

**В.Б. КЛЕПИКОВ**, д.т.н., проф. НТУ «ХПИ»;  
**А.В. ТИМОЩЕНКО**, ст. преп. НТУ «ХПИ».

## КОБИНИРОВАННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ БУКСОВАНИЯ И ЮЗА КОЛЕС РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММИРУЕМОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ СХЕМЫ

**Введение.** Одной из проблем в рельсовом электротранспорте, является буксование и юз колес [1,2]. При буксовании снижается производительность, а при юзе – безопасность движения. Избыточное проскальзывание колес относительно рельсов вызывает также и другие негативные эффекты: ускоренный износ бандажей колес и рельсов, увеличение потерь энергии, кроме того в таких режимах возможно возникновение, так называемых, фрикционных автоколебаний (АКФ). Шахтные условия (наличие влаги, угольной пыли) благоприятствует возникновению буксования и юза, поэтому для рудничных электровозов (РЭ) устранение вышеуказанных явлений особо актуально. При этом в режимах разгона и торможения целесообразно иметь возможность автоматического обеспечения максимальной силы сцепления. Известен случай, когда на шахтах Донбасса в течение года около 150 РЭ вышли из строя из-за вызванных АКФ поломок осей колесных пар [3]. Для создания системы автоматического обеспечения максимальной силы сцепления необходимо простым и надежным образом определять начало пробуксовки с целью своевременного регулирования скорости электропривода (ЭП). Известные устройства обнаружения буксования избыточного проскальзывания с помощью холостого ролика, радиолокационного метода, на основе эффекта Доплера, по скачку ускорения и другие [4,5], либо малонадежны, либо их использование в шахтных условиях затруднительно. В [6] предложено определять факт возникновения буксования по наличию в токе электродвигателя (ЭД) пульсаций с частотой фрикционных автоколебаний (АКФ). Однако данные автоколебания возникают при наличии в характеристике сцепления так называемого «падающего» участка, на котором увеличение скорости скольжения сопровождается снижением силы сцепления [7]. Между тем из-за наличия влаги, угольной пыли работа рудничного электровоза (РЭ) зачастую протекает в условиях низких значений потенциального (наибольшего) коэффициента сцепления ( $\Psi \leq 0.1$ ) [8]. При таких значениях падающий участок отсутствует, вследствие чего надежность обнаружения избыточного проскальзывания существенно снижается. В [9] экспериментально подтверждено существование фрикционных колебаний (ФК) с частотой пропорциональной скорости колеса и достаточно большой амплитудой. Эти колебания возникают при избыточном проскальзывании вследствие наличия колебания силы нормального давления (СНД), обуславливаемой, например, незначительным эксцентриситетом колеса, порождая вследствие нелинейности характеристики трения даже при отсутствии падающего участка, колебания в кривой тока электродвигателя.

**Постановка задачи.** В настоящей работе предлагается обеспечить повышение надежности определения факта возникновения буксования за счет одновременного анализа пульсаций в кривой тока ЭД РЭ по двум каналам, один из которых выделяет наличие фрикционных автоколебаний, а второй – фрикционных колебаний, используя для этого программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС).

**Материалы исследования.** Процедура обработки сигнала тока иллюстрируется рис. 1. Сигнал с датчика тока поступает на фильтр нижних частот (ФНЧ), который устраняет из сигнала тока, составляющие выше 1 кГц. Выходной сигнал ФНЧ поступает на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), а с его выхода – на ПЛИС, в которой реализованы 2 параллельных канала определения буксования.

В канале АКФ определяются пульсации в кривой тока с частотой фрикционных автоколебаний по своему значению, близкой к частоте упругих колебаний. С этой целью в ПЛИС реализован полосовой фильтр (ПФ) с конечной импульсной характеристикой (КИХ), настроенный на частоту вышеуказанных колебаний, который выделяет таким образом сигнал, появляющийся в результате избыточного проскальзывания. Пост-обработка выходного сигнала ПФ, выполняется по алгоритму, показанному на рис. 2, и осуществляет вычисление средне-квадратичного значения сигнала за период колебаний. Данное значение сравнивается с некоторым пороговым значением уставки, исключающим дальнейшее прохождение сигнала от случайных возмущений упругих колебаний. В случае её превышения формируется сигнал буксования. Временные диаграммы, поясняющие процесс определения буксования по пульсациям тока с частотой АКФ показаны на рис. 3. На рис.3а, приведен входной частотно модулированный тестовый сигнал с постоянной составляющей, с диапазоном изменения частот от 0.1 до 150 Гц за временной интервал в 40 с., на рис.3б – выходной сигнал ПФ с КИХ, на рис.3в – сигнал буксования.

