

УДК 62-368; 625.032; 629.025; 629.4.063.8

С.А. Исупов, С.П. Круглов

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

СИСТЕМЫ ПЕСКОПОДАЧИ ПОД КОЛЕСА СОВРЕМЕННЫХ ЛОКОМОТИВОВ

Аннотация. в данной статье рассматриваются такие термины как боксование и юз, причины их возникновения, сопутствующие этим явлениям термины. Так же рассматриваются отрицательные свойства этих явлений, ухудшающих динамику и влияющих на безопасность движения подвижного состава, а также влекущих за собой дополнительные расходы. Речь идет о борьбе с боксованием и юзом при помощи добавления в зону контакта колеса и рельса, дорогостоящего и специально подготовленного модификатора трения (кварцевый песок), который способен увеличить коэффициент сцепления до 20%. Рассматривается данный метод на примере локомотива ВЛ85, произведен анализ данной системы и выявлен недостаток, заключающийся в отсутствии автоматической системы регулирования подачи песка, способной подстраиваться под конкретные условия эксплуатации. Исходя из этого выявлена проблема в качестве систем регулирования пескоподачи, и поставлена задача по критическому анализу существующих систем защиты от боксования и юза, и их классификации. Для классификации существующих систем защиты от боксования и юза решено использовать системы, представленные и описанные в различных патентах, а также на примере локомотива ВЛ85. Во время анализа и классификации, выявлены условия эксплуатации, параметры локомотива и факторы, которые влияют на коэффициент трения в зоне соприкосновения колеса локомотива с рельсом. В ходе данной работы сделан вывод о необходимости создания системы, которая учитывала бы все факторы, влияющие на условия и параметры, обеспечивающие наилучший коэффициент трения в контакте колеса и рельса локомотива.

Ключевые слова: боксование, противобоксующие устройства, скорость скольжения, пескоподача, коэффициент трения.

S.A. Isupov, S.P. Kruglov

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

SAND FEEDING SYSTEMS UNDER THE WHEELS OF MODERN LOCOMOTIVES

Abstract. This article discusses such terms as boxing and SW, the causes of their occurrence, the terms accompanying these phenomena. The negative properties of these phenomena are also considered, which worsen the dynamics and affect the safety of rolling stock movement, as well as entail additional costs. We are talking about the fight against boxing and skidding by adding an expensive and specially prepared friction modifier (quartz sand) to the contact zone of the wheel and rail, which is able to increase the coefficient of adhesion up to 20%. This method is considered on the example of the VL85 locomotive, an analysis of this system is carried out and a disadvantage is revealed, which consists in the absence of an automatic sand supply control system capable of adapting to specific operating conditions. Based on this, a problem has been identified in the quality of sand supply control systems, and a task has been set for a critical analysis of existing anti-boxing and SW protection systems, and their classification. It was decided to use the systems presented and described in various patents, as well as on the example of the VL85 locomotive, to classify the existing anti-boxing and anti-skid protection systems. During the analysis and classification, the operating conditions, locomotive parameters and factors that affect the coefficient of friction in the area of contact of the locomotive wheel with the rail were revealed. In the course of this work, it is concluded that it is necessary to create a system that would take into account all the factors affecting the conditions and parameters that ensure the best coefficient of friction in the contact of the wheel and the rail of the locomotive.

Keywords: boxing, anti-boxing devices, sliding speed, sand delivery, coefficient of friction.

Введение

В настоящее время на территории Российской Федерации по данным бюллетеня о текущих тенденциях российской экономики до 87% грузоперевозок осуществляется железнодорожным транспортом (без учета трубопроводного транспорта) [1]. Высокий спрос на железнодорожные услуги, приводит к немалому износу железнодорожных путей (профиля пути), рельсов и локомотивов (на сегодня износ локомотивов в среднем равен 73%) [2]. Одними из факторов, влияющих на износ составляют боксование и юз.

