каткових стендах дозволяють значно підвищити достовірність результатів діагностування, створити надійну та конкурентоздатну продукцію залізничного транспорту.

Автором у роботі [10] описано особливості бездротових електропневматичних гальм, що дають ряд істотних переваг в порівнянні з традиційними пневма-

тичними гальмами, які використовуються у вантажних поїздах підвищеної маси і довжини.

Із аналізу попередніх досліджень можна зробити висновок про недостатнє висвітлення питань, що пов'язані з системою діагностування та контролю гальм пасажирських поїздів на шляху його прямування або при зупинках на станціях.

3. Мета та задачі дослідження

Мета дослідження – перевірка достовірності діагностичної інформації, яка отримана за допомогою розробленої електронної діагностичної системи гальм вагонів (ДСГВ) для контролю заданих параметрів гальмового обладнання пасажирських вагонів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- сформулювати метод математичного моделювання гальмівного обладнання пасажирського вагона;
- для діагностування роботи гальмівного обладнання розробити діагностичну систему ДСГВ, яка дозволить під час експлуатації пасажирського вагона підвищити достовірність і візуалізацію сприйняття результатів діагностування;
- провести імітаційні експерименти та визначити параметри роботи гальмової системи пасажирського вагона за допомогою розробленої електронної діагностичної системи гальм вагонів ДСГВ;
- виконати перевірку адекватності запропонованої моделі для контролю роботи гальмівного обладнання пасажирських вагонів порівнюючи теоретичні та експериментальні дані шляхом застосування методів кореляційного аналізу та оцінки адекватності моделі.

4. Математична модель роботи гальмівного обладнання пасажирських вагонів

Для діагностування стану гальм кожного вагона окремо та состава поїзда в цілому була розроблена математична модель роботи справного гальмівного обладнання, а також циклу порівняння розрахункових даних з експериментальними.

У загальному випадку математична модель [3, 12] типового пневматичного гальмового обладнання пасажирського рухомого складу включає в себе рівняння руху виконавчого органа й рівняння зміни тиску в порожнині нагнітання.

Відмінність математичних моделей пневмосистем є, як правило, в описі витратної функції, що характеризує зміну витрати в робочих порожнинах гальмівних приладів пасажирського рухомого складу в залежності від перепаду тиску у трубопроводі: ізотермічний (коли за рахунок теплообміну із навколишнім середовищем й внутрішнього тертя повітря його температура залишається постійною) чи адіабатичний (коли нехтують теплообміном повітря із навколишнім середовищем й внутрішнім тертям повітря) [12, 13].

Реальний процес течії повітря в трубопроводах гальмової магістралі пасажирського рухомого складу носить політропний характер. Обчислення показника політропи залежить від багатьох факторів і доволі

складне. Тому, для спрощення розрахунків, приймають процес течії адиабатичним чи ізотермічним.

Для розрахунку витрати повітря у випадку теплоізованого (адиабатичного) потоку використовують математичну модель на основі формули Сен-Венана і Ванцеля. Залежність для розрахунків масової витрати G має вигляд:

$$G = \mu \cdot f \cdot P_B \sqrt{\frac{2k}{(k-1) \cdot R \cdot T_M} \left[\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{\frac{k+1}{k}} \right]}, \quad (1)$$

де G – масова витрата повітря, кг/с; μ – коефіцієнт витрати повітря; f – площа поперечного перетину дросельного отвору, м²; k – показник адиабати; $\sigma = P_n/P_B$ – величина відносного тиску; P_B – абсолютний тиск на вході дроселя, МПа; P_n – абсолютний тиск після дроселя, МПа; T_M – температура повітря у магістралі, К; R – універсальна газова стала.

Під коефіцієнтом витрати μ приймаємо добуток коефіцієнта швидкості, що враховує втрати на тертя та коефіцієнта стиснення, що враховує зменшення поперечного перетину струменя при витіканні. Однак на практиці під коефіцієнтом витрати розуміють відношення дійсної витрати при витіканні до теоретичної. Таким чином, за допомогою коефіцієнта витрати враховується багато факторів, що не завжди піддаються точному розрахунку.

