



# Феррозонды в оперативной диагностике стрелочных приводов



Лев ДУБРОВИН  
Lev M. DUBROVIN

Анатолий НИКИШЕЧКИН  
Anatoly P. NIKISHECHKIN



Владимир ДАВЫДЕНКО  
Vladimir I. DAVYDENKO

*Дубровин Лев Михайлович – старший преподаватель Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия. Никишечкин Анатолий Петрович – кандидат технических наук, доцент МГТУ «Станкин», Москва, Россия. Давыденко Владимир Иванович – старший электромеханик технического центра Московской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», Москва, Россия.*

**Ferroprobes for Rapid Diagnostics of Switch Machines**  
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 240)

**По мнению специалистов, недостатком используемых стрелочных электроприводов является отсутствие надежной диагностики рабочего и предотказного состояния устройства в реальном времени, что значительно ухудшает параметры безопасности и увеличивает эксплуатационные затраты на содержание путевой автоматики. В статье предлагается простой способ диагностирования состояния стрелочных переводов, основанный на измерении величины напряженности магнитного поля двигателя постоянного тока с помощью феррозондов.**

*Ключевые слова:* железная дорога, безопасность, стрелочные электроприводы, двигатели постоянного тока, постоянное магнитное поле, напряженность магнитного поля, феррозонды, диагностика.

Стрелочные электроприводы предназначены для перевода стрелочных остряков, запираания и контроля централизованных стрелок в устройствах электрической централизации. Сегодня на железных дорогах страны наибольшее распространение имеют электроприводы: СП-2, СП-3, СП-6, ВСП-150, в которых используются электродвигатели постоянного тока МСП-0,1, МСП-0,15, МСП-0,25 (рис. 1) [1].

В последнее время на новых путях начинают использоваться приводы с электродвигателями переменного тока, надежные и удобные в эксплуатации. Однако этот вариант не везде проходит – в частности, на сортировочных горках затруднено внедрение двигателей переменного тока в силу условий работы.

При таком раскладе интересов существенным становятся преимущества и недостатки каждого из «конкурирующих» вариантов с постоянным или переменным токами.

Общий недостаток имеющихся приводов заключается в отсутствии диагностики



Рис. 1. Стрелочный электропривод СП-6.

рабочего и предотказного состояния в реальном времени, что уменьшает надежность и безопасность электропривода и увеличивает эксплуатационные затраты. Важно иметь информацию в режиме реального времени об интенсивности износа стрелочного электропривода, чтобы своевременно обеспечивать предупредительный ремонт [1, 2].

Проведенные исследования и практика эксплуатации стрелочных переводов показывают, что величина нагрузки на валу двигателя несет информацию о состоянии привода и его исправности. Неисправности привода являются следствием прежде всего износа коллекторно-щеточного узла, на долю которого приходится более 60% отказов, причем в основном это касается элементов скользящего контакта: коллектора и щеток. Дефекты, впрочем, могут быть и результатом усталостного разрушения металла от многократных циклических нагрузок, а также попадания посторонних предметов между острием и рамным рельсом, что опять же приводит к увеличению нагрузки на валу двигателя [2].

Нагрузка такого рода функционально связана с напряженностью магнитного поля, создаваемого двигателем постоянного тока. Отсюда, собственно, и **идея использовать напряженность магнитного поля в качестве диагностического параметра стрелочного привода**. Данный диагностический параметр легко поддается измерению с помощью феррозондов и делает возможным бесконтактный способ диагностирования. Феррозонд может встраиваться в любое свободное место корпуса привода (без изменения его конструкции).

Феррозонды обладают высокой чувствительностью к магнитному полю. Они способны регистрировать постоянные или медленно меняющиеся магнитные поля с напряженностью до  $10^{-4} \dots 10^{-5}$  А/м ( $\sim 10^{-10} \dots 10^{-11}$  Тл). Отличаются малым энергопотреблением и возможностью работать в широком диапазоне температур ( $-50$  °С... $+200$  °С). Современные конструкции феррозондов к тому же компактны [3–5].