Боксование – термин, применяемый на железнодорожном транспорте для обозначения явления проскальзывания колёсных пар локомотива или мотор-вагонного подвижного

состава по отношению к поверхности рельса на режимах тяги, при котором поверхность качения колёсной пары имеет линейную скорость относительно корпуса локомотива выше, чем поверхность рельса, по которой колёсная пара катится. После срыва в боксование коэффициент трения между колесом и рельсом резко уменьшается и самопроизвольно боксование прекратиться уже не может. Длительное не прекращающееся боксование называется разносным боксованием. Противоположным боксованию является юз, соответствующий режиму торможения, здесь поверхность качения колёсной пары имеет линейную скорость относительно корпуса локомотива меньше (включая нулевую – заклинивание колес), чем поверхность рельса.

Современные тепловозы и электровозы, оснащенные мощными асинхронными тяговыми двигателями, имеющими высокий номинальный электромагнитный момент, могут перевозить тяжеловесные составы и достигать в процессе работы предельных по сцеплению тяговых или тормозных усилий даже в хороших условиях сцепления. При этом скорость проскальзывания колес в контакте колесо-рельс увеличивается выше некоторого критического значения, и рабочая точка тягового электропривода переходит в зону буксования (или юза), что может сопровождаться ухудшением тормозных и тяговых свойств, увеличением динамических нагрузок и износа [3].

Боксование и юз отрицательно влияют на динамику движения поезда, так как нарушаются режимы разгона и торможения поезда. Из-за этого возникает проблема, связанная с безопасностью движения железнодорожного состава. Данной проблеме так же сопутствуют ряд неблагоприятных явлений, таких как разрушение рельсов и колесных пар, выход из строя оборудования локомотива и др., что тоже может повлиять на безопасность движения поезда.

Возникновение боксования и юза

Боксование и юз возникают при превышении тяговой или тормозной силы, приложенной к колесу со стороны локомотива, над силой сцепления колеса с рельсом [4].

Боксованию и юзу способствуют:

- превышение расчетного веса поезда для данного участка;
- увлажнение поверхности рельса (дождь, изморозь, туман);
- загрязнение поверхности рельса или поверхности катания бандажа колёсной пары (масла, пыль, листопад, трава);

Так же данную проблему вызывают множество других факторов [5].

Как говорилось ранее, боксование и юз пагубно влияют на динамику движения поезда, и безопасность движения из-за таких последствий как:

- уменьшение силы тяги локомотива при боксовании колесных пар, влечет за собой остановку поезда на подъемах;
- резкое увеличение частоты вращения тяговых двигателей, может вызвать круговой огонь по коллектору, привести к выходу из строя силового тягового оборудования;
- размотка бандажа якоря тягового двигателя, т.к. увеличиваются центробежные силы, действующие на якорную обмотку;
- излом зубьев шестерни и зубчатого колеса вследствие резкого прекращения боксования;
- излом подвески тягового двигателя;
- проворот бандажей колесных пар [6].

Для предотвращения или уменьшения пагубных влияний существует множество методов борьбы с боксованием и юзом, одним из которых является подсыпка модификатора трения в зону контакта колеса с рельсом, чаще всего – это подсыпка песка [2].

Данный метод является одним из эффективных путей решения рассматриваемой проблемы. Осуществляется это с помощью бункеров с песком и форсунок, направленных под колёсную пару и связанных с системой подачи сжатого воздуха. Производится при помощи системы пескоподачи в зону контакта «колесо-рельс». В состав системы

пескоподачи входит: система управления, электропневматические клапаны песочниц (работающие в релейном режиме), песочницы.

Рассмотрим пневматическую систему пескоподачи под одну из тележек на примере локомотива ВЛ85 (см. рис. 1).

