

УДК 622.684

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЛАКОВОГО ПОКРИТТЯ ЯКІРНОЇ ОБМОТКИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ПРОМИСЛОВОГО АВТОТРАНСПОРТУ

А.В. Веснін¹, В.О. Сістук², А.О. Богачевський³

¹кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри підйомно-транспортних машин, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: artem_vesnin@mail.ru

²кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: vladimir.sistuk@ya.ru

³асистент кафедри підйомно-транспортних машин, Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет», м. Кривий Ріг, Україна, e-mail: mr.bogachevsky@mail.ru

Анотація. У роботі розглянуто комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану та результативного переміщення елементів ізоляції лобової частини якірної обмотки тягового двигуна кар'єрного самоскида БелАЗ-75131 під дією температурних навантажень, що виникають під час виконання транспортної роботи на трасах з різним ступенем складності гірничотехнічних умов.

Ключові слова: промисловий автотранспорт, кар'єрний самоскид, тяговий двигун, якірна обмотка, гірничотехнічні умови, метод кінцевих елементів, напружено-деформований стан.

STRAIN-STRESS STATE ANALYSIS OF LACQUER COATING OF INDUSTRIAL VEHICLE'S TRACTION MOTOR ARMATURE WINDING

Artem Vesnin¹, Volodymyr Sistuk², Anton Bogachevsky³

¹PhD, associated professor, Head of the Handling Road and Reclamation Machinery and Equipment Department, SHEI "Kryvyi Rih National University", Kryvyi Rih city, Ukraine, e-mail: artem_vesnin@mail.ua

²PhD, associated professor of the Automobile Transport Department, SHEI "Kryvyi Rih National University" Kryvyi Rih city, Ukraine, e-mail: vladimir.sistuk@yandex.ru

³assistant of the Handling, Road and Reclamation Machinery and Equipment Department, SHEI "Kryvyi Rih National University" Kryvyi Rih city, Ukraine, e-mail: mr.bogachevsky@mail.ru

Abstract. The computer simulation of stress-strain state and the resultant displacement of face of armature winding insulation components of BelAZ-75131 open pit truck traction motor with temperature loads which occurs during hauling on routes with various degree of mining conditions complexity was considered in the paper.

Keywords: industrial automobile transport, open pit truck, traction motor, armature winding, mining conditions, finite-element method, strain-stress state.

Вступ. Для транспортування залізозмісної гірничої маси на кар'єрах Криворізького басейну використовуються, перед усім, великовантажні самоскиди БелАЗ серії 75131. Важливим питанням щодо підвищення ефективності експлуатації даної техніки є мінімізація її простоїв, що потребує відповідного аналізу розподілу простоїв та причин їх виникнення. Виконаний аналіз простоїв самоскидів БелАЗ -75131 дозволив визначити, що 16 % від їх загального часу приходиться на ремонт та обслуговування електромеханічної трансмісії, з яких 60 % виникають за рахунок несправності її електричної частини [1, 2]. Для уточнення причин відмов тягових електричних машин був проведений дефектоскопічний аналіз їх елементів. Встановлено, що значна кількість відмов викликана руйнуванням лакового покриття якірних обмоток тягових електричних двигунів з локалізацією на їх лобових частинах [3,4].

Для встановлення причин виникнення описаного дефекту на початковому етапі проведено термічний аналіз ділянки якірної обмотки у вигляді кінцево-елементної моделі, який проводився в середовищі Solidworks Flow Simulation [5, 6]. Він показав, що під час їздки в лаковому покритті виникають температурні пульсації за відносно короткі проміжки часу, вочевидь, обумовлені коливаннями дійсних струмів відповідно до змін сумарного дорожнього опору на трасі. Також можна спостерігати стійку тенденцію до максимального нагріву саме лобових частин обмотки [7]. Таким чином, результати дефектоскопічного аналізу й комп'ютерного моделювання дозволяють стверджувати, що відбувається нерівномірний розподіл температурних показників на якірній обмотці. Останнє може призводити до пластичних деформацій лакового покриття зі значними переміщеннями в області її лобової поверхні, що надалі викликатиме утворення мікротріщин ізоляції обмотки.