Во втором параллельном канале определяется наличие в кривой тока пульсации с частотой ФК. Для этого используется анализатор спектра, в котором выполняются следующие процедуры: размещение последних 4096 измерений АЦП в память ПЛИС; разложение совокупности этих измерений на гармонические составляющие по алгоритму быстрого преобразования Фурье [10]; анализ изменений в спектре по сравнению с предыдущей обработкой. Вывод о наличии буксования производится на основании постоянного мониторинга параметров частоты и амплитуды в спектре измеряемого сигнала тока. Быстрое увели-

чение амплитуды по сравнению с предыдущим измерением выше некоторого порогового значения свидетельствует о начале буксования. Работа канала проиллюстрирована временными диаграммами (рис.4). На рис.4б представлен тестовый частотно модулированный входной сигнал, имитирующий сигнал датчика тока. Данный сигнал содержит постоянную составляющую и колебания тока, имитирующие пульсации от ФК, порожденные изменением СНД на колесо. Этот сигнал показывает, что с течением времени имеет место повышение частоты пульсаций от ФК, но при отсутствии буксования (юза) для данной скорости скольжения уровень переменной составляющей ниже. Также имитирующий сигнал датчика тока содержит временные интервалы движения без буксования, что соответствует перемещению рабочей точки по характеристике сцепления в зоне упругого скольжения, например, 0-60 с., 90-150 с. и т.д. и временные интервалы 60-90 с. 150-180 с. и т.д., на которых в соответствии с [9] имеет место возрастание амплитуды ФК. На рис. 4а показан выходной сигнал буксования канала ФК.

На рис.5 приведен спектральный состав тестового сигнала на 33 и 270 секундах расчета, который используется для проверки корректности работы канала определения ФК. В его спектральный состав входит постоянная составляющая равная 100 А., и две гармоники, с течением времени увеличивающиеся по частоте с разными скоростями, и которые при постоянном увеличении частоты циклически изменяют значения своих амплитуд, имитируя явление усиления колебаний. Выходы двух каналов соединены с логическим элементом «ИЛИ», и в случае появления сигнала буксования в одном из каналов, формируется выходной сигнал, наличия буксования.

