

7. Беляков С.Л. Геоинформационные модели для принятия решений на основе опыта / С.Л. Беляков, М.Л. Белякова, Брехачева А.И. // Информационные технологии. – 2015. – №7. – С. 544-550.

8. Беляков С.Л. Образная модель представления опыта принятия решений с помощью геоинформационных систем / С.Л. Беляков, М.Л. Белякова, М.Н. Савельева // Геоинформатика. – 2014. – №4. – С. 23-28.

9. Беляков С.Л. Прецедентный анализ маршрутов на электронных картах / С.Л. Беляков, М.Л. Белякова, И.Н. Розенберг, М.Н. Савельева // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – №5. – С. 47-51.

УДК 622.684

АНАЛІЗ ВТОМИ ІЗОЛЯЦІЇ ЯКІРНОЇ ОБМОТКИ ТЯГОВОГО ДВИГУНА КАР'ЄРНОГО САМОСКИДА У СЕРЕДОВИЩІ SOLIDWORKS SIMULATION

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: art_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 представлено аналіз втомних деформацій та механізм утворення тріщини у лаковому покритті лобової частини якірної обмотки тягового двигуна кар'єрного самоскида БелАЗ-75131. Методом кінцевих елементів за допомогою комп'ютерного моделювання виявлено природу та строки утворення тріщини у різних шарах лакового покриття з урахуванням особливостей роботи самоскидів у глибоких залізородних кар'єрах.

Ключові слова: кар'єрний самоскид, тяговий двигун, якірна обмотка, комп'ютерне моделювання, втомне руйнування, тріщиноутворення.

FATIGUE ANALYSIS OF OPEN PIT TRUCK'S TRACTION MOTOR ARMATURE WINDING IN SOLIDWORKS SIMULATION

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: art_vesnin@mail.ru

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. This paper presents the finite elements fatigue analysis and cracks formation mechanism in lacquering of BelAZ-75131 open pit truck's traction motor armature winding for deep iron ore open pit`s mining.

Keywords: open pit truck, traction motor, armature winding, computer simulation, fatigue failure, cracks formation.

Вступ. Експлуатація кар'єрної техніки, що використовується при транспортуванні залізорудної гірничої маси, супроводжується значними витратами на підтримання у працездатному стані окремих її вузлів та агрегатів. Значна частина витрат пов'язана з ремонтом та обслуговуванням електромеханічної трансмісії кар'єрних самоскидів вантажопідйомністю понад 110 т (62 %) [1]. Встановлено, що для самоскидів БелАЗ-75131, які складають ключову частину парку у гірничотранспортних цехах Криворізьких ГЗК, частина несправностей електромеханічної трансмісії пов'язана з руйнуванням лакового покриття якірних обмоток тягових електричних двигунів [1]. Виявлення дійсних причин руйнування зажадало поетапних їх досліджень – від термічного аналізу до розкриття механізму утворення мікротріщин покриття та можливого потрапляння у них забруднюючих залізовмісних часток, що надходять з охолоджуючим повітрям [2]. Термічний аналіз ділянки якірної обмотки збоку щітково-колекторного вузла, проведений за допомогою моделювання у Solidworks Flow Simulation дозволив виявити наявність температурних пульсацій за відносно короткі проміжки часу при русі самоскида на трасах різного ступеня складності. Такі пульсації обумовлені коливаннями дійсних струмів відповідно до змін сумарного дорожнього опору руху на трасі. До того ж, при виконанні транспортної роботи самоскидом спостерігається тенденція до максимально допустимого нагріву обмотки тягових двигунів з окремими ділянками концентрації температур [3]. Визначення локалізації й величини деформацій проводилось на основі аналізу напружено-деформованого стану (НДС) solid-моделі обмотки за Мізесом [4]. Встановлено, що максимальні значення напружень спостерігаються на лобових частинах якірної обмотки, а також в містах закріплення кожного з витків. Величина переміщень лакового покриття досліджуваного елемента обмотки, яка залежить від НДС, становила від 0,058 мм до 1,5 мм для заданих умов експлуатації [4], що підтверджує припущення щодо нерівномірного руйнування лакового покриття у зв'язку з циклічним характером навантажень на тягові двигуни, викликаним специфікою експлуатації промислового автотранспорту та електротранспорту [4, 5, 6].