Якщо побудувати графік зміни витрати від величини відносного тиску, то він буде мати вигляд, який наведено на рис. 1. Він показує, що зменшення тиску повітря P_n на виході від максимального значення P_B , до деякої величини P^* , тобто зменшення відносного тиску σ від 1 до значення σ^* , призводить до збільшення масової витрати G . У точці σ^* витрата досягає максимального значення G_{\max} .

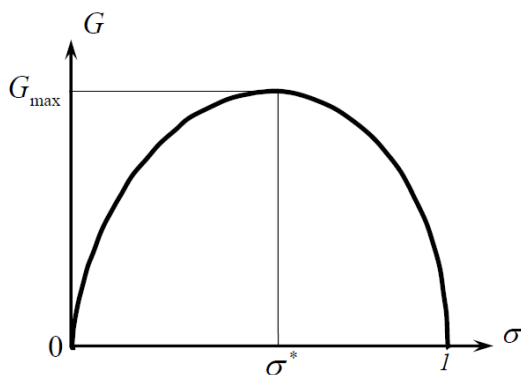


Рис. 1. Теоретичний графік зміни витрати повітря $G(\sigma)$

При подальшому зниженні тиску на виході витрата почне зменшуватися. Однак, зменшення витрати при збільшенні перепаду тисків, звичайно, не відповідає експериментальним даним. Експериментальні дослідження показують, що зменшення тиску на виході призводить до збільшення масової витрати до певної величини. Ця величина обмежена швидкістю течії повітря, яка в звичайних умовах не може бути вищою швидкості звука. При подальшому зменшенні тиску на виході масова витрата повітря не змінюється й залишається рівною своєму максимальному значенню G_{\max} . Запишемо рівняння (1) таким чином:

$$G = \mu \cdot f \cdot P_B \sqrt{\frac{2k}{(k-1) \cdot R \cdot T_M}} \cdot \sqrt{\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{\frac{k+1}{k}}} = \mu \cdot f \cdot P_B \sqrt{\frac{2k}{(k-1) \cdot R \cdot T_M}} \cdot \varphi(\sigma), \quad (2)$$

де $\varphi(\sigma)$ – витратна функція, яку можна записати у вигляді:

$$\varphi(\sigma) = \sqrt{\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{\frac{k+1}{k}}}. \quad (3)$$

Як бачимо з рівняння (2), характер зміни витрати на рис. 2 повністю визначається витратною функцією $\varphi(\sigma)$ (3).

Знайдемо максимальне значення витратної функції $\varphi(\sigma)$. Для цього визначимо величину відносного тиску σ^* , при якому функція $\varphi(\sigma^*)$ приймає максимальне значення.

Величину σ^* знайдемо з умови визначення екстремуму функції:

$$\frac{d\varphi(\sigma)}{d\sigma} = 0. \quad (4)$$

Диференціюючи (4), отримаємо:

$$\frac{d\varphi(\sigma)}{d\sigma} = \frac{\frac{2}{k} \cdot \sigma^{\frac{2-k}{k}} - \frac{k+1}{k} \cdot \sigma^{\frac{1}{k}}}{2\sqrt{\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{\frac{k+1}{k}}}} = 0, \quad (5)$$

звідси випливає:

$$\frac{2}{k} \sigma^{\frac{2-k}{k}} - \frac{k+1}{k} \sigma^{\frac{1}{k}} = 0. \quad (6)$$

Після нескладних перетворень знайдемо величину σ^*

$$\sigma^* = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}. \quad (7)$$

Підставляючи значення показника адиабати для повітря $k=1,41$, отримуємо $\sigma^*=0,528$.

