

Транспортные системы Transport systems

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 629.421

doi: 10.30987/2782-5957-2023-2-47-52

СПОСОБЫ ОБНАРУЖЕНИЯ БОКСОВАНИЯ ЛОКОМОТИВА

**Иван Андреевич Кожухов^{1✉}, Алексей Петрович Болдырев², Федор Юрьевич Лозбинец³,
Дмитрий Яковлевич Антипин⁴**

^{1,2,3,4} Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

¹ i.kozhuhov32@yandex.ru

^{2,3,4} adya2435@gmail.com

Аннотация

Цель исследования: обоснование применение методов увеличения относительного скольжения колесной пары по рельсу при незначительной его величине. Основная трудность в использовании систем, основанных на измерении абсолютного или относительного скольжения колеса по рельсу является небольшая разница в величине скоростей и сложность определения горизонтальной скорости рельса. Использование в качестве диагностического параметра углового ускорения вращающихся частей также может не дать результата в случае, если рост относительного скольжения происходит постепенно. Новизна работы заключается в детальном

анализе устройств обнаружения боксования и оценке данных подходов. В результате сделан вывод о том, что на практике имеет смысл комбинировать все три вышеизложенных подхода для выявления начала боксования по различным признакам. Для определения скольжения колеса по рельсу имеет смысл использовать все перечисленные информативные признаки для сокращения числа ложных оценок начала скольжения.

Ключевые слова: боксование, скольжение, тяговый привод, колесная пара, тележка, локомотив, экипаж.

Ссылка для цитирования:

Кожухов И.А. Способы обнаружения боксования локомотива / И.А. Кожухов, А.П. Болдырев, Ф.Ю. Лозбинец, Д.Я. Антипин // Транспортное машиностроение. – 2023. - № 02. – С. 47 – 52. doi: 10.30987/2782-5957-2023-2-47-52.

Original article

Open Access Article

METHODS FOR DETECTING LOCOTIVE SLIPPAGE

**Ivan Andreevich Kozhukhov^{1✉}, Aleksey Petrovich Boldyrev², Fedor Yuryevich Lozbinev³,
Dmitry Yakovlevich Antipin⁴**

^{1,2,3,4} Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

¹ i.kozhuhov32@yandex.ru

^{2,3,4} adya2435@gmail.com

Abstract

The study objective is giving grounds for the application of methods to increase the relative slip of the wheel pair along the rail with its insignificant amount. The main difficulty in using systems based on measuring the absolute or relative slip of the wheel on the rail is a small difference in the value of the speeds and the difficulty of determining the rail horizontal speed. The use of angular acceleration of rotating parts as a diagnostic parameter may also not yield results if the relative slip grows gradually. The novelty of the work is in a detailed analysis of slippage detection de-

vices and evaluation of these approaches. As a result, it is concluded that in practice it makes sense to combine all three mentioned approaches to identify the slippage start on various grounds. To determine the wheel slid on the rail, it makes sense to use all the listed informative signs to reduce the number of false estimates of the slip start.

Keywords: slippage, slid, traction drive, wheel pair, bogie, locomotive, vehicle.

Reference for citing:

Kozhukhov IA, Boldyrev AP, Lozbinov FYu, Antipin DYa. Methods of detecting locomotive slippage. *Transport Engineering*. 2023; 2:47-52. doi: 10.30987/2782-5957-2023-2-47-52.

Введение

В настоящее время в грузовом движении на железных дорогах практически безальтернативным видом тяги продолжает оставаться тяга с помощью автономных локомотивов, осуществляемая за счет сцепления колеса с рельсом. При этом дальнейшее развитие грузовых локомотивов, как определенного вида машин, сейчас практически всецело определяется возможностью развития их тяговых свойств.

В работе [1] был проведен анализ эволюции противобоксовочных систем и предложена следующая схема их развития (рис. 1).

Внедрению новых способов прогнозирования начала боксования в практику тяги препятствует, в частности то, что на данный момент нет общепринятых выводов, какой из этих способов следует считать более эффективным. Настоящая Записка представляет собой попытку решения указанной проблемы.

Материалы, методы, результаты исследований

Способы, основанные на измерении скорости скольжения колеса относительно рельса. Основная трудность в использовании систем, основанных на измерении абсолютного или относительного скольжения колеса по рельсу, является небольшая разница в величине скоростей и сложность определения горизонтальной

скорости рельса. Использование в качестве диагностического параметра углового ускорения вращающихся частей также может не дать результата в случае, если рост относительного скольжения происходит постепенно (например, при развитии автоколебаний в приводе).