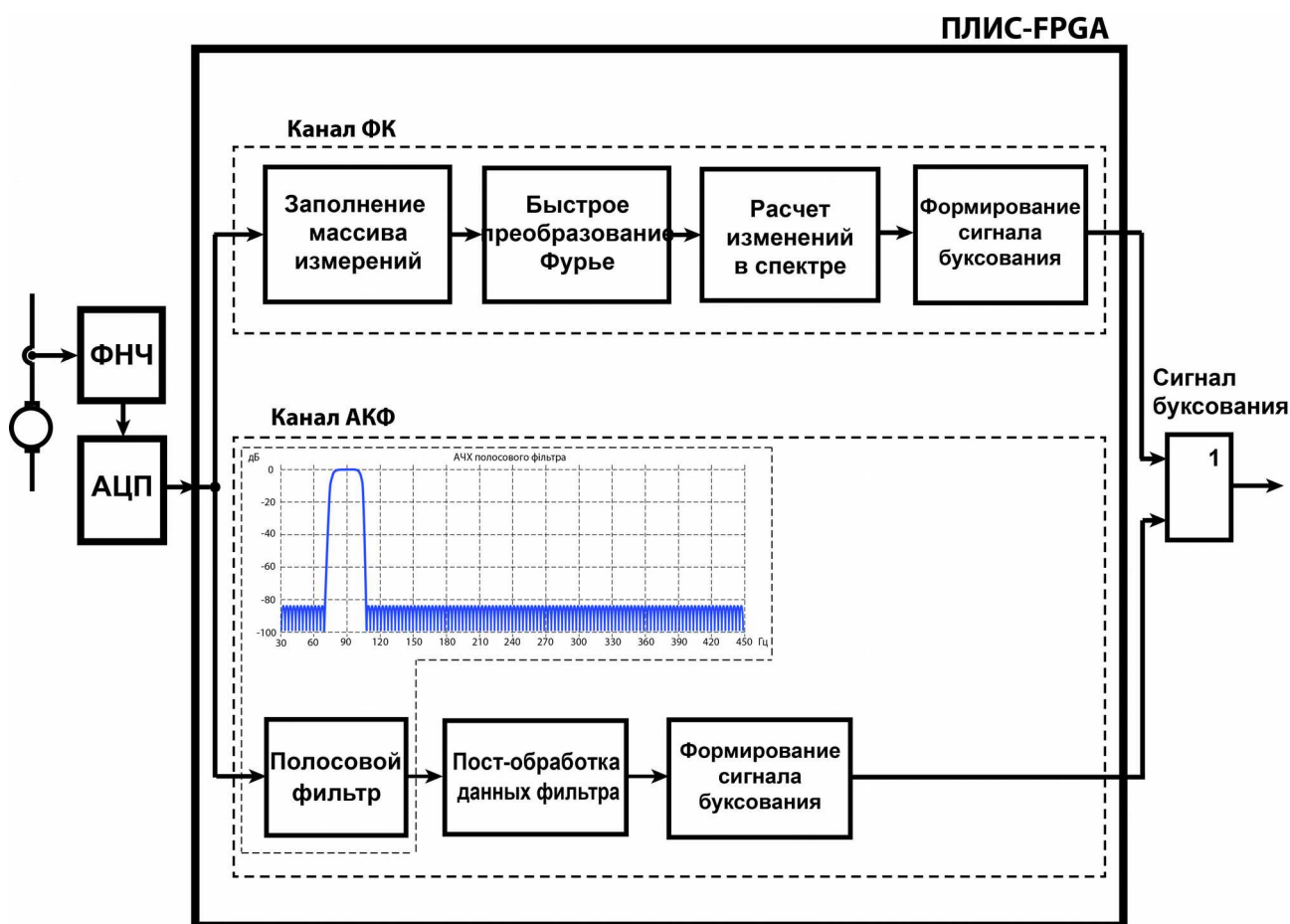


Рис. 1 – Функциональная схема системы определения буксования

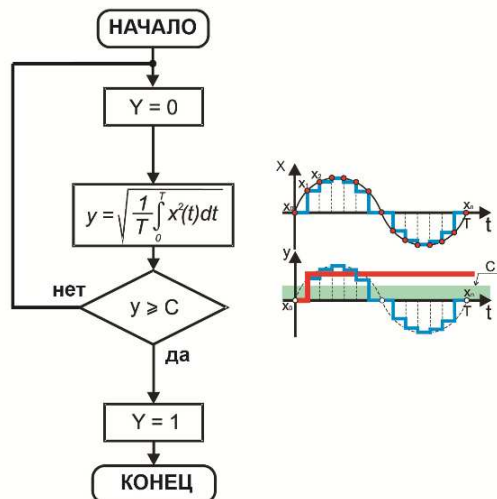


Рис. 2. – Алгоритм пост-обработки данных полосового фильтра

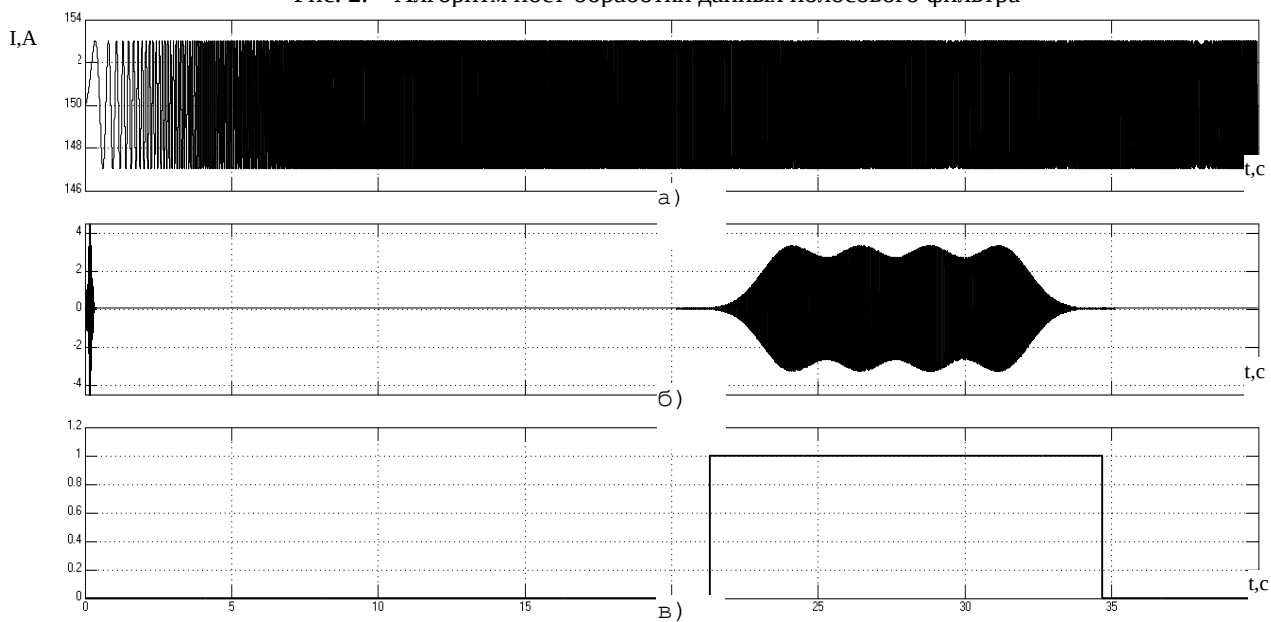