Далі знайдемо максимальне значення витратної функції $\varphi(\sigma^*)$. Підставляючи $\sigma^*=0,528$ в рівняння (3), отримуємо:

$$\begin{aligned} \varphi(\sigma^*) &= \sqrt{\left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}} - \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}} = \\ &= \sqrt{\frac{k+1}{k-1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}}}. \end{aligned} \quad (8)$$

Для повітря при $k=1,41$ максимальне значення витратної функції $\varphi(\sigma^*)=0,259$. Відповідно, реальну витратну функцію необхідно обчислювати таким чином:

$$\varphi(\sigma) = \begin{cases} 0,259, & \text{якщо } \sigma \leq 0,528; \\ \sqrt{\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{*\frac{2}{k}}}, & \text{якщо } \sigma > 0,528. \end{cases} \quad (9)$$

Таким чином, графік зміни витратної функції буде мати вигляд рис. 2.

Процес течії повітря при $\sigma > 0,528$ називають докритичним (підкритичним). Якщо $\sigma \leq 0,528$, тоді процес називають закритичним (надкритичним).

Знайдемо максимальну величину витрати. Підставляючи (8) в рівняння (2), отримаємо:

$$G_{\max} = \mu \cdot f \cdot P_B \sqrt{\frac{k}{R \cdot T_M} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}. \quad (10)$$

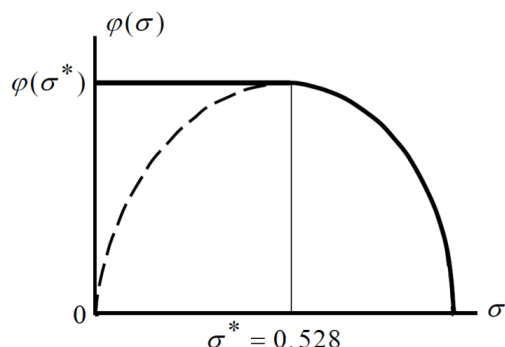


Рис. 2. Графік зміни витратної функції $\varphi(\sigma)$ при адіабатичній течії повітря

Отже, рівняння для обчислення масової витрати повітря при адіабатичній течії можемо записати у вигляді такої системи рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} G &= \mu \cdot f \cdot P_B \sqrt{\frac{2k}{(k-1)R \cdot T_M}} \varphi(\sigma); \\ \varphi(\sigma) &= \begin{cases} 0,259, & \text{якщо } \sigma \leq 0,528; \\ \sqrt{\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{*\frac{2}{k}}}, & \text{якщо } \sigma > 0,528. \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Ці рівняння для обчислення масової витрати повітря можна записати по-іншому:

$$G = \begin{cases} \mu \cdot f \cdot P_B \sqrt{\frac{k}{R \cdot T_M} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}, & \text{якщо } \sigma \leq 0,528; \\ \mu \cdot f \cdot P_B \sqrt{\frac{2k}{(k-1)R \cdot T_M}} \cdot \sqrt{\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{*\frac{2}{k}}}, & \text{якщо } \sigma > 0,528. \end{cases} \quad (12)$$

Необхідно мати на увазі, що об'ємна витрата повітря на відміну від витрати рідини залежить не тільки від відносного тиску, а й від рівня тиску на вході P_B [12].

Підставивши необхідні числові значення, отримаємо формулу для розрахунку масової витрати повітря на закритичному та докритичному режимах течії [13]:

$$G(t) = \begin{cases} 2,39 \cdot 10^{-3} \cdot \mu \cdot f \cdot P_B, & \text{якщо } \frac{P_H}{P_B} \leq 0,528; \\ 9,3 \cdot 10^{-3} \cdot \mu \cdot f \cdot P_B \cdot \sqrt{\left(\frac{P_H}{P_B}\right)^{1,43} - \left(\frac{P_H}{P_B}\right)^{1,71}}, & \text{якщо } \frac{P_H}{P_B} > 0,528. \end{cases} \quad (13)$$

Формула для розрахунку зміни тиску у резервуарі постійного об'єму отримана із характеристичного рівняння стану газів:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{R \cdot T}{V} G(t), \quad (14)$$

де P – тиск у резервуарі, МПа; V – об'єм резервуара, м³.