С целью исследования возможности использования феррозондов для оперативной диагностики стрелочного привода был использован дифференциальный феррозонд, состоящий из двух пермаллоевых сердечников с обмоткой возбуждения  $L_1$  из двух половин. Первая половина обмотки находится на одном сердечнике, вторая (намотана встречно первой) — на другом (рис. 2а). Диаметр провода обмотки возбуждения 0,3 мм, число витков каждой половины 200. Намотка однослойная, виток к витку. Подключается к генератору импульсов. Поверх двух сердечников с обмотками  $L'_1$  и  $L''_1$  намотана еще и измерительная обмотка  $L_2$  с числом витков 2000, диаметром провода 0,1 мм. Она многослойная, виток к витку. Измерительная обмотка подключается к осциллографу, позволяющему наблюдать искажения импульсов при воздействии внешнего магнитного поля [6].

Для компенсации влияния посторонних источников предусмотрена дополнительная третья обмотка  $L_3$ , расположенная поверх основных, залитых эпоксидной смолой. Диаметр провода дополнительной обмотки 0,1 мм, число витков 500 с отводом



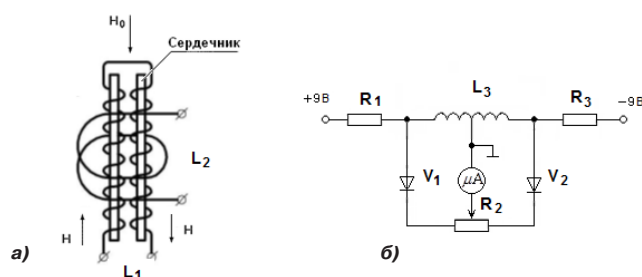


Рис. 2. Устройство феррозонда без дополнительной обмотки  $L_3$  (а):  $H$  – поле возбуждения феррозонда,  $H_0$  – измеряемое магнитное поле и схема включения дополнительной обмотки  $L_3$  (б).



Рис. 3. Внешний вид феррозонда.



Рис. 4. Структурная схема устройства диагностики.

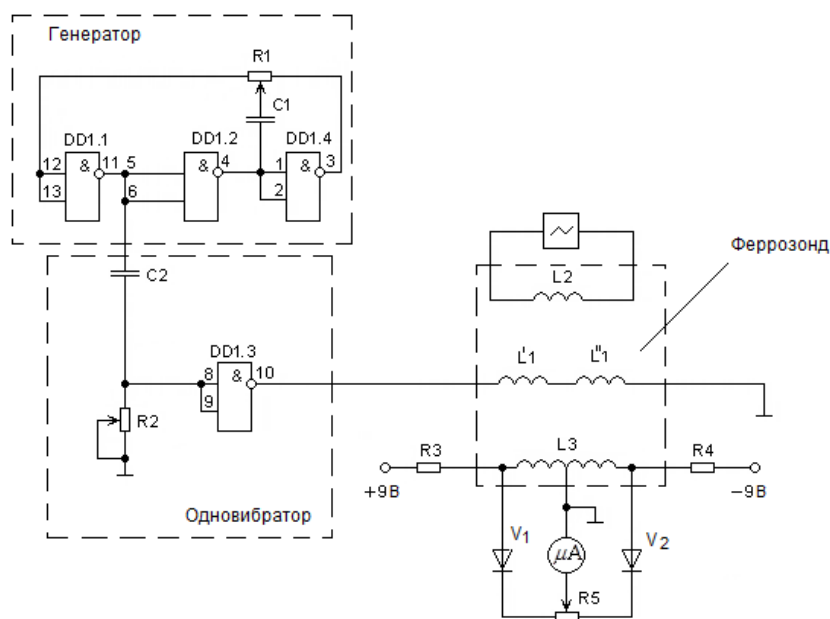
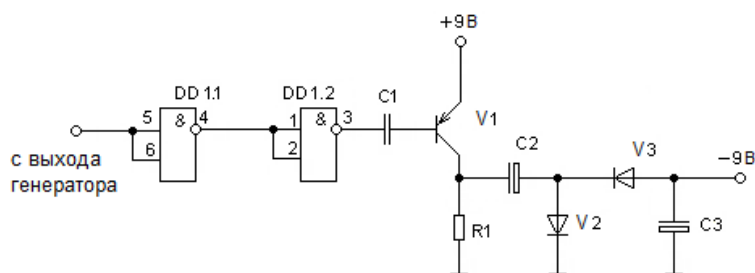