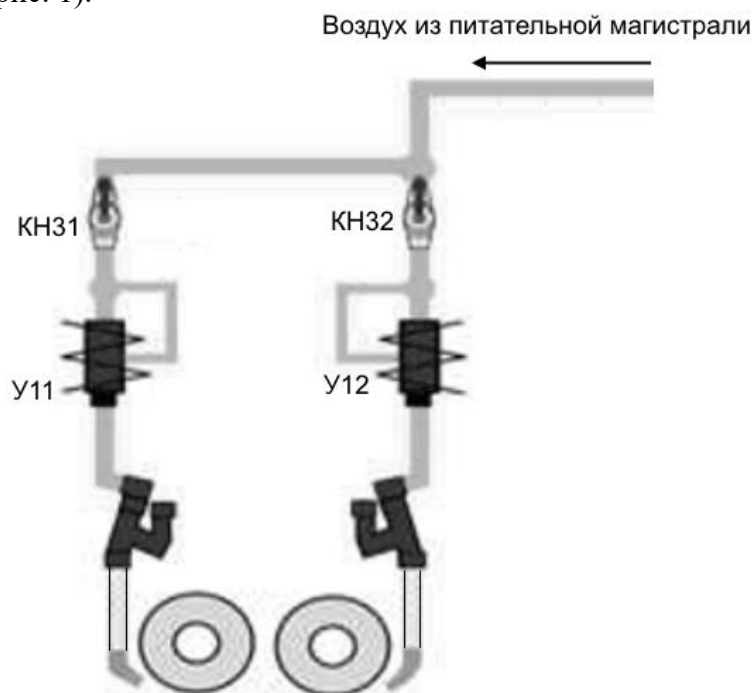


Рисунок 1 – Пневматическая схема подачи песка

Сжатый воздух из питательной магистрали по трубопроводу, через разобщительные краны (КН31 КН32) подходит к электропневматическим клапанам песочниц (У11, У12). При выявлении факта боксования происходит подача питания на электропневматический клапан, который срабатывает и пропускает сжатый воздух к форсункам. Данная пневматическая схема, работает в релейном режиме, с протяженностью импульсов в 1-1,5 с.

К недостатку в данной системе можно отнести то, что при автоматическом обнаружении факта боксования (юз) и срабатывании автоматики происходит независимо от условий движения одинаковый процесс подсыпки песка. Это выражается в том, что количество подаваемого песка всегда одинаково вне зависимости от конкретных условий, не обеспечивается минимально необходимое количества расхода песка для конкретного случая. В системе, правда, имеется ручная регулировка интенсивности пескоподачи, но машинист не может постоянно следить за текущей ситуацией и выставляет интенсивность пескоподачи «с запасом».

Данная проблема распространена не только на рассмотренном локомотиве, поэтому есть необходимость в постановке задачи проведения анализа существующих систем защиты от боксования и юза, и их классификации.

Целью данного исследования является анализ существующих систем защиты от боксования и юза, их критический анализ, и их классификация.

Существующие системы управления пескоподачей под колеса локомотива

Существующие системы управления пескоподачей под колеса локомотива можно классифицировать следующим образом:

- 1) по обратной связи;
- 2) по параметрам управляющего сигнала;
- 3) по типу предварительной подготовки песка

Классификация по обратной связи. Известно, что для регулирования количества подачи песка, под колеса локомотива, используются системы, в которых имеется обратная связь, для

выявления факта боксования и сопутствующих параметров. Можно привести три примера данных систем, с разным качеством обратной связи:

а) определяется только сам факт боксования или его отсутствие (дискретный сигнал), – это реализовано в локомотиве ВЛ85. В данной системе, пескоподача может происходить по сигналу с реле боксования, которое активирует реле времени, обеспечивающего включение пескоподачи, и замедление вращения буксующих колесных пар локомотива на 1-1.5 секунды. Если по истечении этого времени боксование не прекратилось, то процедура повторяется [7]. Данная система способна увеличить коэффициент сцепления колеса с рельсом до 20%, но она не приспособлена к внешним возмущениям, а значит всегда будет подавать песок с избытком, что неблагоприятно сказывается на множестве факторов, связанных с динамикой, износом и безопасностью движения поезда [4].

б) определяется факт боксования (дискретный сигнал), и скорость движения локомотива в виде ее величины (непрерывный сигнал). К таким системам можно отнести патент [8]. Он разработан на основе системы пескоподачи локомотива ВЛ85, но при этом, в данной системе учитывается скорость локомотива. В нем предлагается менять длительность импульсов управляющих подачей песка в зависимости от скорости движения локомотива. Данное решение позволит избежать избыточную подачу песка при трогании поезда и низкой скорости движения и недостаточную пескоподачу при скоростях более 40 км/ч.