Зміна тиску у резервуарі буде залежати від витрати повітря, а також від кроку інтегрування. Отже, формула для визначення тиску у резервуарі матиме такий вигляд:

$$P(t) = \frac{R \cdot T}{V} \int_{t_1}^{t_2} G(t) dt. \quad (15)$$

Розв'язуючи диференційне рівняння методом Рунге-Кутта третього рівня за часом, отримуємо аналітичну залежність зміни тиску у гальмівному циліндрі пасажирського вагона при службовому гальмуванні.

5. Результати експериментального дослідження роботи гальмівного обладнання на діагностичній системі

Для діагностування параметрів гальмівного обладнання пасажирських вагонів фахівцями кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту (м. Харків, Україна) було розроблено діагностичну систему дистанційного контролю гальм рухомого складу.

Систему підключено до стенду гальмової випробувальної лабораторії, яка дозволяє імітувати роботу гальм пасажирських та вантажних вагонів (рис. 3).

Запропонована ДСГВ складається:

- випробувальний стенд (1);
- з датчиків (2)–(4), що перетворюють фізичні величини в електричні, данні з яких зручно обробляти мікроконтролером [11];
- мікроконтролера (5), який обробляє вхідні аналогові та дискретні значення по розробленій програмі, подає сигнал на світлові індикатори (1) роботи гальмівного обладнання та передає виміряні й оброблені дані на комп'ютер (6) для подальшого зберігання, оброблення та передачі даних.

Програмне забезпечення мережі комп'ютерної системи ДСГВ поділяється на програму-клієнт та програму-сервер. Програма-клієнт встановлюється на кожному вагоні та забезпечує зв'язок із головним сервером поїзда за допомогою провідного або безпроводного зв'язку (переважно Wi-Fi або GSM/GPRS). Діагностична інформація для користувача (локомотивна бригада, поїзна бригада, оглядач та обслуговуючий персонал) виводиться у зручній для сприйняття формі на екран бортового комп'ютера (штабного вагона або локомотива) або може бути доступною на планшетному ПК (з доступом до Wi-Fi або GSM) обслуговуючого персоналу. Програма-сервер знаходиться у ПК штабного вагона або на автоматизованому робочому місці пункту технічного обслуговування вагонів (АРМ ПТО) та виконує запис у режимі реального часу усієї

поточної інформації, що передається з датчиків усіх вагонів, а також запис несправностей з фіксацією часу та географічних координат поїзда [11].



Рис. 3. Прототип системи дистанційного контролю гальм поїздів на базі випробувальної станції кафедри вагонів: 1 – світлова індикація вагона; 2 – датчик Д1 гальмового циліндра; 3 – датчик Д2 гальмової магістралі; 4 – датчик Д3 електропневматичного гальма; 5 – блок АЦП; 6 – ПК штабного вагона або АРМ ПТО; 7 – кран машиніста

Отриманий з датчиків сигнал аналізується за технологією функціональної діагностики. Оцифровані сигнали від датчиків порівнюються із заданими еталонними значеннями. Поява відхилення свідчить про одну з діагностичних ознак. Рід несправності виявляється за величиною відхилення. Для визначення величини відхилення застосовуються розроблені алгоритми роботи гальмівного обладнання [9, 11].

Результати зображені на рис. 4 разом з експериментальними даними, які отримані з вимірювального стенду (рис. 3).

Проведемо кореляційний аналіз між двома величинами.

Кореляційний аналіз передбачає вивчення залежності між випадковими величинами з одночасною кількісною оцінкою ступеня не випадковості їх сумісної зміни [16].

Для кількісної оцінки тісноти зв'язку між випадковими величинами використовують коефіцієнт кореляції

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_x \cdot \sigma_y}, \quad (16)$$

де $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$ – математичні очікування випадкових величин x_i та y_i ; σ_x, σ_y – відповідно дисперсії величин x_i, y_i ; n – обсяг досліджень.

Коефіцієнт r_{xy} може приймати значення від -1 до $+1$. Прийнято вважати, якщо: $|r_{xy}| < 0,3$, то кореляційний зв'язок слабкий; $|r_{xy}| = 0,3 - 0,7$ – середня; $1 \geq |r_{xy}| > 0,7$, то кореляційний зв'язок має місце.