Рис. 5. Функциональная схема устройства диагностики.

от средней точки. Схема включения обмотки  $L_3$  приведена на рис. 2б. Величина резисторов  $R_1$  и  $R_3$  порядка 2 кОм,  $R_2$  – 1 кОм. Компенсация посторонних полей осуществляется при выключенном приводе переменным резистором  $R_2$  установкой нулевого значения тока, измеряемого микроамперметром (тип 4247 на 100 мкА) в отводе от средней точки обмотки  $L_3$ .

Дополнительная обмотка  $L_3$ , кроме компенсации посторонних магнитных полей, используется и в качестве измерительной. При наличии магнитного поля, создаваемого двигателем постоянного тока стрелочного привода, появляется ток, измеряемый микроамперметром, по значению которого оценивается величина напряженности магнитного поля двигателя.

Для защиты феррозонда от внешних воздействий используется защитный ко-



**Рис. 6. Схема преобразователя для получения отрицательной полярности.**

жух, представляющий собой трубку из латуни [6]. Внешний вид феррозонда и кожуха представлен на рис. 3.

Структурная схема устройства диагностики показана на рис. 4.

Схема включает:

- генератор импульсов, формирующий прямоугольные импульсы для обмотки возбуждения  $L_1$ ;
- одновибратор, используемый для регулировки скважности импульсов, подаваемых на обмотку возбуждения  $L_1$ ;
- феррозонд, включающий три обмотки;
- устройства регистрации (осциллограф, микроамперметр и др.).

Функциональная схема представлена на рис. 5. Генератор импульсов выполнен на микросхеме DD1 (например, K563ЛА7), питающейся от источника 9 вольт. Генератор использует три элемента И-НЕ. Частота импульсов регулируется переменным резистором  $R_1$ . На четвертом элементе И-НЕ микросхемы расположен одновибратор для регулировки скважности импульсов (с помощью резистора  $R_2$ ).

Величина напряженности магнитного поля, создаваемого двигателем постоянного тока стрелочного привода, определяется по показанию микроамперметра. При этом для исключения влияния посторонних магнитных полей при выключенном двигателе ток микроамперметра должен быть равен нулю, что достигается резистором  $R_3$ .

В качестве выпрямительных диодов  $V_1$  и  $V_2$  могут использоваться как обычные высокочастотные диоды (типа КД311), так и светодиоды, позволяющие по величине изменения интенсивности свечения оценивать изменение напряженности магнит-

ного поля двигателя. Кроме того, возможны и оптроны, фиксирующие электрический сигнал, пропорциональный интенсивности излучения, и передающие получаемый сигнал с помощью оптоволоконного кабеля на контрольный пункт.

Как видно из рис. 5, схема требует двухполярного напряжения питания относительно общей точки. Чтобы обойтись одним 9-вольтовым источником использовалась простая схема преобразователя для получения отрицательной полярности 9 вольт. Схема преобразователя дана на рис. 6.

