

УДК 622.625.28

О. Н. Синчук, д-р техн. наук,
Э. С. Гузов, канд. техн. наук,
В. Л. Дебелый, д-р техн. наук,
Л. Л. Дебелый, канд. техн. наук,
В. О. Черная

К ВОПРОСУ БЕЗДАТЧИКОВОГО КОНТРОЛЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ РУДНИЧНЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

***Аннотация.** Рассмотрены вопросы контроля скорости рудничных электровозов с целью повышения безопасности движения внутришахтного транспорта. Проведен анализ существующих скоростемеров, использующих связь с вращающимися элементами электровоза. Предложено для обеспечения высокой надёжности скоростемера применить бездатчиковый контроль скорости путём использования только электрических параметров режимов работы тяговых двигателей.*

***Ключевые слова:** рудничный электровоз, контроль, скорость, бездатчиковый скоростемер, надёжность, электрические параметры, датчик*

O. Sinchuk, ScD.,
E. Guzov, PhD.,
V. Debeliy, ScD.,
L. Debeliy, PhD.,
V. Chorna

TO THE QUESTION OF SENSORLESS MOVEMENT SPEED CONTROL OF MINE ELECTRIC LOCOMOTIVES

***Abstract.** Questions of the control of speed of the mine electric locomotives with the purpose of increase of traffic safety on the underground transport are considered in the article. Analysis of existing speed, which use direct or indirect relationship with the rotating elements of the electric locomotive is conducted. Authors proposed to ensure high reliability of the speedometer to apply sensorless speed control by using only the electric parameters of traction engines.*

***Keywords:** mine electric locomotive, control, speed, Sensorless the speed gauge, reliability, electrical parameters, sensor*

О. М. Синчук, д-р техн. наук,
Е. С. Гузов, канд. техн. наук,
В. Л. Дебелый, д-р техн. наук,
Л. Л. Дебелый, канд. техн. наук,
В. О. Чорна

ДО ПИТАННЯ БЕЗДАТЧИКОВОГО КОНТРОЛЮ ШВИДКОСТІ РУХУ РУДНИКОВИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

***Анотація.** Розглянуто питання контролю швидкості рудничних електровозів з метою підвищення безпеки руху внутрішахтного транспорту. Проведено аналіз існуючих швидкостемірів, що використовують зв'язок з обертовими елементами електровозу. Запропоновано для забезпечення високої надійності скоростеміра застосувати бездатчиковий контроль швидкості шляхом використання лише електричних параметрів режимів роботи тягових двигунів.*

***Ключові слова:** рудничний електровоз, контроль, швидкість, бездатчиковий швидкостемір, надійність, електричні параметри, датчик*

Введение. Доставка полезных ископаемых, добываемых подземным способом в отечественных рудниках и шахтах, до места подъёма их на дневную поверхность, в подавляющем объёме осуществляется рельсовыми локомотива составами (ВШТ) ведомыми, как правило, электровозами сцепной массой 7 – 28 т [1 – 5]. В шахтах и рудниках Украины эксплуатируются около четырёх тысяч электровозов двадцати видов.

К сожалению, конструкционно для всех этих типов электровозов характерным является отсутствие в системах управления их тяговыми электромеханическими системами устройств контроля тяговых параметров при движении электровозосоставов (ЭВ).

Последнее является причиной низкой технологической надёжности и сроков межремонтной эксплуатации электрооборудования электровозов. Помимо этого, в последние годы увеличивается число травм в процессе их эксплуатации [6]. В силу этого очевидно, что необходимо принятие комплекса как организационных, так и технических мер по соблюдению усло-

© Синчук О.Н., Гузов Э.С., Дебелый В.Л.,
Дебелый Л.Л., Черная В.О., 2014

вий контроля (мониторинга) текущих электрических и технологических параметров электровозосоставов при их движении [8 – 11].

Актуальность исследований. Одним из параметров, который необходимо контролировать и, более того, при необходимости воспроизвести по записи, является скорость движения электровозосостава. Более того, этот параметр жестко регламентирован ПТБ дифференцированно на подземном технологическом учебном маршруте движения электровозосоставов [1]. Для контроля скорости движения ЭВ применяется ряд способов, в основе которых, по сути контроль частоты вращения тяговых электрических двигателей или колёсных пар с последующим пересчётом в скорость движения ЭВ [1].