Мета роботи. Для визначення місць концентрації і величин деформацій лакового покриття якірної обмотки відповідно до навантажень на тягові двигуни під час руху самоскида на різних трасах необхідним стає проведення аналізу напружено-деформованого стану (НДС) ізоляції обмотки.

Матеріал і результати досліджень. Для аналізу НДС об'єкта дослідження у вигляді пружно-пластичного матеріалу в середовищі Solidworks Simulation використовується модель пластичності по Мізесу або пластична модель Треска. Незважаючи на їх схожість, існує відмінність в описі стану чистого (простого) зрушення. Вона полягає у тому, що руйнування матеріалу відбувається за досягнення межі плинності вже при 87 % навантаженні (модель Треска) або при 100% навантаженні (модель Мізеса). НДС лакового покриття, який має високу межу плинності, найбільше відповідає умовам за Мізесом. Тому саме остання модель НДС була обрана у якості математичного апарату для подальшого кінцево-елементного моделювання [8, 9, 10, 11].

З метою розкриття уявлень про характер навантажень на тягові двигуни в залежності від складності гірничотехнічних умов було вибрано три траси Ганівського кар'єру з різним чергуванням повздовжніх ухилів та опору кочення (Рис. 1-3). Так, довжина першої траси складала 4697 м, з яких 63 % маршруту мали середній ухил в 76,3 %. На цій трасі наявні дві ділянки з ухилами у 150 ‰ та 115,3 ‰ протяжністю 100 м та 130 м відповідно, під час проходження яких виникають значні скачки струмового навантаження [7]. Також на даному маршруті присутні дві ділянки загальною відстанню у 490 м з ухилами у 57 ‰ та 68 ‰, які чергуються без проміжного горизонтально-відрізка. Загальний час їздки самоскида з вантажем та у знятому стані складає 34,13 хв. Приведені вище числові значення параметрів траси вказують на те, що розглянуту ділянку можна віднести до групи складних кар'єрних автомобільних доріг, які представлені на даному родовищі.

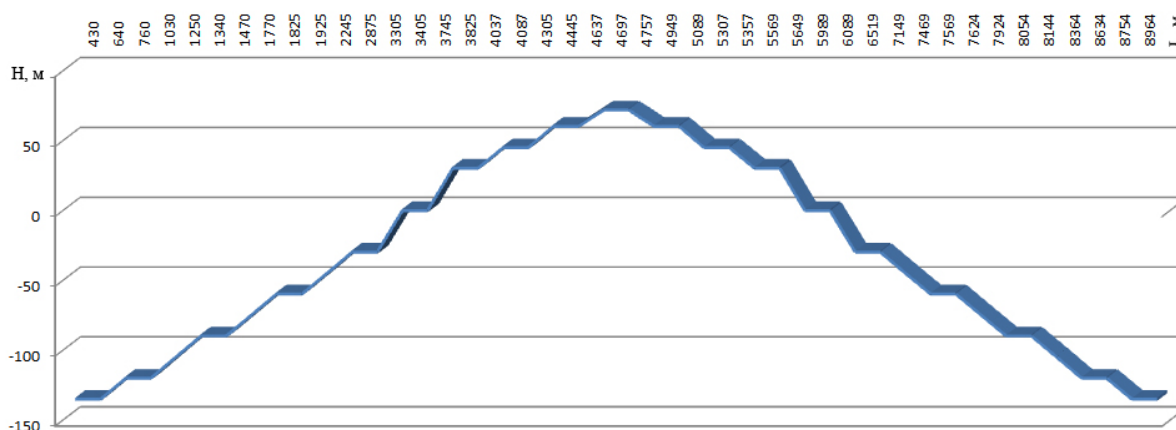


Рисунок 1 – Представлення маршруту у вигляді повздовжнього профілю першої траси

Друга траса має довжину в 5529 м, 36 % від якої становлять ділянки з середнім ухилом в 70 ‰. Найбільший поздовжній ухил становить 75 ‰ з довжиною 400 м. Час їздки самоскида від вибою до перевантажувального пункту з поверненням до вибою складає 36 хв. Середній повздовжній ухил в 70 ‰ є найпоширенішим на залізрудних кар'єрах Кривбасу, що дозволяє віднести даний маршрут до трас середньої складності.

