

В.В. Проців, канд. техн. наук, О.Є. Гончар

(Україна, Дніпропетровськ, Національний гірничий університет)

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ЮЗА ТА БУКСУВАННЯ НА ШАХТНОМУ ШАРНІРНО-ЗЧЛЕНОВАНОМУ ЛОКОМОТИВІ

Вступ. Розвиток видобутку корисних копалин вимагає підвищення продуктивності локомотивної відкатки. Істотне підвищення її можливе, перш за все, за рахунок використання важких багатовісних локомотивів, здатних надійно працювати в умовах шахтної колії з легким баластним шаром і суттєвою недосконалістю в плані та профілі [1]. При цьому найбільш перевіреним є гальмування через колеса в точці їх контакту з рейками. Для цього використовують колісно-колодкові гальма, дискові осьові (розташовані на осі колісної пари) і трансмісійні (на валу тягового двигуна), а також динамічне гальмування двигуном. Але не менш важливе використання локомотиву у режимі тяги. Найбільш перспективним з нині існуючих шахтних локомотивів є шарнірно-зчленований електровоз Е10 [2], що оснащений всіма вище переліченими системами гальмування, а також має сучасну систему керування тяговими двигунами постійного току. Машиніст локомотива не завжди може впоратися з керуванням, особливо на шахтній колії з ухилом до 50 % [3]. Необхідність системи автоматичного контролю за вправністю використання фрикційних можливостей пари колесо-рейка є важливим науково-практичним завданням.

Метою даної роботи є обґрунтування можливості і розробка системи автоматичного контролю юза та буксування шахтного шарнірно-зчленованого локомотива. **Завданням** роботи є теоретичне визначення можливості автоматичного контролю юза та буксування коліс локомотива на шахтній рейковій колії, а також експериментальне підтвердження такої можливості.

Виклад матеріалу дослідження. Завданням системи автоматичного контролю юза та буксування є удосконалення систем тяги і гальмування шахтних локомотивів для отримання можливості безпечного переміщення вантажів по шахтній рейковій колії з ухилом до 50 %. Така система може бути побудована на раціональній взаємодії гальмівних систем локомотива та системи керування тяговими двигунами. Оскільки привід гальм електровоза Е10 гідравлічний, а тягових двигунів – електричний, то така система повинна забезпечувати надійну їх взаємодію.

Модернізований шарнірно-зчленований кабельний електровоз Е10 має багаторазове резервування гальмівних систем шляхом встановлення на ньому декількох паралельно працюючих гальм різних типів, як це зображено на рис. 1. Крім магніторейкових 1 та гравітаційних 2 рейкових гальм встановлюють також колісно-колодкові 3 й дискові осьові та трансмісійні, що створюють галь-

мівний момент, який реалізується у гальмівну силу через зчеплення колеса з рейкою.