В железорудных шахтах скорости движения ЭВ ограничиваются следующими значениями, км/ч [1]:

- по квершлагу для груженых составов – 10;
- по штреку лежачего бока – 5;
висячего бока – 3;
- на стрелках и закруглениях – 3;
- возле опрокидывателя – 2.

При этом важнейшим условием обеспечения безопасности является ограничение скорости движения электровозосоставов (ЭВ) по условию допустимой длины тормозного пути, которая при перевозке грузов не должна превышать 40 м, а при перевозке людей – 20 м [1]. По известным причинам [1], тормозной путь ЭВ рассчитывается для наихудшего варианта – движение груженого состава под уклон к стволу. Это наиболее опасная часть маршрута, где скорость движения ограничивается до 10 км/ч, хотя по тяговым возможностям электровозосоставов может развивать гораздо большую скорость.

Таким образом, очевидно, что для безопасной эксплуатации транспорта в подземных шахтных условиях необходим контроль скорости движения. С этой целью разрабатывались и изготовлялись различные варианты скоростемеров с непосредственной связью с вращающимися элементами, например, СР – 35 [2].

Изложение материала и результаты исследований. В настоящее время изготавливаются более совершенные скоростемеры, использующие датчики Холла и не требующие непосредственной связи с движущимися элементами [3].

Скоростемер состоит из датчика, размещаемого в редукторе, блока индикации, размещаемого в кабине машиниста, и соединительных проводов. Питание скоростемера осуществляется от стабилизированного блока питания 24 В.

Схема установки датчика скорости приведена на рис. 1. Для установки и крепления датчика в крышке редуктора сверлятся необходимые отверстия. Датчик размещается перпендикулярно вал-шестерне на расстоянии $2 \pm 0,4$ мм от верхней кромки зуба. Зазор регулируется путём ввинчивания или вывинчивания датчика и фиксируется контргайкой. Кабель датчика подключается к блоку индикации в кабине машиниста.

В качестве датчика применён магниточувствительный элемент Холла. При прохождении вершины зуба шестерни около торца датчика, в нём образуется

прямоугольный импульс равный напряжению питания датчика, в интервале между зубьями напряжение на выходе равно нулю. Блок индикации выполнен на базе процессора, который обеспечивает подсчёт количества импульсов в единицу времени и преобразует считываемую информацию в параметры скорости и пройденного пути, выдавая их на светодиодный индикатор, при этом параметр пройденного пути хранится в энергонезависимой памяти.

Перед установкой скоростемера необходимо проверить техническое состояние редукторной группы, которое должно соответствовать требованиям «Руководства по эксплуатации электровоза». Особое внимание следует обратить на состояние подшипников и регулировку промежуточного вала.

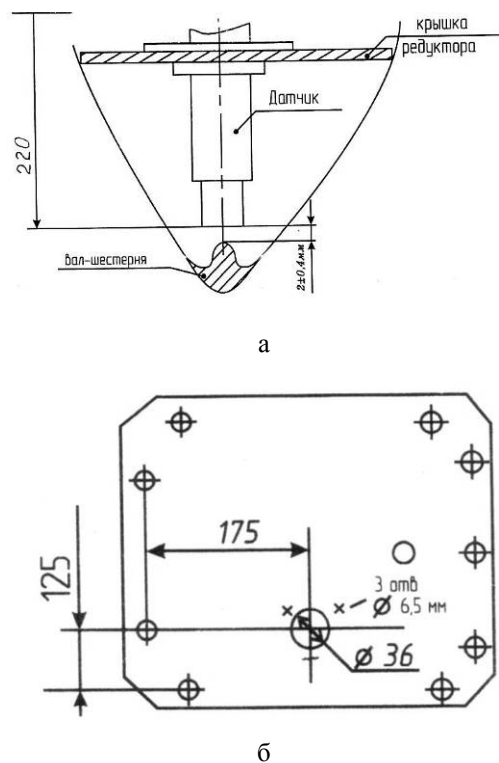


Рис. 1. Схема установки датчика:
а) размещение датчика относительно вал-шестерни;
б) доработка крышки редуктора для крепления датчика

Необходимо периодически очищать наконечник датчика скорости скоростемера от частиц железа, образующихся в результате износа редуктора. Признаком необходимости очистки является сбой в показаниях скоростемера. При отсутствии показаний скоростемера в одном из направлений движения необходимо проверить настройку подшипников промежуточного вала, так как люфт в подшипниках может привести к поломке датчика.