Третя траса характеризується найменшою із розглянутих відстанню транспортування у 2980 м, з яких 43 % мають середній ухил в 60 ‰. На трасі спостерігається затяжна горизонтальна ділянка (1410 м). Максимальний повздовжній ухил – 69 ‰. Час їздки – 19,27 хв. Вказані параметри визначають дану трасу як легку.

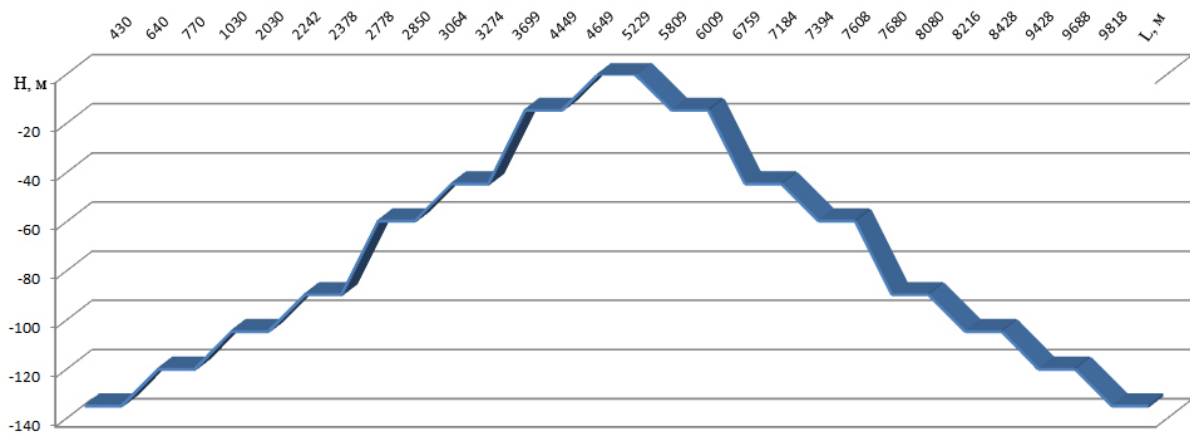


Рисунок 2—Представлення маршруту у вигляді повздовжнього профілю другої траси

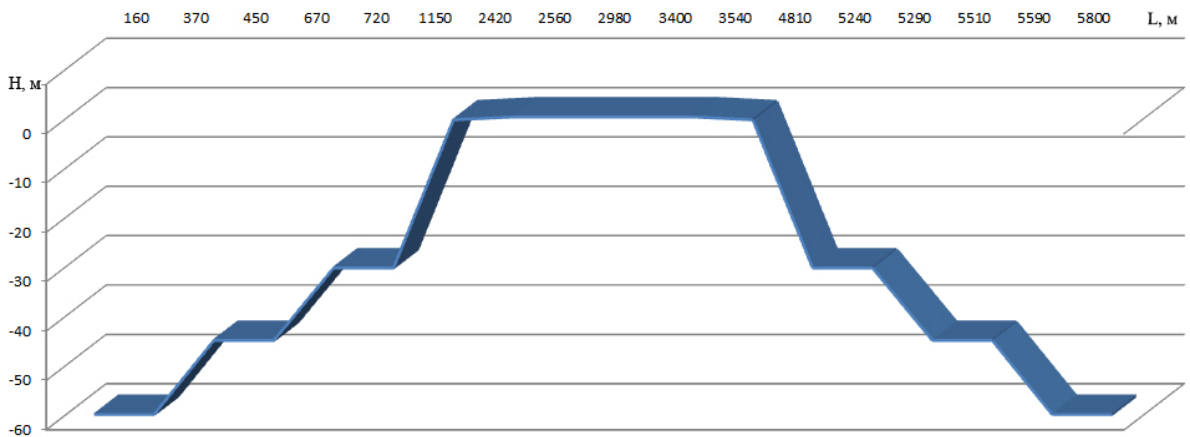


Рисунок 3—Представлення маршруту у вигляді повздовжнього профілю третьої траси

Для різних елементів транспортного циклу в результаті моделювання побудовано епюри НДС (Рис. 4-6). Так, на рис.4 представлено НДС solid-моделі, який отриманий за вихідних навантажень, що відбуваються при їзді самоскида на першій трасі. З рис.4. можна спостерігати, що локалізація максимальних значень напружень знаходиться на лобових частинах обмотки та в місцях кріплення solid-моделі, і коливається в межах від $1,7 \times 10^6$ Н/м² до $2,4 \times 10^6$ Н/м² під час проходження самоскидом ділянки з ухилом в 150 %. На рис.5 