Оригинальная статья / Original article

УДК 621.313.004.67:622

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-1-103-110>

Послеремонтные испытания электрических машин шагающих экскаваторов

© А.В. Сорокин^а

^аИркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме: Экскаваторы-драглайны являются основным средством механизации горных работ при вскрыше угольных месторождений. Надежность функционирования и производительность вскрышных шагающих экскаваторов определяет эффективность работы горных предприятий. В связи с этим цель данного исследования заключалась в повышении надежности работы электромеханического оборудования экскаваторов. Основным методом исследования было моделирование электромагнитных процессов послеремонтных испытаний электрических машин экскаваторов. Проведенные исследования показали, что выход из строя горного оборудования, эксплуатирующегося в условиях Севера, имеет как механическую, так и электромеханическую природу поломок. Отказы, связанные с электромеханическими аварийными ситуациями, чаще вызваны выходом из строя электрических машин постоянного тока главных приводов экскаваторов. Для обеспечения высокого качества ремонта и уменьшения вероятности поломки все электрические машины после ремонта должны пройти соответствующие испытания, в том числе и испытания под нагрузкой. Существующие методы нагружения предполагают механическое агрегирование электрической машины с нагрузочными устройствами. Реализовать эти методы для испытания крупных электрических машин постоянного тока в условиях ремонтных предприятий оказывается сложно. Очевидна перспектива и важность разработки методов испытания, исключающих механическое агрегирование с нагрузочными устройствами. К таким методам относится метод статического нагружения электрических машин. Предложенный способ заключается в разделении испытания на два этапа: на первом этапе производится статическое токовое нагружение, а на втором – динамическое токовое и механическое нагружения в режимах, приближенных к эксплуатационным. Исследования разработанной системы управления электроприводом испытательного стенда показали, что система работоспособна и позволяет проводить испытания электрических машин постоянного тока в полном объеме.

Ключевые слова: система управления, электропривод, экскаватор, испытательный стенд, испытание двигателей постоянного тока

Информация о статье: Дата поступления 16 января 2020 г.; дата принятия к печати 19 февраля 2020 г.; дата онлайн-размещения 30 марта 2020 г.

Для цитирования: Сорокин А.В. Послеремонтные испытания электрических машин шагающих экскаваторов. *Науки о Земле и недропользование*. 2020. Т. 43. № 1. С. 103–110. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-1-103-110>

Post-repair testing of the walking excavators' electrical machines

© Alexander V. Sorokin^a

^aIrkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract: Dragline excavators are the main means of mechanization in mining coal fields. The operational reliability and in-use performance of the overburden dragline excavators determine the mining enterprises' capacity. The aim of the study is to increase the reliability of the excavators' electromechanical equipment. The main research method is modeling of the electromagnetic processes taking place in the after-repair tests of the excavator's electric machines. The study has shown that the failures of the mining equipment operating in the northern part of Russia are of both mechanical and electromechanical nature. The failures associated with electromechanical emergency conditions are more often caused by the failure of the direct-current electric machines of the excavators' main drives. To ensure the high quality of the repair and reduce the risk of failure, all electrical machines must undergo appropriate post-repair tests including those under load. The existing loading methods involve mechanical aggregation of the electric machine with the load devices. It is difficult to implement these methods when testing large direct-current electric machines in the conditions of the repair plants. Obviously, the development of the test methods that

exclude mechanical aggregation of the electric machines and load devices is important and promising. Static loading of electrical machines is proposed as one of the above methods. The method implies dividing the test in two stages. In the first stage, static current loading is performed, and in the second stage, dynamic current and mechanical loading are carried out in the modes close to operational ones. The study of the control system developed for the electric drive of the test stand has shown that the system is functional and allows the testing of the direct-current electric machines in full.

Keywords: control system, electric drive, excavator, test stand, direct-current motor testing

Information about the article: Received January 16, 2020; accepted for publication February 19, 2020; available online March 30, 2020.