Рис. 3 – Работа канала определения АКФ, где За – входной сигнал, Зб – сигнал на выходе полосового фильтра, Зв – сигнал буксования

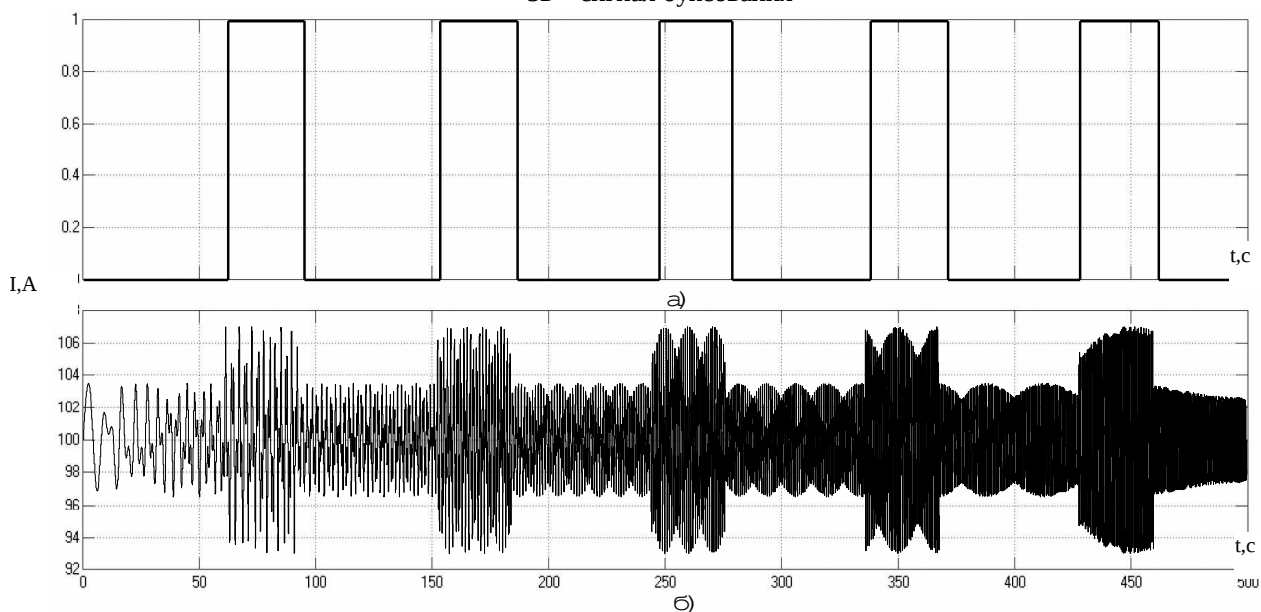


Рис. 4 – Работа канала ФК, где 4а – сигнал буксования, 4б – входной тестовый сигнал