представленні епюри НДС при проходженні самоскидом другої траси. Максимальні значення напружень спостерігаються також на лобовій частині та в місцях кріплення моделі, і знаходяться в межах від $1,2 \times 10^5$ Н/м² до $1,5 \times 10^5$ Н/м². На рис.6 продемонстровано епюри НДС solid-моделі обмотки під час проходження самоскидом третьої траси. Локалізація найбільших значень напружень відбувається на лобових частинах обмотки, їх коливання – від $416,7$ Н/м² до 1000 Н/м².

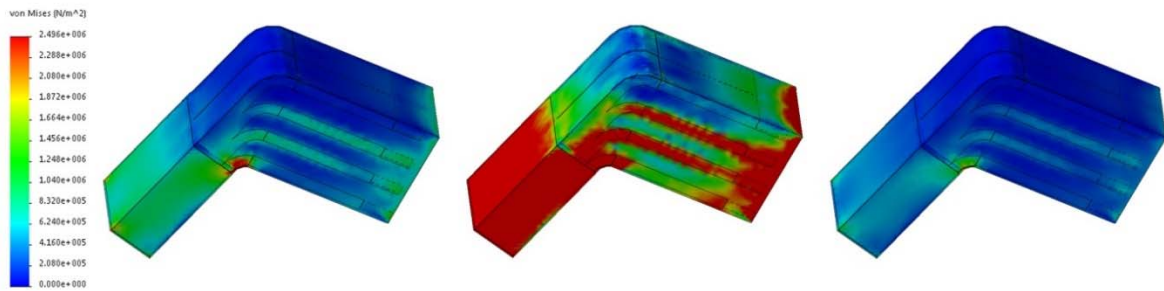


Рисунок 4– Напружено-деформаційний стан лобової частини лакового покриття обмотки на першій трасі: а) - при русі самоскида на підйом від вибою до перевантажувального пункту; б) - максимальні показники при русі самоскида на підйом ; в) - під час розвантаження

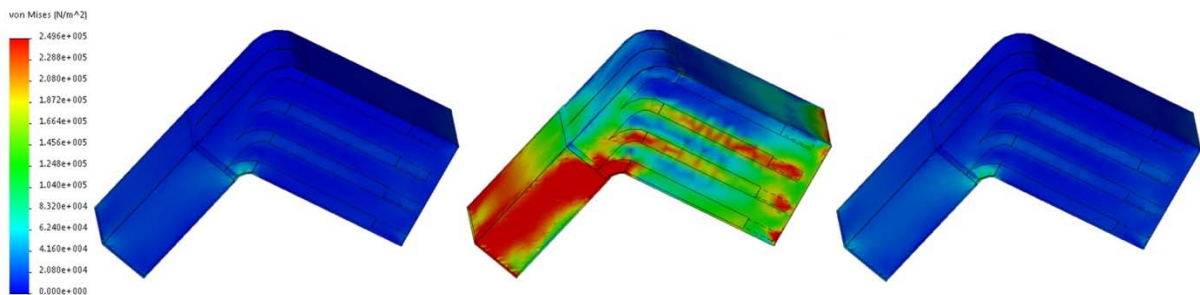


Рисунок 5–Напружено-деформаційний стан лобової частини лакового покриття обмотки на першій трасі: а) при русі самоскида на підйом від вибою до перевантажувального пункту; б) максимальні показники при русі самоскида на підйом ; в) під час розвантаження