Как видно, описанная конструкция скоростемера имеет ряд недостатков:

- необходимо периодически очищать наконечник датчика;
- необходимо контролировать состояние подшипников редуктора;

- необходимо регулировать положение промежуточного вала;
- необходимо учитывать износ шестерни;
- датчик вместе с редуктором крепится на оси колёсной пары и работает в условиях жесточайшей вибрации и ударов.

Практика эксплуатации скоростемеров подтверждает их низкую надёжность – в результате большинство электровозов работают без скоростемеров.

Несколько улучшить работу датчика можно путём размещения в редукторе постоянного магнита для сбора частиц железа, образующихся в результате износа редуктора. При этом не потребуется периодически очищать наконечник датчика от металлических загрязнений. Одновременно это повысит надёжность работы такого ответственного узла как редуктор. Возможно, также повысить надёжность работы датчика путём его размещения в тяговом двигателе при его изготовлении.

Надёжность скоростемера можно многократно повысить, если применить бездатчиковый контроль скорости, используя электрические параметры режима работы двигателя.

Известно, что для двигателя последовательного возбуждения значения тока и напряжения однозначно определяют скорость вращения. В общем случае угловая скорость двигателя равна:

$$\omega = \frac{U_{я} - I \cdot r_{я}}{C_{\omega} \cdot \Phi}, \quad (1)$$

где $U_{я}$ – напряжение на якоре, В; I – ток якоря и обмотки возбуждения, А; $r_{я}$ – сопротивление обмотки якоря, Ом; Φ – магнитный поток; C_{ω} – конструктивный коэффициент.

В электрической тяге принято использовать линейную скорость электровоза

$$v = \frac{U_{я} - I \cdot r_{я}}{C_v \cdot \Phi} \quad (2)$$

В этом выражении изменяется лишь значение коэффициента C_v .

Для двигателя последовательного возбуждения магнитный поток $\Phi = f(I)$, тогда

$$v = \frac{U_{я} - I \cdot r_{я}}{C_v \cdot f(I)} \quad (3)$$

Введём некоторые упрощения, приемлемые для рабочих режимов. Магнитный поток имеет сложную зависимость от тока в связи с насыщением стали, но с достаточной точностью эта зависимость может быть выражена гиперболой с показателем степени $x < 1$, т.е. $\Phi \approx I^x$. Можно также пренебречь величиной $U_{я} \gg I \cdot r_{я}$. Тогда выражение (3) преобразуется

$$v = \frac{U_{я}}{k \cdot I^x} \quad (4)$$

Используя электромеханическую характеристику тягового двигателя и задаваясь значениями тока I , можно определить соответствующие скорости v и вычислить значения $k \cdot I^x$. Расчёты показывают, что для различных характеристик показатель степени $x=0,4 - 0,6$. Если определено значение x , то значение связующего коэффициента k

$$k = \frac{U_{я} - I \cdot r_{я}}{v \cdot I^x} \quad (5)$$

Для иллюстрации на рис. 2 приведены электромеханические характеристики тягового двигателя ДТН – 45 электровоза К14 [3]: 1 – фактическая, 2 – рассчитанная по произведённой методике. При этом скорость вычислялась по формуле (4) при значении показателя степени $x=0,5$.