Розраховуючи величину кореляції у програмі Microsoft Excel отримаємо $r_{xy} = 0,998$, що вказує на наявність кореляційного зв'язку [14].

Перевірка рівноточності дослідів здійснюється за допомогою спеціальних критеріїв

Коли розподіл результатів дослідів відрізняється від нормального, перевірка рівноточних дослідів ускладнюється. У цьому випадку використовується метод послідовного порівняння дисперсій дослідів за критерієм Фішера. За допомогою цього критерію послідовно перевіряється однорідність (рівноточність) двох дисперсій. Для цього знаходиться відношення більшої дисперсії до меншої:

$$F_{роз} = \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2}. \quad (17)$$

Задавши q -процентний рівень значимості, за ступенями свободи дисперсій f_x і f_y ($f_x = n - 1$, $f_y = m - 1$, тут n, m – обсяги вимірювань) зі спеціальних таблиць F – критерію для $\frac{q}{2}$ – процентного рівня значимості обирається величина $F_{табл}$. Дві дисперсії однорідної (рівноточні), якщо $F_{роз} < F_{табл}$. Виходячи з цього, процедура перевірки однорідності (рівноточності) ряду дисперсій здійснюється шляхом перевірки рівноточності σ_x^2 і σ_y^2 .

При $\sigma_x = 0,021828$, $\sigma_y = 0,02168$, отримаємо

$$F_{роз} = \frac{0,021828^2}{0,02168^2} \approx 1,0137.$$

За табличними даними $F_{табл} = 1,03$.

Нерівність $F_{роз} < F_{табл}$ виконується $1,0137 < 1,03$. Тому, можна зробити висновок про адекватність моделі [15].

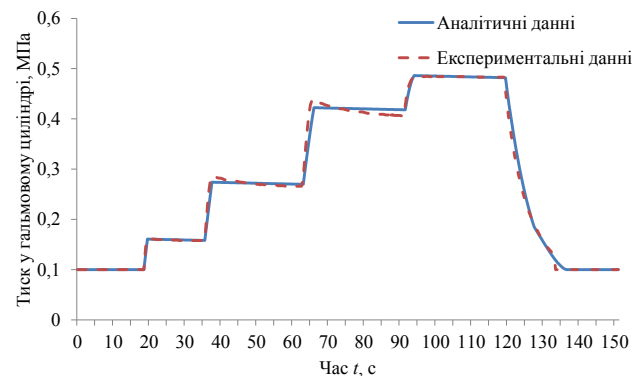


Рис. 4. Аналітична та експериментальна залежність тиску в гальмівному циліндрі за часом

Критерій Фішера дуже чутливий до відхилення від нормальності розподілення x_i, y_i [16]. Його стійкість до відхилень від нормальності може бути підвищена відповідним корегуванням ступенів свободи. Замість f_x і f_y в цьому випадку використовують ступені свободи $f'_x = df_x$ і $f'_y = df_y$, де

$$b_2 = (m + n) \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 + \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^4}{\left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right)^2},$$

$$d = \left(1 + \frac{1}{2} \left(\frac{n+m-4}{n+m-(b_2-3)} \right) (b_2-3) \right)^{-1} \quad (18)$$

У подальшому процедура перевірки адекватності моделі не відрізняється від звичайного F-критерію.

$$b_2 = (307 + 307) \frac{0,20999 + 0,208649}{(6,679382 + 6,634108)^2} = 1,45.$$

$$d = \left(1 + \frac{1}{2} \left(\frac{307 + 307 - 4}{307 + 307 - (1,45 - 3)} \right) (1,45 - 3) \right)^{-1} = 4,31.$$

$$f'_x = f'_y = 4,31 \cdot 306 = 1318,86.$$

$$F_{\text{табл}} = 1,02.$$

Нерівність $F_{\text{роз}} < F_{\text{табл}}$ виконується $1,0137 < 1,02$, отже, модель є адекватною. Тому її використання дозволить з високою достовірністю визначити технічний стан діагностичних ознак роботи гальмівного обладнання пасажирських вагонів шляхом впровадження в алгоритм роботи програмно-апаратного комплексу ДСГВ.