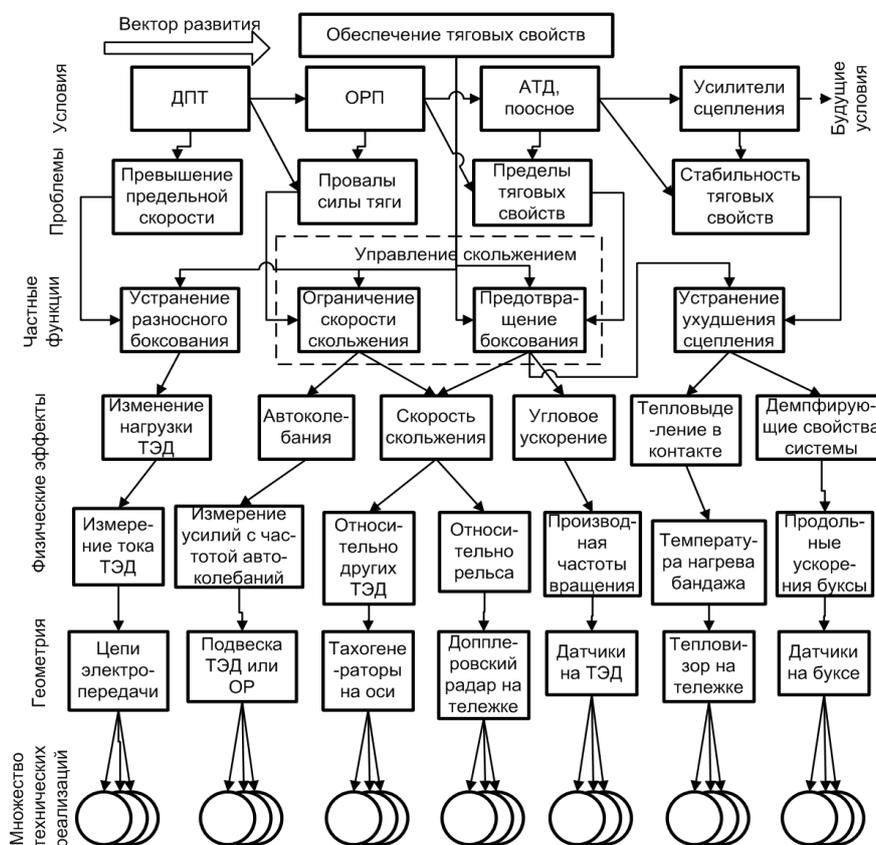


Рис. 1. Эволюция противобоксовочных систем с точки зрения развития их функциональности при изменении условий и важнейших проблем потребителя
 Fig. 1. Evolution of antiskid systems judging the development of their functionality under changing conditions and the most important consumer problems

Запатентовано решение [2], позволяющее повысить точность измерений скольжения колесной пары относительно рельса (рис. 2).

Работа устройства для обнаружения начала процесса буксования колесных пар локомотива основана на тех же принципах,

что и компьютерного манипулятора «Мышь» с оптическим устройством, то есть, на анализе изменения картинки, наблюдаемой в окно манипулятора, благодаря чему манипулятор «мышь» работает при движении по различным поверхностям в широком диапазоне скоростей.