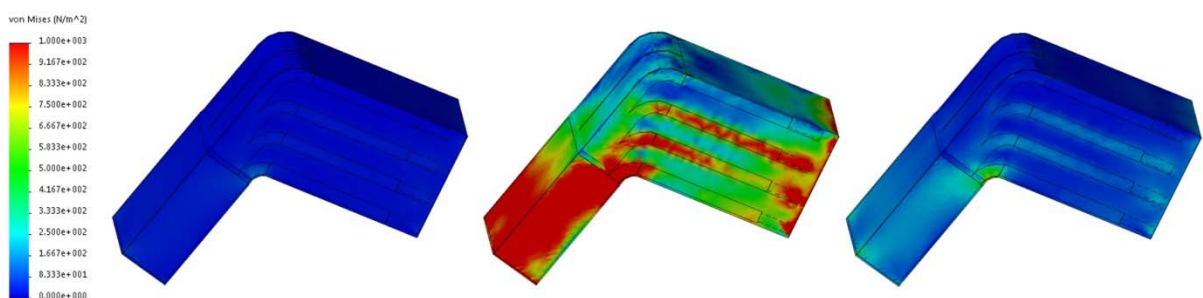


Рисунок 6–Напружено-деформаційний стан лобової частини лакового покриття обмотки на першій трасі: а) - при русі самоскида на підйом від вибою до перевантажувального пункту; б) - максимальні показники при русі самоскида на підйом ; в) - під час розвантаження

Саме виявлені максимальні напруження на лобових частинах обмотки, значення яких коливаються за короткі проміжки часу, зазвичай призводять

до деформації лакового покриття та швидкого утворення на ньому мікротріщин у вигляді триїнгів. Для визначення розмірів деформації ізоляції необхідним стає наступний етап аналізу, а саме, аналіз результуючого переміщення, відповідно до якого можливо отримати данні щодо зрушення елемента дослідження.

На рис.7 представлено епюру переміщень solid-моделі у плані, на якій чорним кольором позначені контури моделі до зрушення. Результуючі переміщення за трьома маршрутами представлені на рис. 8–10. Розміри переміщень залежать безпосередньо від НДС моделі. В попередньому аналізі найбільші напруження відбувались на лобових частинах обмотки і змінювались в залежності від стрибків дорожнього опору. Дана тенденція зберігається й для переміщень. Так, на складній трасі максимальне переміщення складало 1,5 мм, на середній та легкій - 1,1 мм і 0,058 мм відповідно.