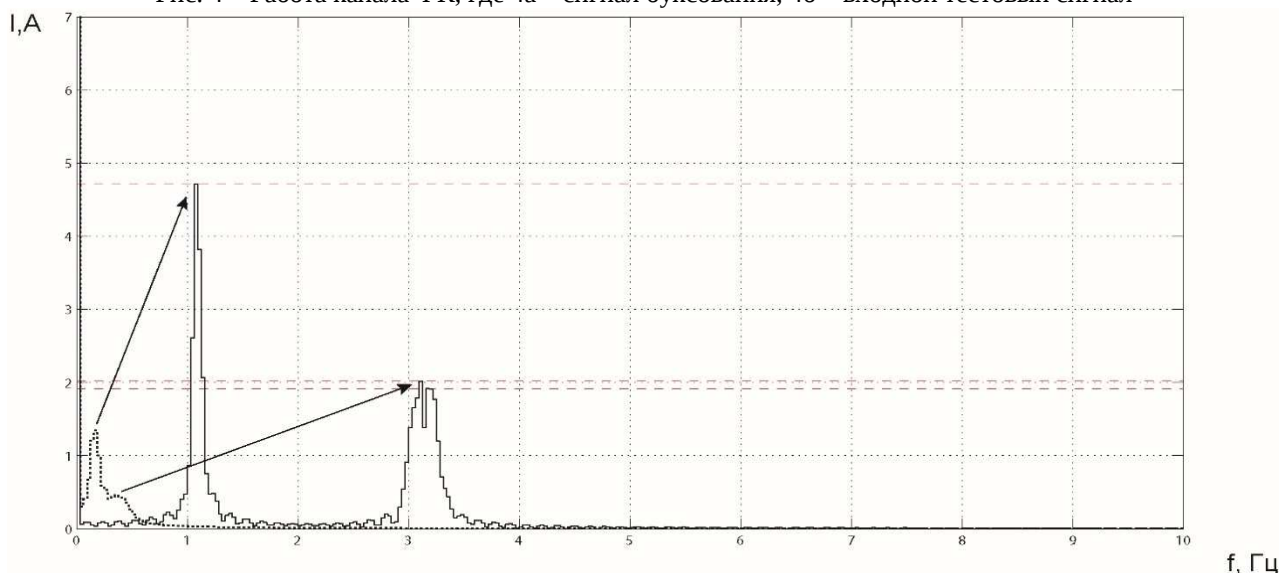


Рис. 5 – Гармонический состав тестового сигнала тока, канала ФК

**Вывод.** Предложена, подтвержденная компьютерным моделированием, методика простого и надежного определения буксования и юза колес рудничного электровоза по результатам анализа пульсаций в токе тягово-го электродвигателя с использованием программируемой логической интегральной схемы.