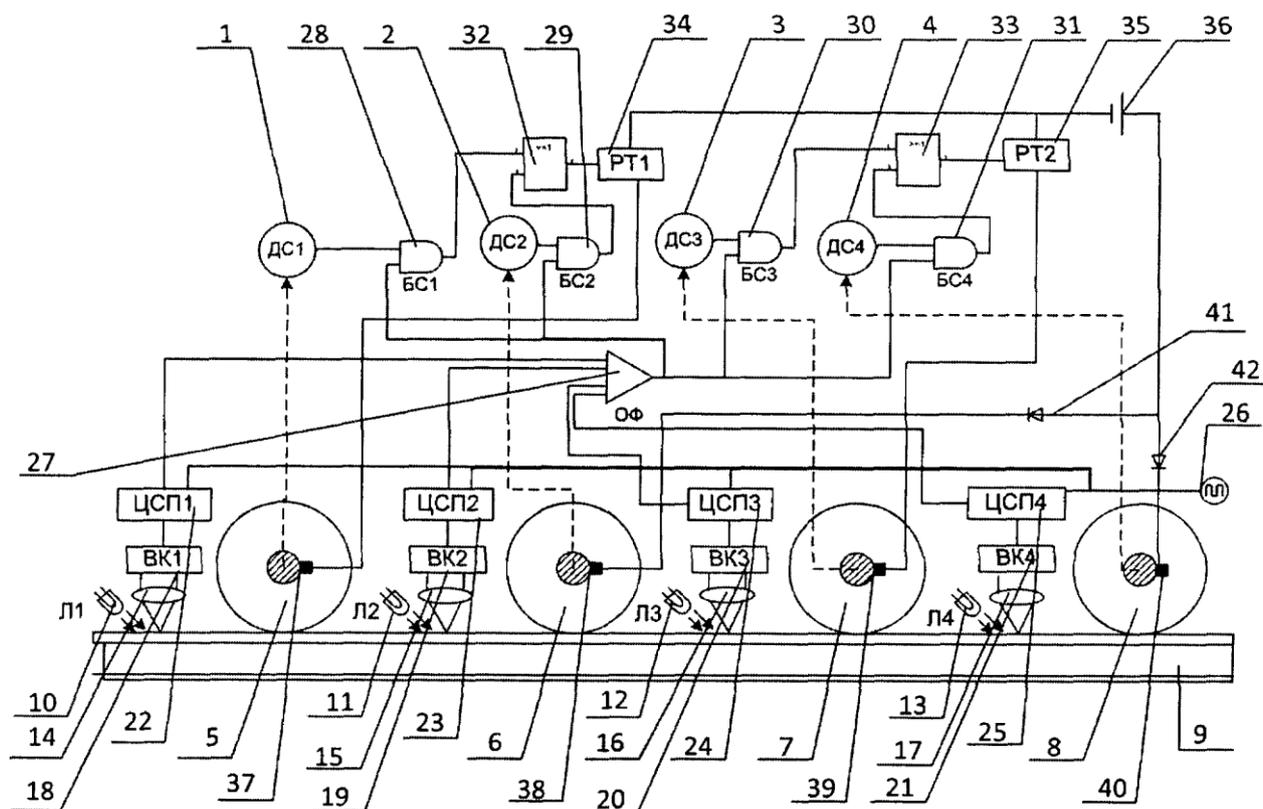


Рис. 2. Устройство обнаружения буксования
Fig. 2. Device for detecting slippage

Устройство содержит импульсные датчики скорости вращения 1 (ДС1), 2 (ДС2), 3 (ДС3) и 4 (ДС4), связанные с колесными парами 5, 6, 7 и 8. Участки рельса 9 вблизи колесных пар освещаются лазерами 10, 11, 12 и 13, работающими в инфракрасном диапазоне. Оптические системы 14, 15, 16 и 17 проецируют изображения освещенных участков рельса на видеокамеры 18 (ВК1), 19 (ВК2), 20 (ВК3) и 21 (ВК4), сигналы которых поступают на цифровые сигнальные процессоры 22 (ЦСП1), 23 (ЦСП2), 24 (ЦСП3) и 25 (ЦСП4). Цифровые сигнальные процессоры 22 (ЦСП1), 23 (ЦСП2), 24 (ЦСП3) и 25 (ЦСП4) определяют перемещение локомотива относительно участков рельса и скорость этого перемещения на основании

сигналов времени от датчика времени 29. Выходные данные сигнальных процессоров в виде цифровых параметров скорости движения локомотива поступают на блок осредняющего фильтра 27 (ОФ), который производит осреднение полученных данных по четырем датчикам и по времени, что уменьшает случайные ошибки определения скорости. Осредненные данные скорости движения локомотива сравниваются с данными от датчиков частоты вращения 1 (ДС1), 2 (ДС2), 3 (ДС3) и 4 (ДС4) с помощью блоков сравнения 28 (БС1), 29 (БС2), 30 (БС3) и 31 (БС4), для которых программно задана предельная величина скольжения колесной пары относительно рельса. При превышении предельной величины скольжения колесной пары отно-

сительно рельса на выходах блоков сравнения 28 (БС1), 29 (БС2), 30 (БС3) и 31 (БС4) появляется сигнал, который с выходов блоков сравнения 28 (БС1) и 29 (БС2) подается на входы логического элемента «ИЛИ» 32, а с выходов блоков сравнения 30 (БС3) и 31 (БС4) - на входы логического элемента «ИЛИ» 33. С выходов логических элементов «ИЛИ» 32 и 33 сигнал подается на регуляторы тока 34 (РТ1) и 35 (РТ2), которые пропускают ток от источника питания 42 соответственно через токосъемные устройства 37 и 38 колесных пар 5 и 6 одной тележки локомотива и через токосъемные устройства 39 и 40 колесных пар другой тележки локомотива. Полупроводниковые вентили 41 и 42 предупреждают возникновение обратных токов в цепях токосъемных устройств 37, 38, 39, 40.