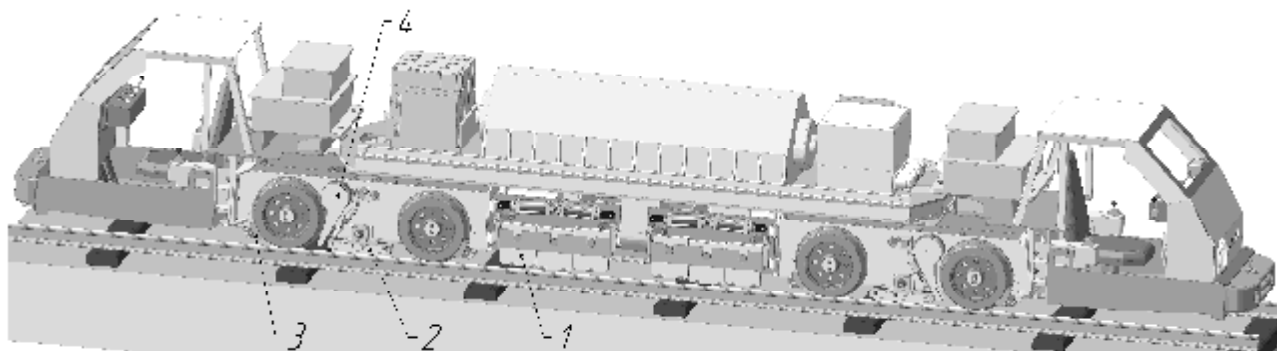


Рис. 1. Шарнірно-зчленований локомотив Е10

Принципова електрогидравлічна схема системи автоматичного контролю юза та буксування шахтного шарнірно-зчленованого двосекційного локомотива розроблялась з урахуванням роботи [4] та представлена на рис. 2. Схема складається з двох симетричних щодо вертикальної осі частин (тягових секцій), що з'єднуються між собою штекерами (штуцерами). Позначення гідравлічних елементів складаються з літерної та цифрової частин; для літерних прийняті наступні умовні позначення: ЦТ – гідроплунжер дискового трансмісійного гальма; ЦД – гідроплунжер дискового (осьового та трансмісійного) гальма; ЦК – гідроциліндр колісно-колодкового гальма; ЦМ – гідроциліндр магніторейкового гальма; ЦП – гідроциліндр підвіски (гравітаційного гальма); ГПД – гідроперетворювач тиску дискового гальма; ГПК – гідроперетворювач тиску колісно-колодкового гальма; ГРУД – гідрорегулятор управління дискового гальма; ГРУК – гідрорегулятор управління колісно-колодкового гальма; ГРД – гідророзподільник дискового гальма; ГРК – гідророзподільник колісно-колодкового гальма; ГРМ – гідророзподільник магніторельсового тормоза; ГРП – гідророзподільник підвіски (гравітаційного гальма); ГАД – гідроаккумулятор дискового гальма; ГАК – гідроаккумулятор колісно-колодкового гальма; ГАМ – гідроаккумулятор магніторейкового гальма; ГАП – гідроаккумулятор підвіски (гравітаційного гальма); НД – гідронасос дискового гальма; НК – гідронасос колісно-колодкового гальма; НМ – гідронасос магніторейкового гальма; НП – гідронасос підвіски підвіски (гравітаційного гальма); КНД – клапан напірний дискового гальма; КНК – клапан напірний колісно-колодкового гальма; КНМ – клапан напірний магніторейкового гальма; КНП – клапан напірний підвіски (гравітаційного гальма); КВД – кінцевий електричний вимикач гідророзподільника дискового гальма; КВК – кінцевий електричний вимикач гідророзподільника колісно-колодкового гальма.

Після літер перша цифра позначення відповідає номеру тягової секції, друга – номеру колісної пари в тяговій секції, а третя – колесу на колісній парі (гідроплунжеру дискового осьового гальма з боку колеса). Позначення електричних елементів мають нижченаведену крізну нумерацію: 1 – радарний датчик швидкості переміщення рами щодо колії; 2 – перетворювач (узгоджувач) цифрового сигналу; 3 – обчис-

лювач відносного ковзання колеса; 4 – перетворювач (узгоджувач) цифрового сигналу; 5 – датчик кутової швидкості обертання тягового двигуна; 6 – елемент АБО (умова) порівняння діючого значення відносного ковзання колеса із заданим позитивним; 7 – елемент АБО (умова) порівняння тривалості часу поточного стану юза локомотива з контрольним значенням; 8 – елемент АБО (умова) порівняння тривалості часу поточного стану юза локомотива з контрольним значенням; 9 – елемент АБО (умова) порівняння діючого значення відносного ковзання колеса із заданим негативним; 10 – елемент І (злиття) сигналів від елемента 7 та кінцевих електричних вимикачів гідророзподільника дискового та колісно-колоткових гальм; 11 – елемент АБО (умова) порівняння можливості збільшення гальмівного моменту за допомогою гідроперетворювача тиску при ввімкненому гальмуванні і нормальному відносному ковзанні; 12 – елемент АБО (умова) порівняння тривалості часу поточного стану буксування локомотива з контрольним значенням; 13 – блок (зовнішній) управління тяговим двигуном; 14 – датчик подовжнього прискорення руху рами тягової секції локомотива; 15 – перетворювач (узгоджувач) цифрового сигналу в сигнал курування; 16 – обчислювач відносного ковзання кутових швидкостей тягових двигунів; 17 – елемент злиття сигналів кутових швидкостей тягових двигунів. Елементи електричної схеми під номерами 2 – 4, 6 – 12 та 16 – 17 входять до складу обчислювально-логічного блока.