У данной системы так же имеется недостаток – она не учитывает скорость боксования, и в тех случаях, когда скорость боксования низкая, подача песка будет осуществляться интенсивно, что повлечет за собой увеличенный расход песка. Это так же может пагубно повлиять на динамику, износ и безопасность движения поезда.

в) определяется факт боксования и скорость боксования (непрерывный сигнал), и скорость движения (непрерывный сигнал). Данными свойствами обладает система [9], в которой предлагается устройство импульсного управления пескоподачей, которое связано со скоростью боксования и скоростью движения. Данное решение обладает недостатком, заключенном в том, что из внешних факторов учитывается только скорость движения локомотива, а для того, чтобы полностью учесть текущее состояние сцепления, необходимо учитывать такие факторы как погодные условия, подъем в гору, спуск и пр.

Так же к таким устройствам можно отнести устройство для контроля потока распыляемого материала в транспортных средствах [10]. В данном устройстве, для повышения эффективности, предлагается вход блока импульсным прерывателем соединить с выходом датчиков скорости скольжения колесных пар. Данное решение позволяет не только подавать модификатор трения в зависимости от скорости скольжения колесных пар, но может отследить количество подаваемого материала. Пусть данное решение и способно управлять форсунками в зависимости от скорости скольжения колесных пар, но оно не учитывает внешних возмущений, таких как скорость движения локомотива или погодные условия.

Классификация по параметрам управляющего сигнала. К таким, можно отнести системы:

а) работающие в релейном режиме, такие, как электровоз ВЛ85.

б) работающие по сигналу с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ); в современных магистральных локомотивах используют на большинстве современных локомотивов, причем частота генератора импульсов обычно равна 0,5-0,6 Гц (период $T=2-1,66$ сек) при постоянном коэффициенте заполнения импульсного цикла γ , равного 0,3-0,4, т.е. при длительности импульса напряжения τ и, равной 0,6-0,7 сек ($\gamma=\tau/T$)[11].

в) форма сигнала управления подсыпкой, позволяющая равномерно распределить песок по рельсу, например, такие как в авторском свидетельстве СССР № 783086 [12]; в данном изобретении предлагается не только управлять запыленностью импульсов в зависимости от скорости движения локомотива, но и так же обеспечивать равномерное покрытие рельс песком, если пескоподача производится с форсунок, установленных на разных тележках. Данное решение позволяет не подавать песок на участок пути, на котором уже был насыпан

другой форсункой, что говорит нам об эффективности использования песка; у данной системы есть недостаток, относящийся к качеству обратной связи – пусть количество выдаваемого песка и регулируется в зависимости от скорости, но зависимости от скорости боксования у данной системы нет, это говорит о непригодности системы к внешним возмущениям, таким как подъем в горку или спуск с нее, погодным условиям и другим явлениям.

Классификация по типу предварительной подготовки песка. Известно, что коэффициент трения зависит от внешних условий, таких как температура, влажность и др. [13]. Данный фактор учитывается в изобретении RU 2252166 [14]. Сущность данного изобретения заключается в том, что в момент начала боксования колеса с рельсом осуществляют подачу воздуха в область их контакта со скоростью и температурой при которых коэффициент сцепления будет максимальным. Подача воздуха из сопла форсунки осуществляется со скоростью не менее 85 м/с и его температурой 375-430 °С, а перепад давления в сопле форсунки на входе и выходе обеспечивается равным 5-15 кгс/см². Данные условия позволяют обеспечить максимальные коэффициент сцепления, но данная система сложна в реализации.

Подобным образом работает система, описанная в патенте RU 2504492 [15]. В отличие от предыдущей системы, здесь предлагается температуру сделать не постоянной величиной, а меняющейся в зависимости от температуры внешнего воздуха. Это обеспечит наиболее высокий коэффициент сцепления в зимний период и меньшие энергозатраты на подогрев песка в летний период. Данная система так же сложна в реализации, поскольку систему необходимо обеспечить мощным нагревательным элементом и устройством, регулирующим его работу.