Основным достоинством такого устройства является то, что оно может быть применено независимо от конструкции тягового привода и диаметра колес локомотива.

Основным недостатком такого устройства является необходимость защиты оптических датчиков от попадания пыли, влаги и снега при движении локомотива.

Способы, основанные на регистрации автоколебаний при боксовании. В тяговых приводах при скольжении колесной пары по рельсу могут возникать автоколебания, как при трогании с места, так и в движении. Характер и особенности автоколебательных процессов подробно изложены в [3-5]. Наиболее распространенным видом автоколебаний являются автоколебания с частотой собственных крутильных колебаний колесной пары, по форме, при которой колеса колеблются в противофазе по отношению друг к другу. Частота таких колебаний на большинстве локомотивов лежит в диапазоне 50...100 Гц, автоколебания развиваются при скорости скольжения от единиц км/ч до 4...10 км/ч.

Система предупреждения боксования, основанная на регистрации автоколебаний, была практически создана и использована на шведском локомотиве Rc фирмы ASEA. Особенностью этого локо-

мотива является применение опорно-рамного привода с осевым редуктором при диаметре колес 1300 мм, склонного к развитию автоколебаний колесной пары. Как показали отечественные исследования, автоколебания колесной пары характерны и для локомотивов с диаметром колеса 1250 мм и аналогичной схемой тягового привода, при этом вследствие автоколебаний сила тяги локомотива при проскальзывании падает меньше, чем у локомотивов с приводами, не склонными к развитию автоколебаний. В электровозах Rc регистрация автоколебаний производилась путем измерения усилия в тяге осевого редуктора с помощью датчиков Pressductor, действие которых основано на эффекте магнитоупругости, с фильтром сигнала с частотой, близкой к частоте автоколебаний. При иной конструкции тягового привода могут быть использованы другие способы регистрации автоколебаний, в том числе путем измерений напряжений в оси и продольных ускорений букс, а также иных частей тягового привода, при других формах автоколебаний.

Достоинством данного метода является сравнительная простота реализации и непосредственная связь диагностического признака с процессом скольжения колеса по рельсу, а также надежность обнаружения боксования при указанном типе привода.

Недостатком данного метода является то, что он зависит от склонности привода к развитию автоколебаний при боксовании. Наилучшими видами приводов для использования данного метода является привод с осевым редуктором, в том числе и групповой привод тепловозов с гидropередачей. Кроме того, использование данного метода связано с существенным проскальзыванием колес по рельсу, необходимому для возникновения автоколебаний.

Способы, основанные на изменении свойств динамической системы экипажа при боксовании. При скольжении колеса по рельсу даже без возникновения автоколебаний меняются упругодиссипативные свойства системы, что меняет характер динамических процессов в них. П.А. Коропцом в работе [6], в каче-

стве информативного признака для прогнозирования буксования было предложено принять продольные ускорения буксы. В частности, был создан и испытан экспериментальный образец устройства прогнозирования буксования, принцип работы которого основан на сравнении статистических характеристик пространственных колебаний буксы, вычисляемых за различные интервалы времени. Данное направление является перспективным в связи с тем, что в качестве информативного признака можно использовать оценки различных свойств динамической системы привода (затухание колебаний и т.п.), однако для

Заключение

Из изложенного следует, что на практике имеет смысл комбинировать все три вышеизложенных подхода для выявления начала буксования по различным признакам.

В качестве новых принципов распознавания начала буксования локомотива можно использовать следующие информативные признаки:

– разницу в окружной скорости колесной пары и поступательной скорости рельса, измеренной путем анализа изменения изображения пути при движении;

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Космодамианский А.С. [и др.]. Концепция развития энергосберегающих электромеханических систем: монография / под ред. академика Академии электротехн. наук Рос. Федерации, д-ра техн. наук, проф. А.С. Космодамианского. Орел: Госуниверситет–УНПК, 2014. 244 с.
2. Патент РФ на изобретение № 2758991. СПК В61С 15/08 (2021.08); В60L 15/20 (2021.08); В60L 2200/26 (2021.08) Устройство для обнаружения начала процесса буксования колесных пар локомотива. / Воробьев В.И., Измеров О.В., Антипин Д.Я., Корчагин В.О. Опубл. 08.11.2021, бюл. № 31.
3. Воробьев В.И., Дорофеев А.Г., Измеров О.В., Борзенков М.И., Пугачев А.А., Злобин С.Н., Копылов С.О.
4. Автоколебательные процессы в транспортных системах: монография. Орел, ОГУ имени И.С. Тургенева, 2016. 127 с.