For citation: Sorokin AV. Post-repair testing of the walking excavators' electrical machines. *Earth sciences and subsoil use*. 2020;43(1):103–110. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-1-103-110>

Введение

Экскаваторы-драглайны являются основным средством механизации горных работ при вскрыше угольных месторождений. Надежность функционирования и производительность вскрышных шагающих экскаваторов определяет эффективность работы горных предприятий [1]. Проведенные ранее исследования [2–5] показали, что выход из строя горного оборудования, эксплуатирующегося в условиях Севера, имеет как механическую, так и электромеханическую природу поломок. Отказы, связанные с электромеханическими аварийными ситуациями, чаще вызваны выходом из строя электрических машин постоянного тока главных приводов экскаваторов. Для обеспечения высокого качества ремонта и уменьшения вероятности отказа в работе все электрические машины после ремонта должны пройти соответствующие испытания, включающие и испытания под нагрузкой. Существующие методы нагружения предполагают механическое агрегирование электрической машины с нагрузочными устройствами и отличаются друг от друга способом рассеивания механической энергии: преобразование в тепловую, передачу источникам или отдачу ее в питающую сеть¹ [6, 7]. Реализовать эти методы для испытания крупных электрических машин постоянного тока (до 2500 кВт), установленных на экскаваторах, в условиях рудоремонтных предприятий оказывается сложно.

Поэтому в настоящее время отремонтированные машины отправляют заказчику без проведения их испытаний под нагрузкой, что не позволяет качественно продиагностировать их и выявить дефекты, которые могут быть устранены на заводе до установки их на горных машинах.

В связи с этим очевидна перспектива и важность разработки методов испытания, исключающих механическое агрегирование с нагрузочными устройствами. К таким методам относится метод динамического нагружения [8, 9], который заключается в поддержании работы электрической машины в переходных режимах, регулирует напряжение на якоре или напряжение тока возбуждения с определенной частотой и амплитудой. Недостатком метода является сложность управления, а также то, что электрическая машина работает при испытании в режимах, не свойственных эксплуатационным. Ток электрической машины имеет пульсирующий характер с частотой задающего генератора. Коммутация электрической машины при таком нагружении непредсказуема.

Процесс нагружения электрической машины – это процесс одновременного токового и механического нагружения. Идея разработанного способа [10–12] заключается в разделении испытания на два этапа: на первом этапе производится статическое токовое нагружение, а на втором – динамическое токовое и механическое нагружения в режимах, приближенным к эксплуатационным. На первом

¹ Котеленец Н.Ф., Кузнецов Л.Н. Испытания и надежность электрических машин: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1988. 231 с.

этапе машина диагностируется с позиции качества монтажа, пайки, коммутации, нагрева, на втором этапе при ее работе в режимах пуска, наброса и сброса нагрузки, торможения, реверсирования с заданным током «отсечки» имитируются рабочие режимы и оцениваются коммутация, шумы, вибрация.

Данное исследование посвящено изучению электромеханических процессов статического нагружения электрических машин постоянного тока при послеремонтных испытаниях.

Материалы и методы исследования

Статическое токовое нагружение испытуемой машины производится одновременно регулированием напряжения на якоре и напряжения на обмотке возбуждения. При этом однако будет изменяться и скорость. Для стабилизации скорости необходимо одновременно изменять и напряжение на якоре. Следовательно, регулируя одновременно напряжение на якоре и напряжение на обмотке возбуждения, можно реализовать статическое токовое нагружение испытуемой машины при любой заданной скорости. Электрическая машина будет работать в режиме двигателя, а момент его будет равен моменту холостого хода. Максимальная мощность, требуемая от источника питания, не будет превышать величины, равной 10–15 % от номинальной мощности электрической машины. Следовательно, статическое токовое нагружение оказывается экономичным.