**Список литературы:** 1. Минов Д.К. Повышение тяговых свойств электровозов и тепловозов с электрической передачей, М., Транспорт, 1965, с.268. 2. Меньшутин Н.Н. Зависимость между силой сцепления и скоростью скольжения колесной пары локомотива: Вестник ВНИИЖТ/ 1960, №7. 3. А.А. Ренгевич, П.С. Шахтарь, К.П. Володько и др. Причины поломок осей рудничных электровозов// Вопросы рудничного транспорта: сб. статей. – М.: Госгортехиздат, 1962. – Вып 6. – С. 192-203. 4. Клепиков В.Б., Кутовой Ю.Н., Касторный П.М., Кеворкян А.Т. Авторское свидетельство СССР № 1641665, Устройство обнаружения буксования и юза колес транспортного средства с электрической передачей, Бюл. №6, 87 г. 5. Клепиков В.Б., Кутовой Ю.Н., Касторный П.М. и др. Авторское свидетельство СССР № 659425, кл. В 60 L 3/10, 1987 Устройство обнаружения буксования и юза колес транспортного средства с электрической передачей, Бюл. №31, 88 г. 6. Клепиков В.Б., Касторный П.М., Колодяжний В.А., Кутовой Ю.М., а.с. СССР № 1418104, Устройство определения буксования и юза колес транспортного засобу з електричною передачею, Бюл. №31, 88 г. 7. Клепиков В.Б. *Динамика электромеханических систем с нелинейным трением: монография/ Харьков: Підручник НТУ "ХПІ", 2014, 407 с.* 8. Костюкевич А.И., Таран И.А, Ковтанец М.В., Ноженко В.С., Экспериментальные исследования характеристик сцепления в контакте «колесо-рельс» при наличии промежуточной среды// «Автомобиле- та тракторобудування». Вісник НТУ «ХПІ». 2011р, с.56-62 9. Клепиков В.Б., Палис Ф., Клепиков А.В. О явлении усиления колебаний в электроприводах машин и механизмов с проскальзыванием//Электротехника, №6, 2004, С.7-11. 10. Сато Юкио. Без паники! Цифровая обработка сигналов. / Юкио Сато: пер.с яп. Селиной Т.Г. М.: «Додэка-XXI», 2010. – 176 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Minov D.K. Povyishenie tyagovyih svoystv elektrovozov i teplovozov s elektricheskoy peredachey, M., Transport, 1965, s.268. 2. Menshutin N.N. Zavisimost mezhdru siloy stsepleniya i skorostyu skolzheniya kolesnoy paryi lokomotiva: Vestnik VNIIZhT/ 1960, #7. 3. A.A. Rengevich, P.S. Shahtar, K.P. Volodko i dr. Prichinyi polomok osey rudnichnyih elektrovozov// Voprosyi rudnichnogo transporta: sb. statey / – M.: Gosgortehizdat, 1962. – Vyip #6. 192-203 Print. 4. Klepikov V.B., Kutovoy Yu.N., Kastorniy P.M., Kevorkyan A.T. Avtorskoe svidetelstvo SSSR # 1641665, Ustroystvo obnaruzheniya buksovaniya i yuza koles transportnogo sredstva s elektricheskoy peredachey, Byul. #6, 87 g. 5. Klepikov V.B., Kutovoy Yu.N., Kastorniy P.M. i dr. Avtorskoe svidetelstvo SSSR # 659425, kl. V 60 L 3/10, 1987 Ustroystvo obnaruzheniya buksovaniya i yuza koles transportnogo sredstva s elektricheskoy peredachey, Byul. #31, 88 g. 6. Klepikov V.B., Kastorniy P.M., Kolodyazhniy V.A., Kutoviy Yu.M., a.s. USSR № 1418104, Ustroystvo opredeleniya buksovaniya i yuza koles transportnogo zasobu z elektrichnoyu peredacheyu, Byul. №31, 88 g. 7. Klepikov V.B. Dinamika elektromehaniicheskikh sistem s nelineynym treniem: monografiya/ Kharkov: Pidruchnik NTU "HPI", 2014. 407 s. 8. Kostyukevich A.I., Taran I.A, Kovtanets M.V., Nozhenko V.S., Eksperimentalnyie issledovaniya harakteristik stsepleniya v kontakte «koleso-reis» pri nalichii promezhutochnoy sredyi// «Avtomobile- ta traktorobuduvannya». VIsnik NTU «HPI». 2011r, 56-62 Print 9. Klepikov V.B., Palis F., Klepikov A.V. O yavlenii usileniya kolebaniy v elektroprivodah mashin i mehanizmov s proskalzyvaniem//Elektrotehnika, #6, 2004, 7-11 Print. 10. Sato Yukio. Bez paniki! Tsifrovaya obrabotka signalov. / Yukio Sato: per.s yap. Selinoy T.G. M.: «Dodeka-XXI», 2010. – 176 s.

Поступила (received) 05.06.2015