Таким чином, актуальним стає встановлення механізму утворення, форми та місць концентрації мікротріщин лакового покриття якірної обмотки тягового двигуна кар'єрного самоскида.

Мета роботи. Метою даної роботи є розкриття механізму тріщиноутворення лакового покриття якірної обмотки тягового двигуна кар'єрного самоскида БелАЗ-75131 на основі її втомного аналізу.

Матеріал і результати досліджень. Процес розвитку втомної деформації полягає у поступовому послабленні будь-якого об'єкту за рахунок прикладання повторюваних операцій навантаження і розвантаження. Після певної кількості циклів міцність об'єкта досягає граничного показника, що призводить до його руйнування. Таким чином, втомна міцність визначається шляхом застосування до окремих випробувальних зразків різних рівнів циклічного напруження і вимірювання кількості циклів до руйнування [7].

В якості базису для визначення втоми можуть використовуватися результати нелінійного дослідження модальної тимчасової діаграми. Кількість циклів, необхідних для втомного руйнування, залежить від матеріалу і коливань напружень. Актуальна інформація для певного матеріалу забезпечується так званою *SN*-кривою. Графічним представленням втоми є співвідношення амплітуди циклічного (або змінного) напруження (*S* - вертикальна вісь) і кількості циклів для руйнування (*N* - горизонтальна вісь). Втомна міцність визначається як напруження, за якого втомне руйнування відбувається при заданій кількості циклів (Рис.1) [7].

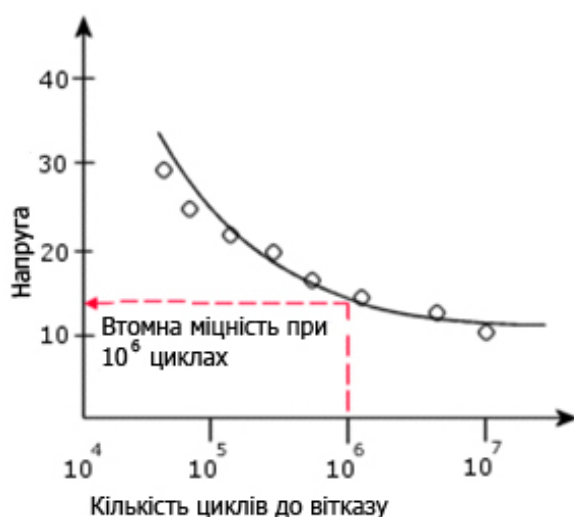


Рисунок 1 – Типова крива *SN*

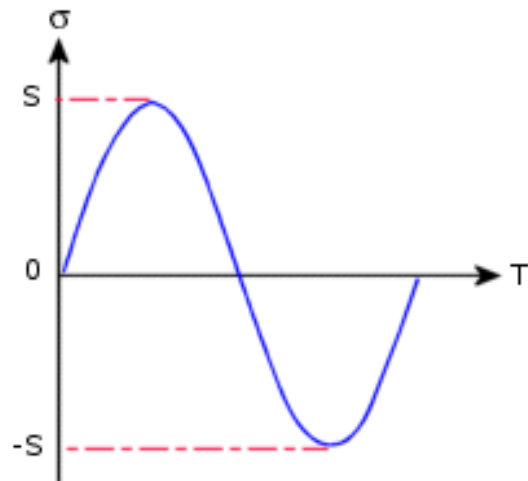


Рисунок 2 – Повністю реверсивне навантаження при $R=-1$

Крива *SN* для матеріалу визначає співвідношення амплітуди циклічного напруження (або змінного напруження) і кількості циклів, необхідних для

руйнування при заданому коефіцієнті напруження R . Коефіцієнт напруження R визначається як відношення мінімального циклічного напруження до максимального (Рис. 2 -3).