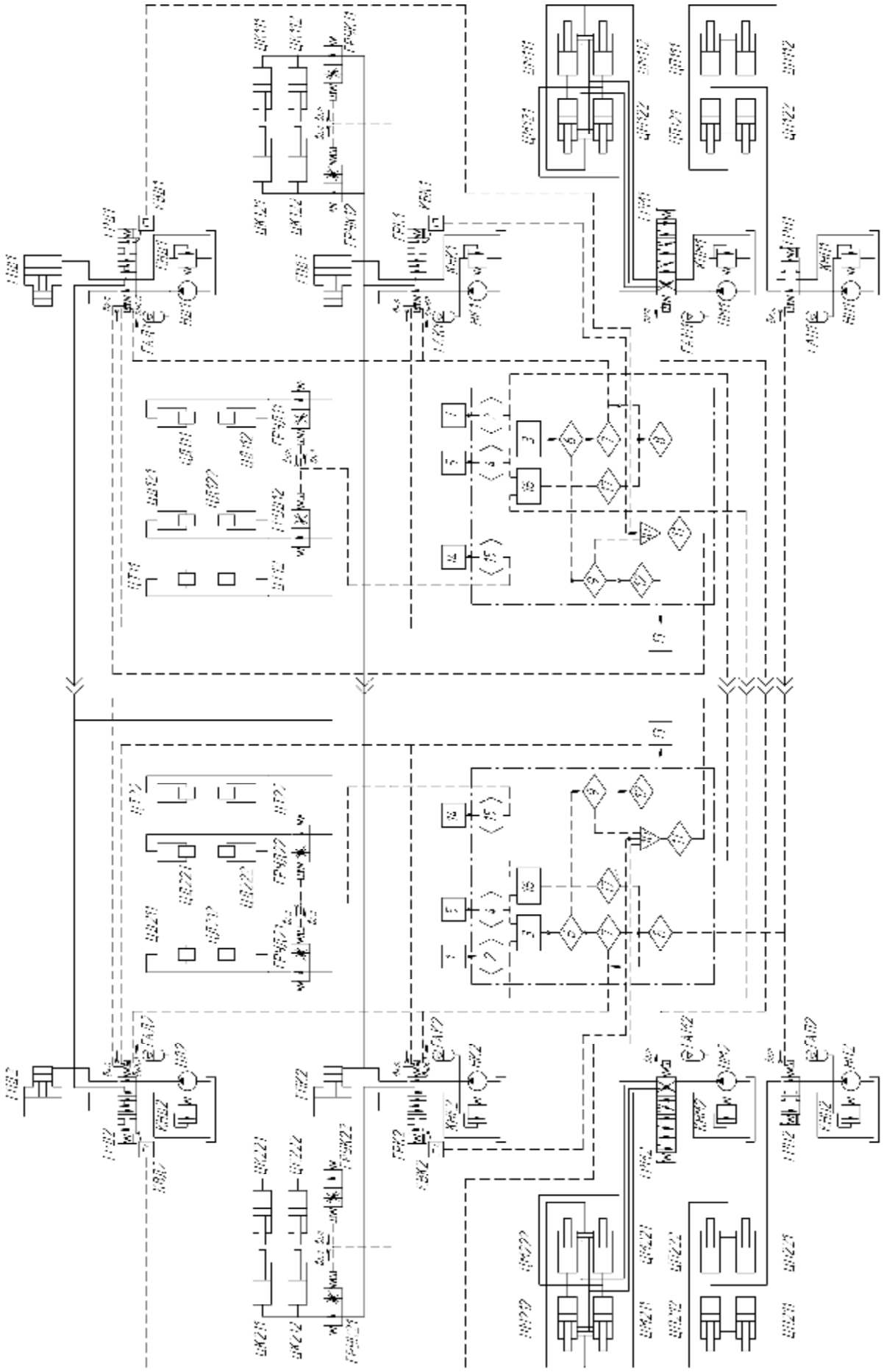


Рис. 2. Принципова електродражлива схема системи автоматичного контролю юза та буксування шатірного-зчленованого лопоту