этого требуются дальнейшие исследования.

Основным достоинством данного метода является то, что он может быть применен практически для любого типа тягового привода, и в принципе позволяет предсказывать увеличение относительного скольжения колесной пары по рельсу при незначительной его величине.

Недостатком данного метода является необходимость натурных исследований свойств динамической системы привода конкретного локомотива в режиме буксования для определения статистических характеристик, используемых для распознавания начала буксования.

– возникновение автоколебаний при скольжении колеса по рельсу;

– изменение статистических характеристик динамической системы тягового привода и экипажа при скольжении колеса по рельсу.

Для определения скольжения колеса по рельсу имеет смысл использовать все перечисленные информативные признаки для сокращения числа ложных оценок начала скольжения.

5. Антипин Д.Я., Воробьев В.И., Измеров О.В., Космодамианский А.С., Корчагин В.О., Новиков А.С., Пугачев А.А. Проектирование тяговых приводов локомотивов с учетом фрикционных автоколебаний. Брянск, БГТУ, 2016 – 180 с.
6. Антипин Д.Я., Воробьев В.И., Измеров О.В., Корчагин В.О., Космодамианский А.С. Проблемы снижения уровня фрикционных автоколебаний в тяговых приводах рельсового подвижного состава [Текст]+[Электронный ресурс]: монография / Брянск, БГТУ, 2017. 188с.
7. Коропец П.А. Прогнозирование буксования колесных пар локомотива по характеристикам динамических процессов в системе "экипаж - тяговый привод - путь": диссертация кандидата технических наук : 05.22.07 / Коропец Петр Алексеевич; [Место защиты: Рост. гос. ун-т путей сообщ.]. Ростов-на-Дону, 2007. 163 с.

REFERENCES

1. Kosmodamiansky AS. The concept of developing energy-saving electromechanical systems: monograph. Orel: Gosuniversitet–UNPK; 2014.
2. Vorobyev VI, Izmerov OV, Antipin DYa, Korchagin VO. RF Patent for invention No. 2758991. SEC B61C 15/08 (2021.08); B60L 15/20 (2021.08); B60L 2200/26 (2021.08) Device for detecting the beginning of locomotive wheel pairs slippage. 2021 Nov 08.
3. Vorobyev VI, Dorofeev AG, Izmerov OV, Borzenkov MI, Pugachev AA, Zlobin SN, Kopylov SO. Self-oscillating processes in transport systems: monograph. Orel: OSU named after Turgenyev; 2016.
4. Antipin DYa, Vorobyev VI, Izmerov OV, Kosmodamiansky AS, Korchagin VO, Novikov AS, Pugachev AA. Design of traction drives of locomotives taking into account frictional self-oscillations. Bryansk: BSTU; 2016.
5. Antipin DYa, Vorobyev VI, Izmerov OV, Korchagin VO, Kosmodamiansky AS. Problems of reducing the level of frictional self-oscillations in traction drives of rail rolling stocks: monograph. Bryansk: BSTU; 2017.
6. Koropets PA. Prediction of locomotive wheel pairs slippage according to the characteristics of dynamic processes in the carriage - traction drive – railway track system [dissertation]. [Rostov-on-Don (RF)]: Rostov State Transport University; 2007.

Информация об авторах:

Кожухов Иван Андреевич, аспирант кафедры «Подвижной состав железных дорог», тел. 8(909)2457152.

Болдырев Алексей Петрович, доктор технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», тел. 84832560466.

Kozhukhov Ivan Andreevich – Postgraduate Student of the Department of Railway Rolling Stock; phone: 8(909)2457152.

Boldyrev Aleksey Petrovich - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock; phone: 84832560466.

Лозбинец Федор Юрьевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Подвижной состав железных дорог», тел. 84832560466.

Антипин Дмитрий Яковлевич, кандидат технических наук, доцент, директор учебно-научного института транспорта, тел. 84832560466.

Lozbinev Fedor Yuryevich - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Railway Rolling Stock; phone: 84832560466.

Antipin Dmitry Yakovlevich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport; phone: 84832560466.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.

Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 05.10.2022; одобрена после рецензирования 17.01.2023; принята к публикации 26.01.2023. Рецензент – Волохов Г.М., доктор технических наук, заведующий отделением динамики и прочности подвижного состава и инфраструктуры Акционерного общества «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава», член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 05.10.2022; approved after review on 17.01.2023; accepted for publication on 26.01.2023. The reviewer is Volokhov G.M., Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Rolling Stock and Infrastructure Dynamics and Strength of "Research and Development and Technological Institute of Rolling Stock", member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.