6. Висновки

За результатами виконаної роботи створена діагностична система гальм вагонів, що дозволяє кон-

тролювати важливі параметри роботи гальмівного обладнання пасажирського рухомого складу на шляху прямування – поїзною бригадою, або під час зупинок на ПТО – обслуговуючим персоналом.

Запропоновано математичну модель роботи гальм пасажирського вагона. Вона дозволяє визначити тиск у гальмовому циліндрі, камерах повітророзподільника та запасному резервуарі вагона в залежності від зміни абсолютних тисків при перетіканні повітря через дросельні отвори за встановлений час.

Розроблена діагностична система, на відміну від існуючих, що використовуються на сучасному рухомому складі, дозволяє підвищити достовірність діагностичної інформації, яка реєструється відповідними датчиками, зберігається в пам'яті електронно-обчислювального пристрою та обробляється розробленими математичними алгоритмами у програмному середовищі.

У ДСГВ застосовується алгоритм на основі методу математичного моделювання гальмівного обладнання пасажирського вагона під час випробувань.

Отримані експериментальні дані, що зареєстровані системою, перевірені на адекватність з аналітичними за математичною моделлю. Доведено їх кореляційний зв'язок та виконана перевірка адекватності моделі.

Розроблену ДСГВ доцільно використовувати на пасажирському рухомому складі для підвищення безпеки руху та зменшення експлуатаційних витрат на залізничному транспорті.

Література

- Капустин, М. Ю. Адаптивная система автоматического управления прицельным электропневматическим торможением поезда [Текст]: автор. ... канд. техн. наук / М. Ю. Капустин. – М., 2015. – 24 с.
- Внедрение электронно-пневматических тормозов на железных дорогах США [Текст] / Журнал «Железные дороги мира». – 2006. – № 5. – С. 71–74.
- Родыгин, И. А. Устройства послеремонтных испытаний воздухораспределителей в контрольных пунктах автотормозов [Текст] / дис. ... канд. техн. наук / И. А. Родыгин. – Екатеринбург, 2000. – 187 с.
- Галай, Э. И. Эффективность торможения пассажирских поездов – фактическая и по нормативам [Текст]: сб. науч. тр. / Э. И. Галай, П. К. Рудов // Вісник ДНУЗТ. – 2006. – Вип. 11. – С. 116–119.
- Жаров, И. А. Перспективные алгоритмы управления тормозами при смешанном торможении электропоездов [Текст] / И. А. Жаров, С. Б. Курцев // Весник ВНИИЖТ. – 2013. – № 1. – С. 31–34.
- Водяников, Ю. Я. Результаты исследования тормозной эффективности опытного электропоезда ЭКр1 [Текст] / Ю. Я. Водяников, С. М. Свистун, К. Л. Жихарцев, О. О. Пятаков // Вагонный парк. – 2013. – № 9. – С. 19–26.
- Nasr, A. The effects of train brake delay time on in-train forces [Text] / A. Nasr, S. Mohammadi // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. – 2010 – Vol. 224, Issue 6. – P. 523–534. doi: 10.1243/09544097jrrt306
- Milošević, M. Modeling Thermal Effects in Braking Systems of Railway Vehicles [Text] / M. Milošević, D. Stamenković, A. Milojević, M. Tomić // Thermal Science. – 2012. – Vol. 16, Issue 2. – P. 515–526. doi: 10.2298/tsci120503188m
- Равлюк, В. Г. Визначення динамічних характеристик вагонів при випробуваннях на каткових стендах [Текст] / В. Г. Равлюк, А. С. Глушенко // Восточно-Европейський журнал передових технологій. – 2012. – Т. 5, № 7(59). – С. 49–52. – Режим доступа: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/4158/3921>
- Шелест, Д. А. Совершенствование тормозных средств грузовых поездов постоянного формирования: проводной и беспроводной электропневматические тормоза грузового вагона [Текст] / Д. А. Шелест // Вагонный парк. – 2013. – № 1. – С. 19–26.
- Спосіб дистанційного контролю автоматичних гальм рейкового рухомого складу. Патент України на корисну модель №55429 [Текст] / Бондаренко В. В., Дерев'янчук Я. В. – власник Українська державна академія залізничного транспорту; Дата публікації 10.12.2010, Бюл. № 23.
- Донской, А. С. Математическое моделирование процессов в пневматических приводах [Текст]: учеб. пос. / А. С. Донской. – СПб.: Политехнический университет, 2009. – 121 с.