Система автоматичного контролю юза та буксування шахтного локомотива працює таким чином. При необхідності службового гальмування машиніст шахтного локомотива переводить ГРД1 (першої по ходу руху тягової секції) в перше положення гальмування (натискає на педаль гальма) і/або використовує для цього колісно-колодкове гальмо, – вмикає ГРК1. При цьому вмикаються дискові і/або колісно-колодкові гальма першої та другої тягових секцій. Радарний датчик швидкості переміщення рами щодо колії 1 видає відповідний сигнал, який надходить в перетворювач (узгоджувач) 2, а потім в обчислювач відносного ковзання колеса 3. Туди ж через перетворювач 4 надходить і сигнал від датчика кутової швидкості обертання тягового двигуна 5, розташованого на осі двигуна або в трансмісії. Датчик кутової швидкості обертання тягового двигуна може бути виконаний відомим чином у вигляді синхродиска з радіальними зубцями і індуктивного генератора імпульсів, що створює «сплеск» у момент проходження зубця диска через торець індуктивного датчика. Радарний датчик може бути виконаний відомим чином у вигляді ультразвукового або лазерного доплерівського радара.

Обчислене в елементі 3 значення відносного ковзання коліс, що кінематично пов'язані з тяговим двигуном, передається в елемент АБО 6, де воно порівнюється із заданим допустимим (наприклад +2,5 %). Відносне ковзання колеса – це відношення різниці переносної швидкості рами секції локомотива і колової швидкості обертання колеса до переносної швидкості рами секції локомотива. Якщо допустиме значення перевищене (почався юз), то елемент 7 перевіряє, чи не перевищила тривалість часу поточного стану юза локомотива контрольне значення (наприклад, 2,5 с). Поки час не перевищений, гальмування (дисковими і колісно-колодковими гальмами) відключається (відключиться ГРД та ГРК) обох тягових секцій і юз припиняється. За контрольний час відносне ковзання може кілька разів зменшуватися до прийняттого значення і знову зростати, при цьому діюче значення гальмівного моменту встановиться на максимально можливому, але й одночасно найбільш ефективному. Якщо все ж таки контрольне значення часу буде перевищено (юз не припиниться), то підключаться магніторейкові гальма (ГРМ), а після спрацьовування другого елементу АБО 8 (наприклад, ще через 2,5 с) – включиться екстрене гальмування гравітаційним гальмом (ГРП) шляхом опускання рами локомотива на гідроциліндрах підвіски до торкання гальмівних башмаків гравітаційних гальм рейкових ниток. Локомотив зупиниться.

Описана вище робота системи можлива і у випадку, якщо машиніст локомотива, усвідомлюючи серйозну небезпеку, прийме рішення про екстрене гальмування з повною зупинкою потягу і перемкне ГРД (і/або ГРК) у друге положення. Навіть, якщо в цьому випадку елемент АБО 6 видасть повідомлення «ні», що відповідає гальмуванню без втрати зчеплення (юза немає, оскільки рейки сухі і чисті), то елемент АБО 9, порівнюючи діюче значення відносного ковзання колеса із заданим негативним, перевірить чи не наступило буксування (див. нижче). І оскільки воно відсутнє, то сигнал поступить на елемент 10, де він зіллється з сигналами від кінцевих електричних вимикачів гідро розподільників дискових та колісно-колодкових гальм (ГРД і/або ГРК включені). Оскільки-

ки всі необхідні сигнали будуть присутні, то елемент АБО 11 включить гідроперетворювачі тиску (ГРД та ГРК), які збільшать тиск в трубопроводах гальмівної системи і, відповідно, гальмівні моменти дискових і/або колісних колодок гальм. На сухій та чистій колії це зменшить гальмівний момент. Але якщо забрудненість рейок збільшиться і відносне ковзання перевищить допустиме значення, то увімкнуться магніторейкові та гравітаційні гальма, як це було описано раніше.