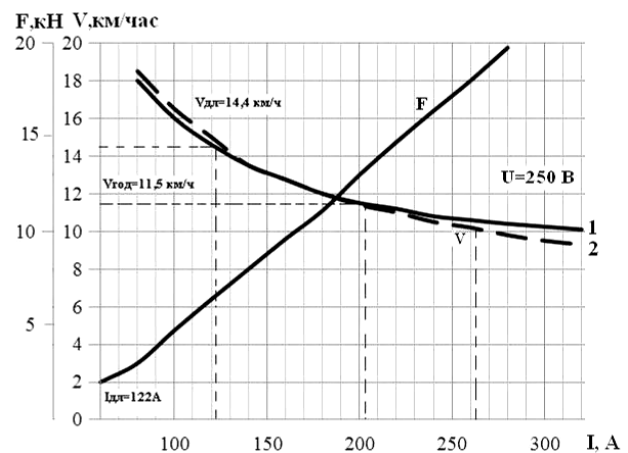


Рис. 2. Электромеханическая характеристика тягового двигателя мощностью 45 кВт контактного электровоза К14

В рабочем диапазоне токов и скоростей погрешность, обусловленная неточностью методики, не превышает 5 %, что в данном случае приемлемо. При токах $I_6 > 260$ А тяговые усилия превышают допустимые по условиям сцепления и этот диапазон представляет скорее теоретический интерес.

Предложенный способ бездатчикового контроля скорости может быть реализован с помощью измерительного блока, способного выполнять вычислительные функции (рис. 3).

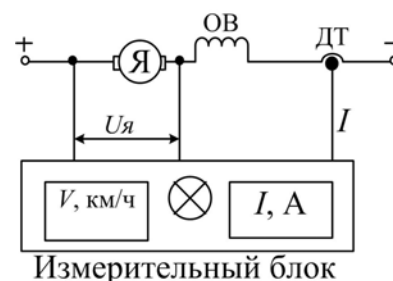


Рис. 3. Структурная схема скоростемера

На входе измерительного блока подаётся напряжение на якоре $U_{я}$ и значение тока двигателя I . В качестве датчика тока ДТ может использоваться изме-

рительный шунт или другой вид датчика. Измерительный блок производит вычисление скорости электровоза согласно выражению (4) и выдаёт значение скорости на табло или показывающий прибор. При превышении скорости зажигается лампа, та на табло или выводится значение тока двигателя для информирования машиниста о текущей нагрузке.

Все присоединения бездатчикового скоростемера выполняются в кабине машиниста, не требуется доработка механических конструкций (крышка редуктора), регулировка элементов редуктора.

Точную настройку скоростемера удобно производить для диапазона средних скоростей (скорость продолжительного режима) на испытательном стенде завода-изготовителя электровозов или ремонтного предприятия. В процессе эксплуатации бездатчиковый скоростемер не требует никаких регулировок и обслуживания, что снижает затраты.

Высокая надёжность бездатчикового скоростемера способствует повышению безопасности работы электровозного транспорта.

Выводы

1. Анализ и оценка качественных показателей функционирования применяемых в тяговых электро-механических системах с тяговыми двигателями постоянного тока последовательного возбуждения современных рудничных электровозов скоростемеров позволил установить основополагающие причины их низкой надёжности и одновременно определить направление их усовершенствования – бездатчиковый способ контроля.

2. Предложенная структурная схема скоростемера для измерения и индикации скорости электровоза, а также тока нагрузки тягового двигателя (рис. 3) рекомендуется для практической реализации, т.к. бездатчиковый скоростемер, по сравнению с известными, проще в изготовлении и монтаже, не требует обслуживания, несравненно более надёжен, позволяет снизить затраты и повысить безопасность эксплуатации электровозного транспорта.

Список использованной литературы

1. НПАОП 10.0 – 1.01 – 05. Правила безпеки у вугільних шахтах. – Луганськ : Копіцентр. – 2005. – 196 с.
2. Волотковский С. А. Рудничная электровозная тяга / С. А. Волотковский. – М. : Недра. – 1981. – 389 с.
3. Бутт Ю. Ф. Шахтный подземный транспорт: справочное издание. Шахтный локомотивный и рельсовый транспорт / Ю. Ф. Бутт, В. Б. Грядущий, В. Л. Дебелый, А. Н. Коваль, А. Л. Фурман, В. М. Щука, В. А. Яценко ; под общ. ред. Б.А.Грядущего. – Т.1. – Донецк : “ВИК”. – 2009. – 481 с.
4. Беридзе Т. М. Системы управления рудничным электровозным транспортом / Т. М. Беридзе, Э. С. Гузов и др. ; под ред. Синчука О. Н. – М. :Недра. – 1993. – 225 с.
5. Синчук О. Н. Импульсные системы управления и защиты на рудничном электровозном транспорте. Монография / О. Н. Синчук, В. В. Чумак, О. В. Ершов. – К. : «АДЕФ-Украина» – 1998. – 274 с.