*Предлагаемое устройство диагностики проверялось на стенде ремонтно-технологического участка технического центра автоматики и телемеханики Московской железной дороги. Проверка показала линейную зависимость силы тока от нагрузки на валу двигателя стрелочного привода СП-6.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сороко В. И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник. – М.: Планета, 2000. – Т. 1. – 960 с.
2. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики: Учебник/ Ю. А. Кравцов, В. Л. Нестеров и др. – М.: Транспорт, 1996. – 400 с.
3. Миловзоров В. П. Электромагнитные устройства автоматики. Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1983. – 408 с.
4. Афанасьев Ю. В. Феррозонды. – Л.: Энергия, 1969. – 168 с.
5. Афанасьев Ю. В. Феррозондовые приборы. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 188 с.
6. Дубровин Л. М., Никишечкин А. П. Исследование возможности использования параметров электромагнитного излучения для диагностирования режущего инструмента и управления процессом резания // Вестник МИИТ. – 2010. – Вып. 23. – С. 59–70.
7. Никишечкин А. П., Дубровин Л. М. Оперативное определение силы резания по параметрам магнитного поля, создаваемого двигателем постоянного тока привода главного движения // Вестник МГТУ «Станкин». – 2015. – № 4 (35). – С. 42–45.

Координаты авторов: **Никишечкин А. П.** – anatolij-petrovich@yandex.ru, **Дубровин Л. М.** – wellw49@gmail.com, **Давыденко В. И.** – vlad47mir@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 02.07.2015, принята к публикации 17.10.2015.



## FERROPROBES FOR RAPID DIAGNOSTICS OF SWITCH MACHINES

**Dubrovin, Lev M.**, Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

**Nikishechkin, Anatoly P.**, Moscow State Technical University «STANKIN», Moscow, Russia.

**Davydenko, Vladimir I.**, technical center of Moscow railway – branch of JSC Russian Railways, Moscow, Russia.

### ABSTRACT

According to experts, the shortcoming of traditionally used electric switch mechanisms is the lack of reliable diagnostics of operating and pre-failure status of the device in real time, which greatly de-

grades security settings and increases operating costs for maintenance of track automation. The article offers a simple way to diagnose the state of switches, based on measurement values of intensity of magnetic field of DC motor using ferroprobes.

**Keywords:** railway, safety, electric switch mechanisms, DC motors, permanent magnetic field, magnetic field intensity, ferroprobes, diagnostics.

**Background.** Electric switch machines are designed for the transfer of switch points, locking and control of centralized switches in the devices of electric centralization. Today, on the railways of the country the most common are electric switch machines: SP-2, SP-3, SP-6, VSP-150, which use DC motors MSP-0, 1, MSP-0, 15, MSP-0, 25 (Pic. 1) [1].

Recently, on new tracks are being used drives with AC motors, reliable and convenient in operation. However, this option is not always suitable – in particular on hump yards implementation of AC motors is hindered by virtue of operating conditions.

In this scenario, advantages and disadvantages of each of «competing» options with DC or AC are significant.

**Objective.** The objective of the authors is to study possibility of using ferroprobes for rapid diagnostics of switch machines.

**Methods.** The authors use general scientific and engineering methods, evaluation approach, simulating, statistics.

**Results.** Common drawback of available switch assemblies is the lack of diagnostics of working and pre-failure state in real time, which reduces reliability and safety of electric drive and increases operating costs. It is important to have real-time information about the intensity of wear of electric switch mechanism to provide timely preventive maintenance [1, 2].

The research and practice of operation of switch assemblies show that the value of load on the motor shaft carries information on the status of the machine and its serviceability. Faults of drive are the result

primarily of wear of collector-and-brush assembly, which accounts for more than 60% of failures, mostly it concerns elements of sliding contact: collector and brushes. The defects, however, may be the result of metal fatigue fracture due to multiple cyclic loads, as well as foreign objects between a tongue and stock rail, which again increases the load on the motor shaft [2].

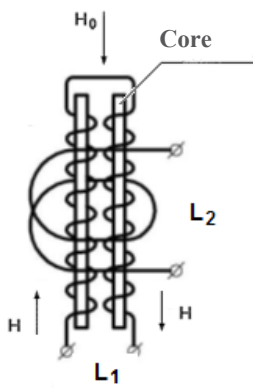
The load of this kind is operably linked to intensity of magnetic field generated by a DC motor. Hence, in fact, the idea of using magnetic field intensity as a diagnostic parameter of the switch machine. This diagnostic parameter can be easily measured by ferroprobes and enables non-contact method of diagnostics. Ferroprobe can be integrated into any free space of drive housing (without changing its structure).