Испытательный стенд как система электропривода обладает интересной спецификой, обусловленной переменными параметрами объекта регулирования, причем параметры будут меняться в широком диапазоне, так как мощность испытуемых электрических машин различна и лежит в пределах от 50 до 2500 кВт. Кроме того, такой динамический параметр, как электромеханическая посто-

янная времени, будет изменяться при изменении магнитного потока. Поэтому для выявления особенностей поведения системы был проведен комплекс исследований на электронно-вычислительных машинах. Была составлена математическая модель испытательного стенда с общепринятыми допущениями², касающимися описания электромагнитной подсистемы. Поведение системы описывается уравнениями:

а) по каналу регулирования скорости:

$$\begin{aligned}U_{\Sigma\omega} &= U_{Y\omega} - \gamma\omega - \alpha U_{Yi}, \\E_{n1} &= K_{n1} U_{\Sigma\omega}, \\(T_{\Sigma\omega} p + 1) i_{\Sigma\omega} &= E_{n1} / r_{\Sigma\omega}, \\E_{\Sigma} &= K_{\Sigma} i_{\Sigma\omega}, \\(T_{\Sigma} p + 1) i_{\Sigma} &= (E_{\Sigma} - E_{\Sigma}) / r_{\Sigma}, \\E_{\Sigma} &= C \Phi_{\Sigma} \omega,\end{aligned}$$

б) по каналу регулирования тока якоря:

$$\begin{aligned}U_{\Sigma i} &= U_{Y\Phi H} - U_{Yi}, \\E_{n2} &= K_{n2} U_{\Sigma i}, \\(T_{\Sigma i} p + 1) i_{\Sigma i} &= E_{n2} / r_{\Sigma i}, \\J_{\Sigma} p \omega &= M - M_{\Sigma}, \\ \Phi_{\Sigma} &= C_{\Phi} i_{\Sigma}, M = C \Phi_{\Sigma} i_{\Sigma}.\end{aligned}$$

Здесь $U_{Y\omega}$, U_{Yi} , $U_{\Sigma\omega}$ – напряжение задания по каналам скорости, напряжение обратной связи по заданию тока якоря и суммарное напряжение на входе регулятора скорости; γ – коэффициент обратной связи по скорости; α – коэффициент связи по заданию тока якоря; K_{n1} , K_{n2} – коэффициенты усиления первого и второго преобразователей; C , C_{Φ} – коэффициенты связи по электродвижущей силе и потоку; $T_{\Sigma\omega}$, $T_{\Sigma i}$, T_{Σ} – постоянные времени по цепи возбуждения генератора, двигателя и якорной цепи электрических машин; E_{n1} , E_{n2} , E_{Σ} , E_{Σ} – электродвижущие силы первого, второго преобразователей, генератора и двигателя; ω – скорость двигателя; $i_{\Sigma\omega}$, $i_{\Sigma i}$, i_{Σ} – токи возбуждения генератора, двигателя и цепи якоря электрических машин; M – момент двигателя; M_{Σ} – момент холостого хода; J_{Σ} – момент инерции двигателя; $r_{\Sigma\omega}$, $r_{\Sigma i}$, r_{Σ} – сопротивления.

² Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: учебник для вузов. 3. М.: Высшая школа, 2001. 327 с.

$r_{\Sigma я}$ – суммарные сопротивления цепи возбуждения генератора, двигателя и цепи якорей электрических машин.

Для моделирования процессов, протекающих в испытательном стенде, применялась программа DiFSyS [13]. Данная программа позволяет:

- создавать системы дифференциальных уравнений с большим числом последних и решать их несколькими численными методами;
- в процессе решения системы изменять выражения самих уравнений;
- по результатам расчета систем выводить графики любых зависимостей переменных, непосредственно участвующих в расчете;
- использовать зону ограничений, которая предоставляет универсальные средства для контроля переменных и управления ими при расчете.

Ранее автором была предложена структура организации системы управления испытательным стендом машин постоянного тока [14–16]. Структурная схема двухканальной системы регулирования представлена на рис. 1.