6. Синчук І. О. Електро травматизм і шляхи його зменшення при експлуатації електрифікованих видів транспорту на підземних гірничорудних підприємствах [Текст] / І. О. Синчук, Є. І. Скапа // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації : Зб. наук. науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів. – Кременчук : – 2011. – С. 338 – 339.

7. Синчук О. Н. Электробезопасность рудничной откатки / О. Н. Синчук, Э. С. Гузов, А. Г. Ликаренко, А. Г. Животовский, Б. П. Борисов. – К. : Техніка. – 1988. – 188 с.

8. Bertil Oberg, (2002), Computer-Controller ore Transformation at the LKAB Mine in Kiruna, *Sweden Information of ASEA*, 212 p.

9. Жеребкин Б. В. Система векторного управления электроприводом рудничных электровозов с использованием аппарата нечеткой логики: автореф. дис. раб. на соискание уч. степ. канд. техн. наук / Жеребкин. – Санкт-Петербург, – 2005. – 19 с.

10. Синчук О. Н. Теоретические аспекты построения структуры системы мониторинга состояния электрических приводов тяговых электротехнических комплексов [Текст] / О. Н. Синчук, В. Ю. Захаров, Л. В. Сменова // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков. – 2013. – Вып. № 36 (1009). – С. 142 – 145.

11. Синчук О. Н. Каналы и их параметры для передачи информации от системы мониторинга тяговых электрических систем шахтных электровозосоставов [Текст] / О. Н. Синчук, В. О. Чёрная, Э. С. Гузов, И. О. Синчук, Р. А. Пархоменко, Л. В. Сменова. Електромеханічні та енергозберігаючі системи. – Кременчук : КрНУ – 2012. – Вып. 4/2012 (20). – С. 43 – 48.

Получено 04.07.2014

References

1. NPAOP 10.0-1.01- 5. Pravila bezpeki u vuglnih shahtah [Safety Rules in Coal Mines], (2005), Lugansk, Ukraine, *Kopicentr Publ.*, 196 p. (In Ukrainian).
2. Volotkovskij S.A. Rudnichnaja jelektrovoznaja tjaga [Miner Electric Locomotives Pull], (1986), Moscow, Russian Federation, *Nedra Publ.*, 389 p. (In Russian).
3. Butt Ju.F., Grjadushhij V.B., Debelyj V.L., Koval' A.N., Furman A.L., Shhuka V.M., and Jacenko V.A. Shahtnyj podzemnyj transport: spravocnoe izdanie. Shahtnyj lokomotivnyj i rel'sovyj transport [Mine Underground Transport: Reference Media. Mine Locomotive and Rail Transport], (2009), Donetsk, Ukraine, *VIK Publ.*, 481 p. (In Russian).
4. Sinchuk O.N., Beridze T.M., and Guзов Je.S. Sistemy upravlenija rudnichnym jelektrovoznym transportom [Management Systems Miner Transport of Electric Locomotives], (1993), Moscow, Russian Federation, *Nedra Publ.*, 225 p. (In Russian).
5. Sinchuk O.N., Chumak V.V., and Erzhov O. V. Impul'snyie sistemyi upravleniya i zaschityi na rudnichnom jelektrovoznom transporte. Monografiya. [Pulse Sys-

tem of Control and Protection for Mining Electric Transport. Monograph], (1998), Kiev, Ukraine, *ADEF-Ukraina Publ.*, 274 p. (In Russian).