13. Наземцев, А. С. Гидравлические и пневматические системы. Пневматические приводы и средства автоматизации. Ч. 1 [Текст]: учеб. пос. / А. С. Наземцев. – М.: ФОРУМ, 2007. – 240 с.
14. Weltner, K. Mathematics for physicists and engineers. Fundamentals and interactive study guide [Text] / K. Weltner, W. J. Weber, J. Grosjean, P. Schuster. – Springer, 2009. – 596 p. doi: 10.1007/978-3-642-00173-4
15. Нечаєв, В. П. Теорія планування експерименту [Текст]: навч. посіб. / В. П. Нечаєв, Т. М. Берідзе та ін. – К.: Кондор, 2009. – 232 с.
16. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников [Текст] / А. И. Кобзарь. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.

Розроблено обчислювальний метод виявлення близьконульового видимого руху об'єктів на серії CCD-кадрів з використанням двокоординатного та покоординатних вирішальних правил. Метод заснований на перевірці статистичної значимості фактору швидкості видимого руху об'єкта на досліджуваній серії вимірювань з використанням t -критерія Стьюдента для покоординатних вирішальних правил і f -критерія Фішера для двокоординатного вирішального правила

Ключові слова: CCD-вимірювання, близьконульовий видимий рух, МНК-оцінка параметрів, t -критерій Стьюдента, f -критерій Фішера, астероїди

Разработан вычислительный метод обнаружения околонулевого видимого движения объектов на серии CCD-кадров с использованием двухкоординатного и покоординатных решающих правил. Метод основан на проверке статистической значимости фактора скорости видимого движения объекта с использованием t -критерия Стьюдента для покоординатных решающих правил и f -критерия Фишера для двухкоординатного решающего правила

Ключевые слова: CCD-измерения, околонулевое видимое движение, МНК-оценка параметров, t -критерий Стьюдента, f -критерий Фишера, астероиды

УДК 519.23: 004.932.72'1

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.65999

РАЗРАБОТКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ ОКОЛОНУЛЕВОГО ВИДИМОГО ДВИЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НА СЕРИИ CCD-КАДРОВ

С. В. Хламов
Аспирант

Кафедра электронных вычислительных машин
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166
E-mail: sergii.khlamov@gmail.com

В. Е. Саваневич

Доктор технических наук, профессор
Кафедра информационных управляющих систем и технологий*
E-mail: vadyam@savanevych.com

А. Б. Брюховецкий

Кандидат технических наук, инженер
Харьковское представительство генерального заказчика
Государственного космического агентства Украины
ул. Академика Проскуры, 1, г. Харьков, Украина, 61070
E-mail: izumsasha@gmail.com

С. С. Орышич

Кафедра программного обеспечения систем*
E-mail: oryshych@gmail.com

*Ужгородский национальный университет
пл. Народная, 3, г. Ужгород, Украина, 88000

1. Введение

В связи с проблематикой астероидно-кометной опасности [1] астероидные обзоры с автоматической обработкой их результатов в настоящее время являются значимым направлением использования современных методов астрометрии. Небесные объекты Солнечной системы (ССО), как правило, имеют ненулевую

скорость видимого движения, а объекты, не принадлежащие Солнечной системе (звезды, галактики), имеют нулевую скорость видимого движения.

Большое количество потенциально опасных объектов [2] могут являться астероидами с околонулевым видимым движением. Также большая часть малых тел Солнечной системы, во время своего нахождения за орбитой Юпитера, включая многие кометы с ма-