У випадку, якщо в режимі тяги машиніст локомотива задасть занадто великий струм тягового двигуна і виникне буксування, то система відреагує на це таким чином. Елемент АБО 6 визначить, що відносне ковзання не перевищує допустимого позитивного значення (режим, що найбільш часто зустрічається) і подасть сигнал на елемент АБО 9. А він зреагує на значення, яке нижче заданого допустимого (наприклад мінус 2,5 %), і подасть сигнал на елемент АБО 12, який перевірить, чи не перевищила тривалість часу поточного стану буксування локомотива контрольного значення (наприклад, 2,5 с). Доки час не перевищений, вмикається підгальмовування (дисковими та колісно-колодковими гальмами, включиться ГРД та ГРК) обох тягових секцій. Швидкість кочення коліс знизиться, а відносне ковзання зросте до нормального значення, оскільки надмірний гальмівний момент згаситься прикладеним гальмівним моментом. За контрольний час відносне ковзання може кілька разів підніматися до прийнятного значення і знову падати, при цьому діюче значення тягового моменту встановиться на максимально можливому, але й одночасно найбільш ефективному. Як тільки контрольне значення часу буде перевищено, сигнал поступить на зовнішній блок регулювання струмодвигуна 13, який знизить струм тягових двигунів до значення, найбільш відповідного для конкретної дорожньої ситуації. Локомотив розвиватиме найбільшу можливу для конкретних умов забрудненості рейкової колії силу тяги.

Якщо гальма не увімкнені, то локомотив рухатиметься в режимі тяги і жодних дій ні на гальмівні пристрої, ні на тягові двигуни система не чинитиме (найбільш поширений режим).

Робота гідрорегулятора керування дискового гальма (ГРУД) і гідрорегулятора керування колісно-колодкового гальма (ГРУК) зводиться до того, щоб за рахунок його перемикачів в положення регульованого гідродроселя плавно прикласти тиск до гальмівних плунжерів та гідроциліндрів, а також зробити це пропорційно величині подовжнього прискорення (уповільнення), оскільки час прикладення гальмівного моменту і функція його від часу істотно впливають на можливість зриву зчеплення при екстреному гальмуванні. Тому сигнал від датчика подовжнього прискорення 14 через перетворювач 15 постійно поступає на ГРУД та ГРУК.

Для раннього виявлення початку юза, на другій тяговій секції в режимі гальмування, в кожній тяговій секції локомотива є обчислювач відносного ковзання кутових швидкостей тягових двигунів 16, який одержує сигнали про величину кутових швидкостей обертання тягових двигунів обох секцій. Результат підрахунку поступає на елемент АБО 17, що порівнює величину відносного ковзання кутової швидкості тягового двигуна з контрольним значенням (наприклад, 50 %). Відносне ковзання тягового двигуна – це відношення різниці кут-

вої швидкості обертання тягового двигуна першої секції і кутової швидкості обертання тягового двигуна другої секції до кутової швидкості обертання тягового двигуна першої секції.

Гідроперетворювач тиску дискового гальма (ГПД) і гідроперетворювач тиску колісно-колодкового гальма (ГПК) працюють таким чином (на прикладі одного з ГПД, як це видно на рис. 3).

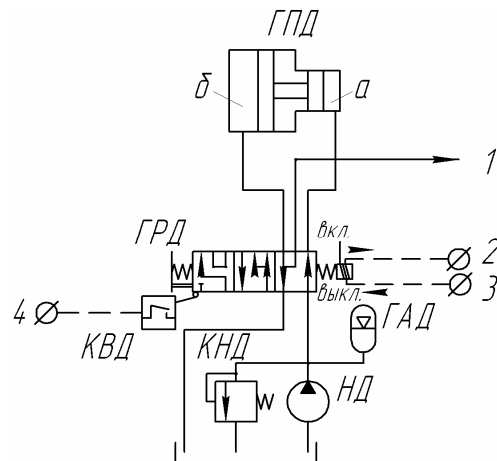


Рис. 3. Схема підключення ГПД (гідроперетворювача тиску дискового гальма)