Результаты исследования и их анализ

Проведенные исследования замкнутой системы регулирования дали возможность определить коэффициенты обратных связей системы, обеспечивающих требуемую точность задания координат

нагружения испытываемой машины, а также устойчивую работу системы при широкой вариации динамических параметров. Оказалось, что для обеспечения по каналу скорости статизма в 3 % и одновременного снижения колебательности системы до допустимого уровня при ослаблении поля (наброс тока якоря) наиболее простым является одновременное воздействие по каналу тока и каналу скорости. Такой подход дает возможность при слабой обратной связи по скорости снять противоречие между статизмом и перерегулированием в системе.

На рис. 2 представлены кривые переходного процесса тока якоря при ослаблении поля испытываемого двигателя ПЭ 174-7 мощностью 1600 кВт в системе с независимыми каналами регулирования скорости и тока (кривая 1) и в системе с одновременным воздействием на оба канала при задании тока якоря (кривая 2). Видно, что во втором варианте в системе обеспечивается удовлетворительное качество переходного процесса. Для обеспечения апериодического характера переходного процесса необходимо на входе канала задания тока якоря устанавливать задатчик интенсивности (кривая 3).

На рис. 3 представлены экспериментально снятые статические электро-механические характеристики испытываемой машины МПЭ 450-900 с номинальным

Рис. 1. Структурная схема двухканальной системы регулирования
Fig. 1. Block diagram of a two-channel control system

Рис. 2. Переходные процессы тока якоря при различных вариантах управления
Fig. 2. Transients of the armature current for different control options

Рис. 3. Электромеханические характеристики испытуемой машины
Fig. 3. Electromechanical characteristics of the test machine

током, равным 1090 А, при различной частоте вращения с нанесенной границей возможных токовых нагрузок. Видно, что токовое нагружение до $2I_{ном}$ можно реализовать в пределах от $n_{ном}$ до $0,5n_{ном}$. При $n < 0,5n_{ном}$ предельный ток нагружения снижается. Если $n < 0,2n_{ном}$, то ток нагружения оказывается меньше номинального. Заданный ток в пределах допустимых и возможных поддерживается практически постоянным за счет астатического регулирования. Возможный диапазон нагружения при регулировании частоты вращения вполне достаточен для объективной оценки качества ремонта машин.

Процесс статического токового нагружения имеет незначительный колебательный характер, обусловленный нелинейностью объекта и спецификой управления. Характер переходных процессов тока и скорости в относительных единицах представлен на рис. 4.

Обсуждение результатов

Проведенное моделирование и комплекс натурных исследований стенда, как в статике, так и в динамике, позволил определить настроечные параметры, обеспечивающие устойчивость системы при различных по мощности испытуемых машин без дополнительных подстроек. Процесс статического токового

Рис. 4. Динамические характеристики испытуемой машины
Fig. 4. Dynamic characteristics of the test machine

нагружения имеет незначительный колебательный характер, обусловленный нелинейностью объекта и спецификой управления. Возможные аварийные режимы, возникающие при испытаниях, исследовались в работе [17], также были проведены натурные испытания с применением портативного цифрового микровизора [18]. Исследование электромеханических процессов статического нагружения электрических машин постоянного тока показало, что предложенный метод испытаний может применяться на практике.

Заключение

Таким образом, исследования разработанной системы управления электроприводом испытательного стенда показали, что система работоспособна и позволяет проводить испытания электрических машин постоянного тока в полном объеме без механического агрегирования с другими нагрузочными машинами.

Стенд смонтирован и эксплуатируется на ООО «Рудоремонтный завод» г. Черемхово, он позволяет проводить испытания машин мощностью до 2500 кВт.