Ferroprobes are highly sensitive to the magnetic field. They are able to record constant or slowly varying magnetic fields with intensity of up to  $10^{-4} \dots 10^{-5} \text{ A/m}$  ( $\sim 10^{-10} \dots 10^{-11} \text{ T}$ ). They are characterized by low power consumption and the ability to operate over a wide temperature range ( $-50 \text{ }^{\circ}\text{C} \dots +200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Modern ferroprobes are compact [3–5].

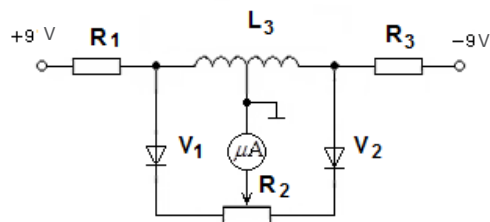
To investigate the possibility of using ferroprobes for operational diagnostics of switch machine differential ferroprobe was used, consisting of two permalloy cores with excitation winding  $L_1$  of two halves. The first half of winding is on the one core, the second (wound counter-currently to the first) – on the other (Pic. 2a). The diameter of the wire of



Pic. 1. Electric switch mechanism SP-6.

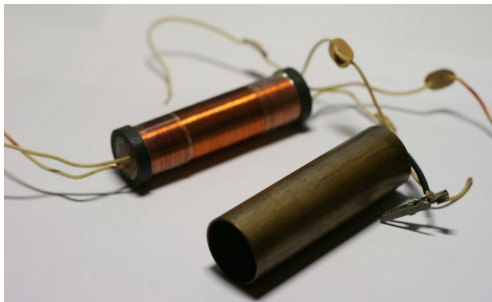


a)



b)

**Pic. 2. Ferroprobe device without additional winding  $L_3$  (a):  $H$  – ferroprobe excitation field,  $H_0$  – measured magnetic field and the scheme of switching on additional winding  $L_3$  (b).**