У вимкненому положенні гідророзподільника ГРД (машиніст не натискає на педаль гальма) з напірної магістралі гідронасоса НД робоча рідина надходить в порожнину *a* ГПД і його поршень переміщається вліво до упору. В цей час рідина з порожнини *б*, а також з магістралі *1* гідроциліндрів і гідроплунжерів витікає в бак. При натисненні машиністом локомотива на педаль гальма (ідророзподільника ГРД) або при подачі електричного сигналу від системи автоматичного контролю юза та буксування на електрокотушку соленоїда ГРД через електрокабель *2* ГРД перемкнеться в середнє положення. Тепер робоча рідина з напірної магістралі гідронасоса НД поступить у гальмівні циліндри і плунжери, що приведе гальма в дію. При цьому робоча рідина, як і раніше, поступає в порожнину *a* ГПД і його поршень переміщається вліво до упору (якщо він ще не досяг крайнього лівого положення), а рідина з порожнини *б* витікає в бак.

Якщо ж машиніст локомотива для виконання екстреного гальмування ще раз натисне на педаль гальма (переведе ГРД в крайнє праве положення) або від елементау АБО *11* поступить новий сигнал на електрокотушку соленоїда ГРД через електрокабель *2* (у разі потреби збільшення гальмівного моменту), то рідина з напірної магістралі гідронасоса НД поступить в порожнину *б* ГПД, а його поршень почне переміщатися вправо, створюючи підвищений тиск в трубопроводі *1*. Тиск робочої рідини збільшиться у стільки разів, у скільки квадрат діаметра поршня порожнини *б* більше квадрата діаметра поршня порожнини *a*. При цьому збільшиться гальмівний момент і відповідно гальмівна сила. Оскільки робочі ходи гальмівних гідроциліндрів і гідроплунжерів невеликі (беззазорна конструкція гальмівних колодок), то поршень ГПД зупиниться, не дійшовши до крайнього правого положення. При звільненні педалі гальма (ГРД) машиністом локомотива після закінчення гальмування або при подачі сигналу на

електрокабель 3 соленоїди ГПД від елемента АБО 7 (сигнал системи автоматичного контролю юза та буксування про припинення гальмування) гідророзподільник ГРД послідовно перейде в середнє та крайнє праве положення, при цьому робоча рідина з напірної магістралі насоса НД знову почне надходити в порожнину *a* гідроперетворювача тиску (ГПД), а з порожнини *b* вона витікатиме в бак. ГПД знову готовий до циклу підвищення тиску в трубопроводі 1.

Напірний клапан дискового гальма КНД служить для розвантаження гідронасоса НД під час його роботи, коли споживання робочої рідини гальмівною системою відсутнє.

Кінцевий вимикач КВД замикає контакт і посилає сигнал на електрокабель 4, який з'єднаний з елементом злиття сигналів 10 системи автоматичного контролю юза та буксування при механічному вмиканні ГРД (при натисненні машиністом на педаль гальма).

Гідравлічні системи дискових та колісно-колодкових гальм тягових секцій зв'язані між собою трубопроводами та штуцерними з'єднаннями. Системи гальмування магніторейковими та гравітаційними гальмами тягових секцій зв'язані електрично електрокабелями зі штекерними роз'ємами. У разі спрацьовування елемента АБО 8 при необхідності екстреної зупинки потягу, вмикання електричних котушок соленоїдів гідророзподільника гравітаційного гальма (ГРМ) однієї секції призводить до вмикання соленоїдів відповідного гідророзподільника іншої секції. Те саме відбувається і в роботі гідророзподільника підвіски (гравітаційного гальма) (ГРП).

Моделювання роботи системи виконувалося на динамічній моделі [5]. Порівняння двох графіків зростання первинного гальмівного моменту показує, що і при прикладеному постійному моменті (рис. 4, *a*), і при керуванні моментом автоматичною системою контролю юза (рис. 4, *б*) вони практично однакові.