Библиографический список

1. Махно Д.Е., Красноштанов С.Ю., Ишков А.М., Видулов М.А. Технология и техника горных предприятий Севера: монография. Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2015. 216 с.
2. Kuznetsov N.K., Makhno D.E., Iov I.A. Damping elastic oscillations of digging mechanism // IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 87. Iss. 2. P. 022011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/2/022011>
3. Кузнецов Н.К., Иов И.А., Иов А.А. Разработка электромеханической модели механизма тяги шагающего экскаватора // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 11. С. 53–66. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2017-11-53-66>
4. Kuznetsov N.K., Iov I.A., Iov A.A. Investigation of dynamics of excavator digging mechanism with additional drive // IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 194. Iss. 3. P. 032014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/194/3/032014>
5. Broido V.L., Krasnoshtanov S.U. Improvement of operation stability of crucial parts and constructions when repairing dredges and other mining machines exploited in conditions of North // IOP Conference. Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 327. Iss. 3. P. 032012. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/3/032012>
6. Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин. Л.: Энергоатомиздат, 1984. 408 с.
7. Коварский Е.М., Янко Ю.И. Испытание электрических машин. М.: Энергоатомиздат, 1990. 320 с.
8. Родькин Д.И. Системы динамического нагружения и диагностики электродвигателей при послеремонтных испытаниях. М.: Недра, 1992. 235 с.
9. Вайнер А.И., Буртовой В.А., Ткаченко Г.И., Мохнатый А.В., Хижняк В.Я. Стенд для послеремонтных испытаний электрических машин постоянного тока методом динамического

нагрузки // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2013. № 5. С. 107–111.

10. Пат. № 2133044, Российская Федерация, МКИ G 01 R 31/34, Т 21 С 31/04. Способ испытания электрической машины постоянного тока и устройство для его осуществления / С.С. Леоненко, А.В. Сорокин, Е.В. Чудогашев, А.С. Леоненко, Е.А. Дмитриев. Заявл. 23.03.1998; опубл. 10.07.1998. Бюл. № 19.

11. Леоненко С.С. Двухканальная система управления электроприводом испытательного стенда крупных электрических машин постоянного тока // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2000. № 2. С. 136–140.

12. Леоненко С.С., Леоненко А.С. Способ статического и динамического нагружения электрических машин постоянного тока при послеремонтных испытаниях // *Автоматизированный электропривод в XXI веке: пути развития: материалы IV Междунар. конф. по автоматизированному электроприводу*. Ч. 1. Магнитогорск, 2004. С. 169–171.

13. Сорокин А.В. Моделирование систем управления автоматизированного электропривода // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2000. № 4. С. 13–17.

14. Сорокин А.В., Леоненко А.С. Система

управления испытательного стенда тяговых двигателей постоянного тока // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2012. № 6 (65). С. 133–137.

15. Сорокин А.В. Система управления электропривода испытательного стенда машин постоянного тока // *Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч. Т. 1. Иркутск, 2018. С. 42–45.*

16. Сорокин А.В. Испытательный стенд машин постоянного тока // *Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. уч. Т. 1. Иркутск, 2019. С. 77–82.*

17. Сорокин А.В., Леоненко А.С. Исследование аварийных режимов испытательного стенда тяговых двигателей постоянного тока // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2013. № 6 (77). С. 41–44.

18. Пат. № 167811, Российская Федерация, МПК G02B 21/06. Портативный цифровой микровизор / Е.О. Гурков, А.Н. Шевченко, С.Ю. Красноштанов, М.В. Корняков. Заявл. 28.04.2016; опубл. 10.01.2017. Бюл. № 1.

References

1. Makhno DE, Krasnoshtanov SYu, Ishkov AM, Vikulov MA. *Technology and equipment of the mining enterprises in the North of Russia*. Irkutsk: Irkutsk National Research Technical University; 2015. 216 p. (In Russ.)

2. Kuznetsov NK, Makhno DE, Iov IA. Damping elastic oscillations of digging mechanism. *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science*. 2017;87(2):022011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/2/022011>

3. Kuznetsov NK, Iov IA, Iov AA. Developing electromechanical model of walking dragline traction mechanism. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = Proceedings of Irkutsk State Technical University. 2017;21(11):53–66. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2017-11-53-66>

4. Kuznetsov NK, Iov IA, Iov AA. Investigation of dynamics of excavator digging mechanism with additional drive. *IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science*. 2018;194(3):032014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/194/3/032014>

5. Broido VL, Krasnoshtanov SU. Improvement of operation stability of crucial parts and constructions when repairing dredges and other mining machines exploited in conditions of North. *IOP Conference. Series: Materials Science and Engineering*. 2018;327(3):032012. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/3/032012>

6. Zherve GK. *Industrial testing of electrical*

machines. Leningrad: Energoatomizdat; 1984. 408 p. (In Russ.)