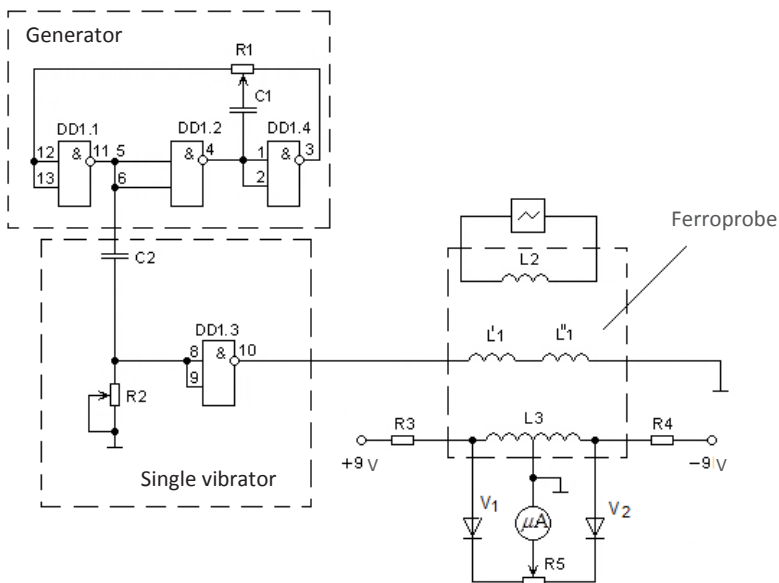
**Pic. 3. Appearance of ferroprobe.**



**Pic. 4. Structural scheme of the diagnostics device.**

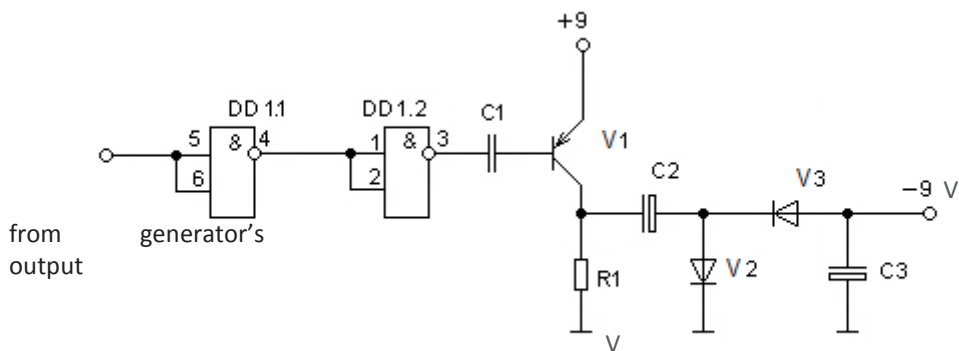
the excitation winding is 0,3 mm, the number of coils of each half is 200. Winding is single-layer, coil to coil. It is connected to the pulse generator. Over two cores with windings  $L'_1$  and  $L''_1$ , is wound also measuring winding  $L_2$  with the number of coils 2000 and 0,1 mm wire diameter. It is multi-layered, coil to coil. The measuring winding is connected to an oscilloscope, which allows to observe the pulse distortion when exposed to external magnetic field [6].

To compensate for the effect of extraneous sources is provided additional third winding  $L_3$ , is located on top of the main, filled with epoxy resin. Wire diameter of additional winding is 0,1 mm, the number of coils 500 with diversion from the midpoint. The scheme of switching winding  $L_3$  is shown in Pic. 2b. The value of resistors  $R_1$  and  $R_3$  is about 2 kOhm,  $R_2$  – 1 kOhm. Compensation of foreign fields is carried out with turned off variable resistor  $R_2$  by setting the zero value of current measured with microammeter (type 4247 for 100  $\mu A$ ) in diversion from the midpoint of the winding  $L_3$ .



**Pic. 5. Functional scheme of diagnostics device.**





**Pic. 6. The converter scheme for a negative polarity.**

Additional winding  $L_g$ , in addition to compensation of extraneous magnetic fields, is used as a measuring winding. In the presence of a magnetic field generated by DC motor of switch machine, there is current measured with microammeter, based on the value of which the magnitude of magnetic field intensity of the motor is estimated.

To protect ferroprobe against external influences protective cover is used, which is a tube made of brass [6]. The appearance of ferroprobe and cover is shown in Pic. 3.

Structural scheme of diagnostics device is shown in Pic. 4.

The scheme includes:

- Pulse generator that generates square impulses for excitation winding  $L_i$ ;
- Single vibrator used to adjust the duty ratio of impulses applied to excitation winding  $L_i$ ;
- Ferroprobe, comprising three windings;
- Recorders (oscilloscope, microammeter, etc.).

Functional scheme is shown in Pic. 5. The pulse generator is made on microcircuit DD1 (e.g. K563LA7), powered by 9 volt source. The generator uses three elements AND-NOT. The pulse frequency is adjusted by variable resistor  $R_1$ . On the fourth element AND-NOT of microcircuit a single vibrator is placed to adjust duty ratio of impulses (via the resistor  $R_2$ ).

The magnitude of intensity of magnetic field generated by DC motor of switch machine, is determined by indication of microammeter. At the same time to eliminate the influence of extraneous magnetic fields with turned off motor microammeter current should be zero, which is achieved by a resistor  $R_g$ .

As rectifier diodes  $V_1$  and  $V_2$  can be used as conventional high-frequency diodes (KD311 type) and LEDs that allow for the value of light intensity change to assess changes in magnetic field intensity of the motor. In addition, optrons are possible fixing an electrical signal proportional to intensity of radiation and transmitting received signals via a fiber optic cable to the control point.