Заключение

Проанализировав положительные и отрицательные свойства существующих систем защиты от боксования и юза путем подачи песка под колеса локомотива, можно сделать вывод, что увеличение коэффициента трения можно обеспечить, учитывая:

- параметры, относящиеся к виду обратной связи (дискретная, непрерывная), такие как скорость боксования или текущая скорость локомотива;
- параметры относящиеся к типу регулирования, такие как ширины импульса пескоподающей форсунки или потока песковоздушной смеси;
- параметры, относящиеся к внешним воздействиям, таким как погодные условия, уклон пути, кривизна пути и пр.

Среди представленных систем нет таких, которые учитывали бы все эти факторы. Поэтому предлагается реализовать систему, которая будет учитывать не только факт боксования и юза, но и скорость скольжения, а так же сможет подстраиваться под внешние воздействия. Такими свойствами может обладать адаптивная система управления пескоподачей, способная функционировать в условиях текущей неопределенности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. Выпуск No 53, сентябрь 2019 – 14с.
2. Г.В. Самме: Фрикционное взаимодействие колесных пар локомотива с рельсами. Монография, Москва 2005г – 79с.
3. Тарасов А. Н. Управление асинхронными тяговыми электродвигателями тележки локомотива в предельных по сцеплению режимах движения. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Брянский государственный технический университет 2017 - 144с.
4. П.В. Соколов, С.П. Круглов: Системы защиты от боксования и юза современных локомотивов и вопросы их совершенствования. Сборник трудов НПК «Проблемы транспорта Восточной Сибири» ИрГУПС, 2011, с 75-81.
5. ФИЛИАЛ ОАО «РЖД» ДИРЕКЦИЯ ТЯГИ РАСПОРЯЖЕНИЕ 1 марта 2013г. Об утверждении «Памятки локомотивной бригаде по недопущению боксования колесных пар локомотива» - 5с.
6. Министерство образования Российской Федерации Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий, Выбор электродвигателя постоянного тока по мощности и расчетпереходного процесса пуска, 2000г, 20с.
7. Б. А. Тушканов, Н. Г. Пушкарев, Л. А. Позднякова, В. П. Ярош, Ю. В. Соболев, А. А. Матлахов, Э. В. Украинский, Т. Ф. Андрющенко, А. А. Кривун, А. И. Стрельцов, Б. К. Михеев, Ю. А. Орлов, Н. А. Париченко, Е. А. Закись, П. К. Штепенко, Е. Ф. Шестаков: Электровоз ВЛ85. Руководство по эксплуатации. М. «Транспорт» 1992 – 480с.
8. Патент RU 2347698, Устройство для импульсной подачи песка под колеса локомотива. Дедов А.А., Ляпустин В.Н., Феоктистов В.П. Опубликовано 22.02.2008, Бюллетень №6.
9. Патент RU 2347698, Устройство для импульсной подачи песка под колеса локомотива. Дедов А.А., Ляпустин В.Н., Феоктистов В.П. Опубликовано 22.02.2008, Бюллетень №6.
10. Патент RU 2351479, Устройство для контроля потока распыляемого материала в транспортных средствах. Бартлинг Вернер. Опубликовано 10.04.2009, Бюллетень № 10.
11. Бочаров В.И. и др. «Магистральные электровозы». М., Энергоатомиздат, 1994 г., стр.316-324.
12. Авторское свидетельство СССР № 783086, Способ управления форсунками для подачи песка под колеса рельсового транспортного средства, А.С. Дятлов, В.П. Феоктистов, Ю.Ю. Чувирин, А.И. Чуматов. Опубликовано 30.11.80, Бюллетень № 44.
13. Крагельский И.В., Трояновская Г.И. Влияние температурного режима на фрикционные характеристики // Исследования по физике твердого тела. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – С.56 – 64.
14. Патент RU 2252166, Способ повышения сцепных свойств рельсового транспортного средства и устройство для его осуществления. Ломанов А. В., Щурин К. В., Слутин А. Ф. Опубликовано 20.05.2005 Бюл. № 14.
15. Патент RU 2504492 С1, Способ увеличения сцепления колеса с рельсом. Керопян Амбарцум Мкртичевич, Лужнов Юрий Михайлович. Опубликовано 20.01.2014 Бюл. № 2