7. Kovarskii EM, Yanko Yul. *Testing of electrical machines*. Moscow: Energoatomizdat; 1990. 320 p. (In Russ.)

8. Rod'kin DI. *Systems of dynamic loading and diagnostics of electric motors during after-repair tests*. Moscow: Nedra; 1992. 235 p. (In Russ.)

9. Vainer AI, Burtovoi VA, Tkachenko GI, Mokhnaty AV, Khizhnyak VYa. Post-repair test stand for direct-current electric machines by the method of dynamic loading. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2013;5:107–111. (In Russ.)

10. Leonenko SS, Sorokin AV, Chudogashev EV, Leonenko AS, Dmitriev EA. *A method of testing DC electric machines and a device for its implementation*. Patent RF, no. 2133044; 1998. (In Russ.)

11. Leonenko SS. Two-channel control system of a test stand drive for large DC electric machines. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* = News of the Higher Institutions. Mining Journal. 2000;2:136–140. (In Russ.)

12. Leonenko SS, Leonenko AS. A method for static and dynamic loading of direct current electric machines during after-repair tests. In: *Avtomatizirovannyi elektroprivod v XXI veke: puti razvitiya: materialy IV Mezhdunarodnoi konferentsii po avtomatizirovannomu elektroprivodu* = Automated Electric Drive in the 21st Century: development prospects: The 4th International Conference on automated

electric drives. Part 1. Magnitogorsk; 2004. p.169–171. (In Russ.)

13. Sorokin AV. Simulation of a control system for the automated electric drive. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = Proceedings of Irkutsk State Technical University. 2000;4:13–17. (In Russ.)

14. Sorokin AV, Leonenko AS. Test bed control system for DC traction motors. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = Proceedings of Irkutsk State Technical University. 2012;6:133–137. (In Russ.)

15. Sorokin AV. Control system for DC machines' electric drive test stand. In: *Povyshenie effektivnosti proizvodstva i ispol'zovaniya energii v usloviyakh Sibiri: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* = Enhancing the efficiency of energy production and use in Siberia: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with the

international participation. Vol. 1. Irkutsk; 2018. p.42–45. (In Russ.)

16. Sorokin AV. Test stand for DC machines. In: *Povyshenie effektivnosti proizvodstva i ispol'zovaniya energii v usloviyakh Sibiri: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* = Enhancing the efficiency of energy production and use in Siberia: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with the international participation. Vol. 1. Irkutsk; 2019. T. 1. p.77–82. (In Russ.)

17. Sorokin AV, Leonenko AS. Studying DC traction motor test bed emergency modes. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* = Proceedings of Irkutsk State Technical University. 2013;6:41–44. (In Russ.)

18. Gurkov EO, Shevchenko AN, Krasnoshtanov SYu, Korniyakov MV. *Portable digital microscanner*. Patent RF, no. 167811; 2017. (In Russ.)

Критерии авторства / Authorship criteria

Сорокин А.В. написал статью, имеет на нее авторские права и несет ответственность за плагиат.
Alexander V. Sorokin is the author of the article, holds the copyright and bears responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов / Responsibility for plagiarism

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
The author declares that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.
The author has read and approved the final version of this manuscript.

Сведения об авторе / Information about the author

Сорокин Александр Васильевич,
кандидат технических наук,
доцент кафедры горных машин и электромеханических систем,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉ e-mail: sorokinav@bgu.ru
Alexander V. Sorokin,
Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor, Department of Mining Machines
and Electromechanical Systems,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉ e-mail: sorokinav@bgu.ru