As can be seen from Pic. 5, the scheme requires bipolar power supply voltage with respect to a common point. In order to use only one 9-volt source a simple inverter circuit was used to achieve a negative polarity of 9 volts. The inverter scheme is shown in Pic. 6.

**Conclusion.** The proposed diagnostics device was tested on a stand of repair process area of technical center of automation and remote control of Moscow railway. The test showed a linear dependence of current strength on the load on the motor shaft of switch machine SP-6.

## REFERENCES

1. Soroko, V. I. Equipment of railway automatics and robotics: A Handbook [Apparatura zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki: Spravochnik]. Moscow. Planeta publ., 2000, Vol.1, 960 p.
2. Kravtsov, Yu. A., Nesterov, V. L. *et al.* Systems of railway automation and remote control: Textbook [Sistemy zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki. Uchebnik]. Moscow. Transport publ., 1996, 400 p.
3. Milovzorov, V. P. Electromagnetic automation devices: Textbook [Elektromagnitnye ustrojstva avtomatiki. Uchebnik]. Moscow, Vysshaja shkola publ., 1983, 408 p.
4. Afanasiev, Yu. V. Ferroprobes [Ferozondy]. Leningrad, Energia publ., 1969, 168 p.
5. Afanasiev, Yu. V. Ferroprobe devices [Ferozondovye pribory]. Leningrad, Energoatomizdat publ., 1986, 188 p.
6. Dubrovin, L. M., Nikishechkin, A. P. Research of the possibility to use electromagnetic radiation parameters for diagnosis of cutting tool and cutting process control [Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya parametrov elektromagnitnogo izlucheniya dlya diagnostirovaniya rezhushhego instrumenta i upravleniya processom rezaniya]. Vestnik MIIT, 2010, Vol. 23, pp. 59–70.
7. Nikishechkin, A. P., Dubrovin, L. M. Rapid determination of the force of cutting by parameters of magnetic field created by DC motor of a gear of main motion [Operativnoye opredelenie sily rezaniya po parametram magnitnogo polia, sozdavaemogo dvigatelem postoyannogo toka privoda glavnogo dvizheniya]. Vestnik MGTU «STANKIN», 2015, Iss. 4 (35), pp. 42–45. ●

Information about the authors:

**Dubrovin, Lev M.** – senior lecturer of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, wellw49@gmail.com.

**Nikishechkin, Anatoly P.** – Ph.D. (Eng.), associate professor of Moscow State Technical University «STANKIN», Moscow, Russia, anatoij-petrovich@yandex.ru.

**Davydenko, Vladimir I.** – senior electrician at technical center of Moscow railway – branch of JSC Russian Railways, Moscow, Russia, vlad47mir@yandex.ru.

Article received 02.07.2015, accepted 17.10.2015.

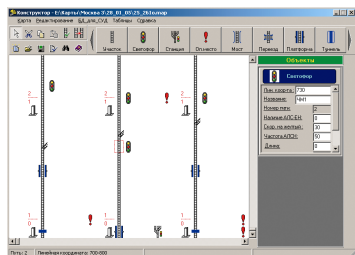


## СОТРУДНИЧЕСТВО 244

*Интернационализация привела к созданию стратегических образовательных альянсов.*

## МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ 250

*Электронная карта следования.*



## ЭКСПРЕСС-ИНФОРМАЦИЯ 258

*Встреча руководителей транспортных вузов и ОАО «РЖД».*

## ПИЛОТНЫЙ ПРОЕКТ 260

*Северная дорога – в сети.*

### ОБРАЗОВАНИЕ И КАДРЫ • HRM, EDUCATION & TRAINING



## COOPERATION 244

*Internationalization resulted in strategic education alliances.*

## METHODS OF TRAINING 250

*Digital map of the route.*

## EXPRESS INFORMATION 258

*Meeting of the CEO of JSC Russian Railways and of the rectors of transport universities.*

## PILOT PROJECT 260

*Northern railway is in the network.*