REFERENCES

1. Bulletin on the current trends of the Russian economy. Issue No. 53, September 2019 - 14с.
2. G.V. Samme: Frictional interaction of locomotive wheel pairs with rails. Monograph, Moscow 2005g - 79с.
3. Tarasov A. N. Control of asynchronous traction electric motors of a locomotive bogie in traction-limiting driving modes. Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. Bryansk State Technical University 2017 - 144с.

4. P.V. Sokolov, S.P. Kruglov: Systems of protection against boxing and swinging of modern locomotives and issues of their improvement. Collection of works of the RPC "Problems of transport in Eastern Siberia" IrGUPS, 2011, pp. 75-81.

5. BRANCH of JSC "Russian Railways" TRACTION DIRECTORATE ORDER March 1, 2013. On the approval of the "Memo to the locomotive crew on preventing the boxing of locomotive wheelsets" - 5s.

6. The Ministry of education of the Russian Federation St. Petersburg state University of refrigeration and food technologies, the Choice of a DC motor of power and rescattering start-up process, 2000, 20С.

7. B. A. Tushkanov, N. G. Pushkarev, L. A. Pozdnyakov, V. P. Jaros, J. V. Sobolev, A. A. Matlashov, E. V., Ukrainian, T. F. Andryushchenko, A. A. Krivun, A. I. Streltsov, K. B. Mikheev, Yu. A. Orlov, N. A. Pasichenko, E. A. Nitrous, P. K. Shtepenko, E. F. Shestakov: Electric ВЛ85. Operating manual. М. "Transport" 1992 - 480s.

8. Patent RU 2347698, A device for pulsed sand feeding under the wheels of a locomotive. Dedov A.A., Lyapustin V.N., Feoktistov V.P. Published 22.02.2008, Bulletin No. 6.

9. Patent RU 2347698, A device for pulsed sand supply under the wheels of a locomotive. Dedov A.A., Lyapustin V.N., Feoktistov V.P. Published 22.02.2008, Bulletin No. 6.

10. Bocharov V.I. et al. "Mainline electric locomotives". М., Energoatomizdat, 1994, pp.316-324.

11. Copyright certificate of the USSR No. 783086, A method for controlling injectors for feeding sand under the wheels of a rail vehicle, A.S. Dyatlov, V.P. Feoktistov, Yu.Yu. Chuverin, A.I. Chumatov. Published on 11/30/80, Bulletin No.44.

12. Patent RU 2351479, A device for controlling the flow of sprayed material in vehicles. Bartling Werner. Published on 10.04.2009, Bulletin No. 10.

13. Kragelsky I.V., Troyanovskaya G.I. Influence of temperature regime on friction characteristics // Studies in solid state Physics. - М.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1957. - pp.56-64.

14. Patent RU 2252166, A method for improving the coupling properties of a rail vehicle and a device for its implementation. Lomanov A.V., Shchurin K. V., Slutin A. F. Published on 05/20/2005 Byul. No. 14.

15. Patent RU 2504492 C1, A method for increasing wheel-rail coupling. Keropyan Ambartsum Mkrtichevich, Luzhnov Yuri Mikhailovich. Published on 20.01.2014 Byul. No. 2

Информация об авторах

Исупов Станислав Андреевич – Аспирант гр. ИВТ.6-20-1, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: vclvloo@gmail.com

Круглов Сергей Петрович – д. т. н., профессор, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей

Information about the author

Isupov Stanislav Andreevich – Aspirant of gr.IVT.6-20-1, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: vclvloo@gmail.com

Kruglov Sergey Petrovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kruglov_s_p@mail.ru