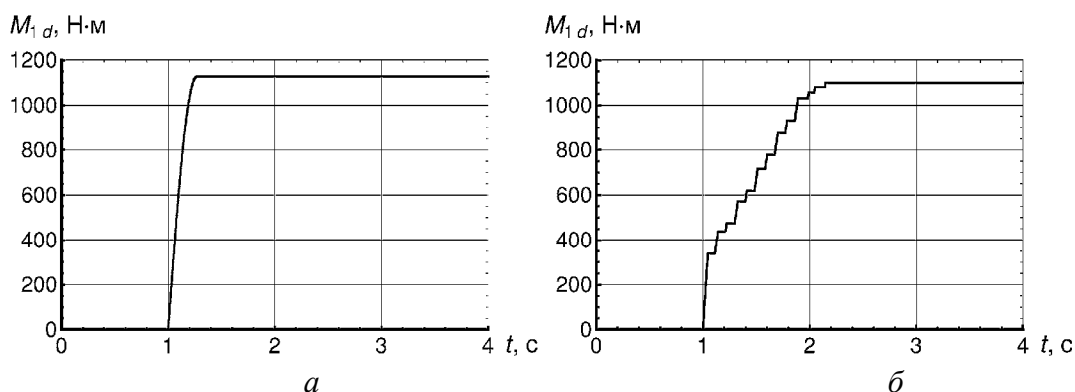


Рис. 4. Зростання гальмівного моменту на початку гальмування: *a* – прикладення постійного моменту; *б* – прикладення моменту автоматичною системою контролю юза

З метою перевірки працездатності системи проведені експериментальні дослідження на прямій ділянці наземної шахтної рейкової колії шахти «Благодатна» ВО «Павлоградуголь». На ходовому візку електровоза Е10, як це видно

на рис. 5, *a*, встановлено датчик кутової швидкості обертання вала двигуна 1 і радарний датчик 2. Для наочності вони показані з розрізаними корпусами.

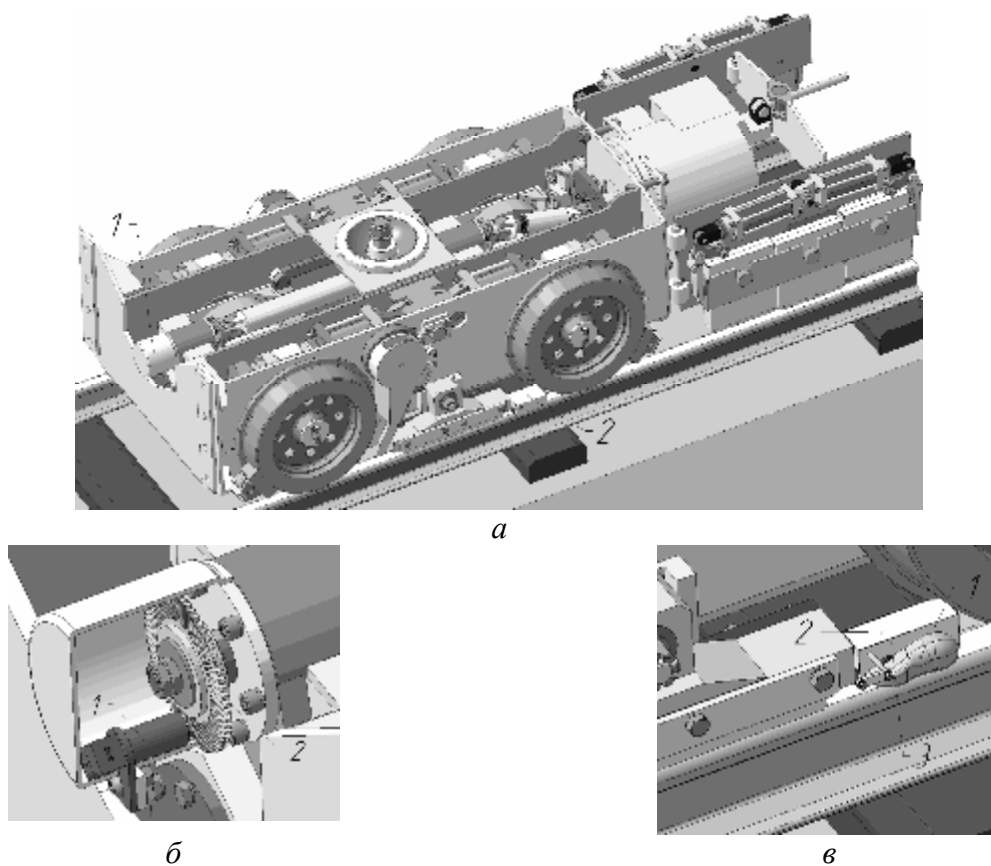


Рис. 5. Розташування датчиків на ходовому візку:

a – схема розміщення датчиків на візку; *б* – індукційний датчик кутової швидкості двигуна; *в* – радарний датчик переносної швидкості рами візка