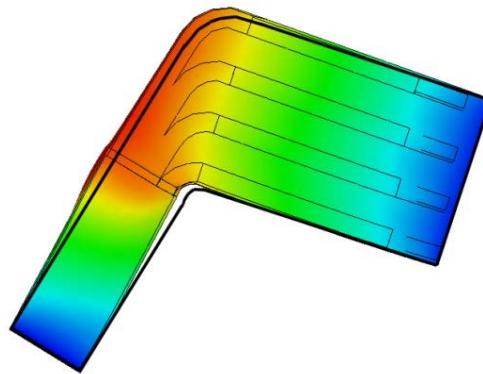


Рисунок 7—Результуючі переміщення solid-моделі у плані

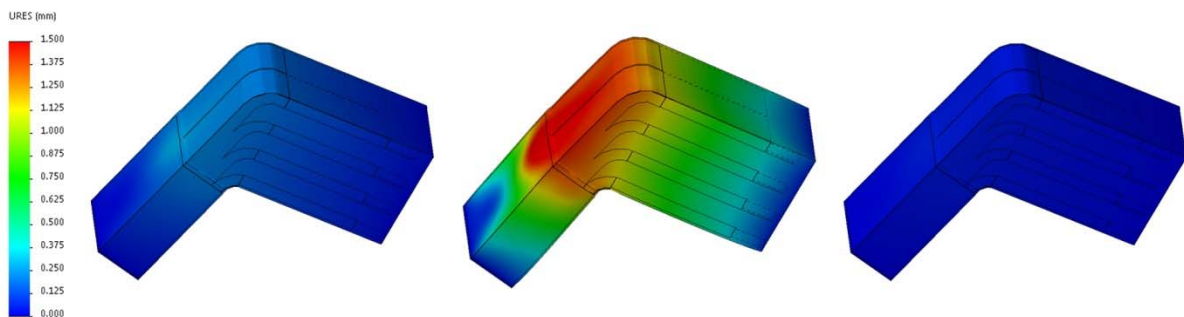


Рисунок 8— Показники результуючого переміщення лобової частини лакового покриття обмотки на першій трасі: а) при русі самоскида на підйом від вибою до перевантажувального пункту; б) максимальні показники при русі самоскида на підйом ; в) під час розвантаження

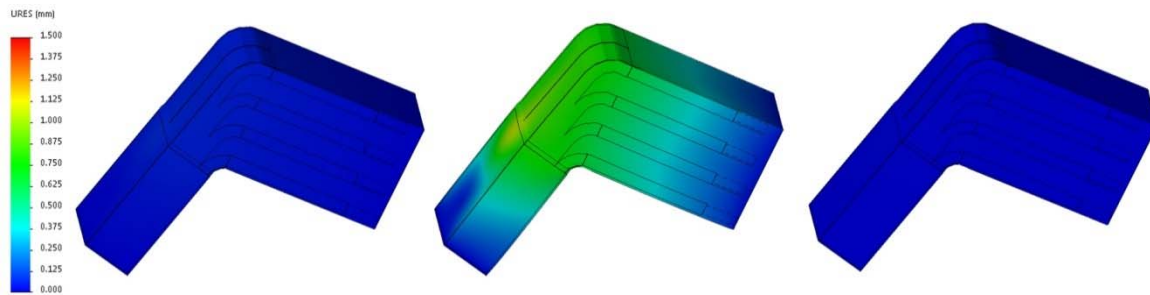


Рисунок 9– Показники результуючого переміщення лобової частини лакового покриття обмотки на другій трасі: а) при русі самоскида на підйом від вибою до перевантажувального пункту; б) максимальні показники при русі самоскида на підйом ; в) під час розвантаження

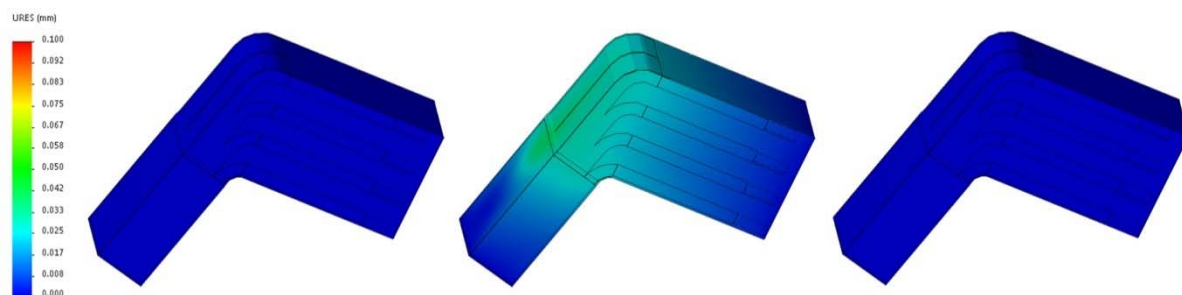


Рисунок 10– Показники результуючого переміщення лобової частини лакового покриття обмотки на третій трасі: а) при русі самоскида на підйом від вибою до перевантажувального пункту; б) максимальні показники при русі самоскида на підйом ; в) під час розвантаження