6. Sinchuk I.O., and Skapa E.I., *Elektrotravmatyzm i shlyakhy yoho zmenshennya pry ekspluatatsiyi elektryfikovanykh vydiv transportu na pidzemnykh hirnychordnykh pidpryyemstvakh* [Electrochromatic and ways of its Reduction in the Operation of Electrified Transport Modes in Underground Mining Enterprises], (2011), *Elektromekhanichni ta Enerhetychni Systemy, Metody Modeliuvannia ta Optymizatsii. Zbirnyk Naukovykh Prats IX Mizhnarodnoi Naukovo-Tekhnichnoi Konferentsii Molodykh Uchenykh i Spetsialistiv. KrNU Publ.*, Kremenchuk, Ukraine, pp. 338 – 339. (In Ukrainian).

7. Sinchuk O.N., Guzov E.S., Likarenko A.G., Zhivotovskiy A.G., and Borisov B. P. *Elektrobezopasnost rudnichnoy otkatki* [Electrical Safety Mine Haulage], (1988), Kiev, Ukraine, *Tehnika Publ.*, 188 p. (In Russian).

8. Bertil Oberg, (2002), *Computer-Controller ore Transformation at the LKAB Mine in Kiruna, Sweden, Information of ASEA*, 212 p. (in English).

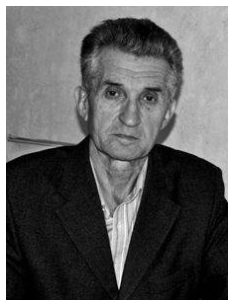
9. Zherebkin B.V., (2005), “The System is the Vector of the Electric Drive of the Mine Electric Locomotives with the use of Fuzzy Logic”, Abstract of Cand. Sci. (Tech.) Dissertation, Saint-Petersburg, Russian Federation, 19 p. (In Russian).

10. Sinchuk O.N., Zaharov V.Yu., and Smenova L.V. *Teoreticheskie aspekty postroeniya struktury sistemy monitoringa sostojanija jelektricheskikh privodov tjavovyh jelektrotehnicheskikh kompleksov* [Theoretical Aspects of Building the Structure of Mnitoring Sstem of Taction Electric Dives of Eelectrical Eginneering Cmplxes], (2013), *Vestnik NTU “HPI”. Problemyi Atomatizirovanogo Eektroprivoda. Teoriya i Paktika*, Kharkov, Ukraine, Vol. 36(1009), pp. 142 – 145 (In Russian).

11. Sinchuk O.N., Chornaya V.O., Guzov E.S., Sinchuk I.O., Parhomenko R.A., and Smenova L.V. *Kanaly i ih parametry dlja peredachi informacii ot sistemy monitoringa tjavovyh jelektricheskikh sistem shahtnyh jelektrovozostavov* [Channels and their Parameters to pass Information from the Monitoring System of Traction Electric Systems Mine Electric Locomotives], (2012), *Elektromekhanichni ta Energozberigayuchi Sistemi. KrNU Publ.*, Kremenchuk, Ukraine, Vol. 4(20), pp. 43 – 48 (In Russian).



Синчук
Олег Николаевич, д-р техн. наук, проф., зав. каф. автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте ГВУЗ «Криворожский нац. ун-т», Украина, г. Кривой Рог ул. XXII партсъезда, 11, тел. (056) 409-17-30. E-mail: speet@ukr.net



Гузов
Эдуард Семенович, канд. техн. наук, доц. каф. автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте ГВУЗ «Криворожский национальный университет». Украина, г. Кривой Рог ул. XXII партсъезда, 11, тел. (056) 409-17-30. E-mail: speet@ukr.net



Дебелый
Владимир Леонидович, д-р техн. наук, председатель наблюдательного совета ЧАО ПКФ «Амплитуда». Украина, г. Донецк, ул. Ходаковского, 1, тел. (062) 297-45-02. E-mail: amplituda@gmail.com



Дебелый
Леонид Леонидович, канд. техн. наук, зам. Председателя правления ЧАО ПКФ «Амплитуда». Украина, г. Донецк, ул. Ходаковского, 1, тел. (062) 297-45-02. E-mail: amplituda@gmail.com



Черная
Виктория Олеговна, ассистент каф. систем электропотребления и энергетического менеджмента Кременчугского нац. ун-та имени Михаила Остроградского, ул. Первомайская, 20, 39600. г. Кременчуг, Украина. E-mail: chornajav@gmail.com