В експериментах після розгону електровоза без складу вагонеток приблизно до швидкості 1,5 м/с до гальмівних пристроїв прикладався гальмівний момент, блокуючий колісну пару. Для полегшення переходу коліс локомотива в режим юза рейки поливалися водою з вугільним пилом (коефіцієнт зчеплення 0,08). За допомогою комп'ютерного USB-осцилографа фіксувалися сигнали від контактних датчиків, встановлених під педалями гальмівних гідро розподільників, і автомобільного індукційного датчика 1 фірми Bosch (див. рис. 5, *б*), встановленого біля синхродиска 2 із шістдесятьма зубцями, в свою чергу розміщеного на карданному валу, пов'язаному з тяговим двигуном тягової секції (датчик кутової швидкості двигуна). Індукційний датчик генерує синхроімпульси напруги відповідно до проходження зубів синхродиска повз торця датчика. Форма осцилограми напруги вихідного сигналу індукційного датчика близька до синусоїди, число піків якої за секунду дорівнює приблизно 590. На екрані комп'ютера короткочасне блокування коліс зображувалося як відсутність синусоїди (сигнал від датчика вирівнювався у положенні нуля). При нормальній роботі системи контролю юза та буксування короткочасний перехід в юз припинявся при знятті системою гальмівного моменту і поновлювався при повторному його прикладенні. Так відбувалося до 20 разів протягом 5 с, поки момент

не встановлювався на значенні, яке не спричиняло юза. Радарний датчик (див. рис. 5, в) виконаний на основі лазерного вимірника переміщень L , що використовується в комп'ютерних пристроях типу миша, і розміщений в металевому коробі 2 за допомогою пінопропіленового компаунда 3. Як обчислювач використовувався ноутбук з програмною аналізу-керування, написаною в середовищі Microsoft Frame Work.

У випробуваннях брали участь всі гальмівні пристрої локомотива, проте не всі компоненти та режими роботи системи вдалося перевірити, зокрема, режим плавності прикладання гальмівного моменту залежно від подовжнього прискорення рами секції, оскільки ні датчик прискорення, ні гідрорегулятори керування гальмами на випробовуваному локомотиві не встановлювалися.

Висновки. Результати математичного моделювання та випробувань підтвердили працездатність системи автоматичного контролю юза і буксування шахтного шарнірно-зчленованого двосекційного локомотива.

Запропонована система може так само працювати на двовісних локомотивах та на локомотивах з індивідуальним і груповим приводом колісних пар, а дає можливість запобігати появі юза та буксування при роботі шахтного локомотива в режимах тяги та гальмування на ділянках колії з ухилом до 50 %.

Список литературы

1. Ренгевич А.А. Основы теории тяги рудничных поездов: Учебн. пособие – К.: УМК ВО, 1989. – 40 с.
2. Проців В.В. Формування динамічної моделі шахтного шарнірно-зчленованого локомотива, що рухається в режимі гальмування // Наук. вісн. Нац. гірн. ун-ту. – 2009. – № 4. – С. 76–83.
3. Типовые решения по безопасной перевозке людей и грузов в выработках с уклоном от 0,005 до 0,050. – Донецк: ДонУГИ, 1973. – 62 с.
4. Проців В.В. Ознаки переходу локомотива в юз при гальмуванні пристроями з обмеженим фрикційним моментом на колесі // Наук. вісн. Нац. гірн. ун-ту. – 2010. – № 5. – С. 106–112.
5. Проців В.В., Гончар О.Є. Динамічна модель гальмівних систем, що реалізують гальмівну силу в контактні колеса та рейки // Зб. наук. праць НГУ, 2010. – № 34. – Т. 2 – С. 160–171.