Висновок. Проведений аналіз НДС та переміщення лакового покриття обмотки тягового двигуна кар'єрного самоскида розширив уявлення про механізми деформації ізоляції відповідно до умов експлуатації даного виду промислового транспорту. Отримані результати будуть використані для подальшого визначення ступеня впливу коливань термічних навантажень на надійність лакового покриття ізоляції за допомогою втомного аналізу, спрямованого на встановлення терміну служби об'єкта дослідження, а також місць концентрації мікротріщин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сістук В. О. Вплив високо дисперсного пилу залізорудних кар'єрів на стан електричних машин тягового електроприводу самоскидів / В. О. Сістук, А. О. Богачевський // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. — Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2014. — Вип. 118. С. 168–175.

2. Веснін А. В., Сістук В. О., Богачевський А. О., Порівняльний аналіз залізорудного і вугільного пилу у контексті їх впливу на наробіток компонентів електромеханічної трансмісії кар'єрних самоскидів // Вісник Криворізького технічного університету. Кривий Ріг. - КНУ, 2014. – Вип. 38. – С. 112–119.
3. Vesnin A.V., Sistuk V.O., Bogachevskiy A.O., The analysis of mining conditions influence to operating time of dump trucks traction drive components / A. V. Vesnin, V. O. Sistuk, A. O. Bogachevskiy // Metallurgical and Mining Industry, 2015, No. 3. – Dnipropetrovsk. – P. 268 – 271.
4. Vesnin A.V., Sistuk V.O., Bogachevskiy A.O., The industrial dust properties as a wear factor of pit trucks electric machines elements / A. V. Vesnin, V. O. Sistuk, A. O. Bogachevskiy // Metallurgical and Mining Industry, 2015, No. 3. – Dnipropetrovsk. – P. 272 – 275.
5. Vesnin A.V., Sistuk V.O., Bogachevskiy A.O., Computer modeling usage for heat mass exchange inside mine dump-truck traction generator and electrical motor research / A. V. Vesnin, V. O. Sistuk, A. O. Bogachevskiy // Metallurgical and Mining Industry, 2015, No. 3. – Dnipropetrovsk. – P. 276 – 278.
6. Vesnin A.V., Sistuk V.O., Bogachevskiy A.O., Mathematical models analysis for the thermal state of mining trucks traction motors determining / A. V. Vesnin, V. O. Sistuk, A. O. Bogachevskiy // Metallurgical and Mining Industry, 2015, No. 3. – Dnipropetrovsk. – P. 279 – 282.
7. Термический анализ якорной обмотки тягового двигателя карьерного самосвала БелАЗ-75131 методом компьютерного моделирования / Ю. А. Монастырский, А. В. Веснин, В. А. Систук, А. А. Богачевский // VI Уральский горнопромышленный форум, 2-4 октября 2015: официальный каталог./ Монастырский Ю. А., Веснин А. В., Систук В. А., Богачевский А. А.. – Екатеринбург: АМБ, 2015. – (ИГД УрО РАН). – С. 86–87.
8. Алямовский А. А. Solidworks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А. А. Алямовский, А. А. Собачкин, Е. В. Одинцов, А. И. Харитонович, Н. Б. Пономарев. – СПб.: БХВ – Петербург, 2008. – 1040 с.: + DVD – (Мастер).
9. Paul Kurowski. Thermal Analysis with SOLIDWORKS Simulation 2015 and Flow Simulation 2015 / Kurowski P. – SDC Publication, 2015. – P. 288.
10. Mattson J. An Introduction to SolidWorks Flow Simulation 2010 / J. Mattson. – SDC Publication, 2010. – P. 297.
11. Lombard M. Solidworks 2013 Bible. Lombard M. / John Wiley & Sons Inc., 2013. – P. 1299.

УДК 62-254.2

ФОРМА КУЗОВА АВТОСАМОСВАЛА

В.В. Кривда¹, В.И. Бышевский²

¹ассистент кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: vitaliy.krivda@yandex.ua

²студент гр. ГРмм-12-9, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, Украина, e-mail: as19955@rambler.ru