Механізм руйнування від втоми характеризується трьома стадіями. На початковому етапі у матеріалі утворюються одна або декілька тріщин, як правило, на граничних поверхнях внаслідок зростання коливань напружень саме на даних ділянках. Причинами виникнення тріщин можуть бути недосконалість мікроскопічної структури матеріалів, а також поверхневі подряпини. На другій стадії тріщини виникають внаслідок тривалих навантажень. Здатність матеріалу витримувати прикладені навантаження продовжує погіршуватися, та далі призводить до його руйнування. Наприкінці на поверхні матеріалу з`являються втомні тріщини.

Викладені теоретичні відомості лежать у методичній основі аналізу втоми, що закладена у Solidworks Flow Simulation.

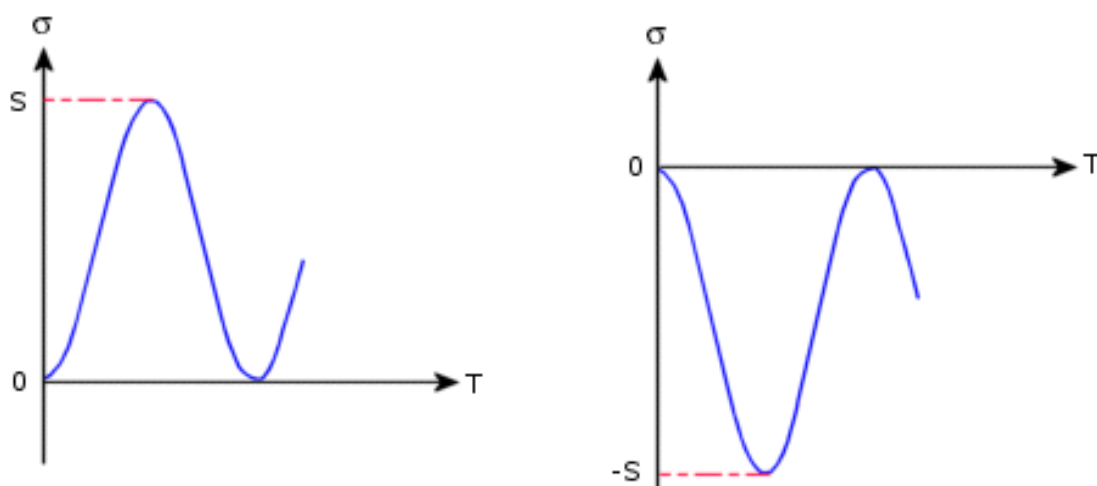
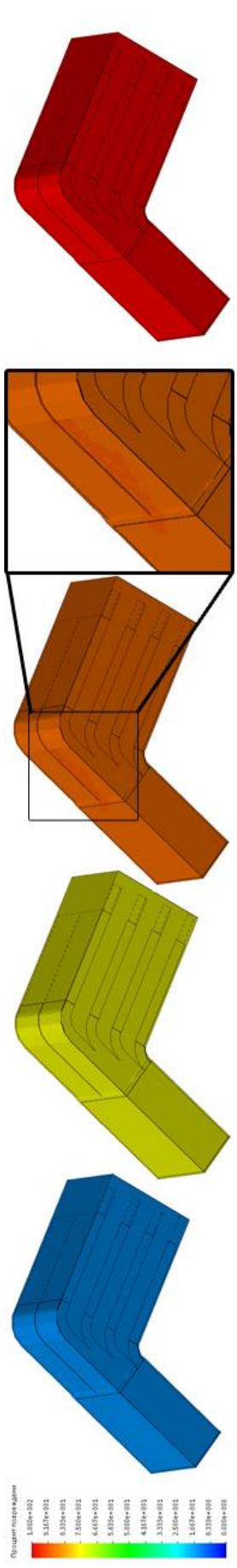
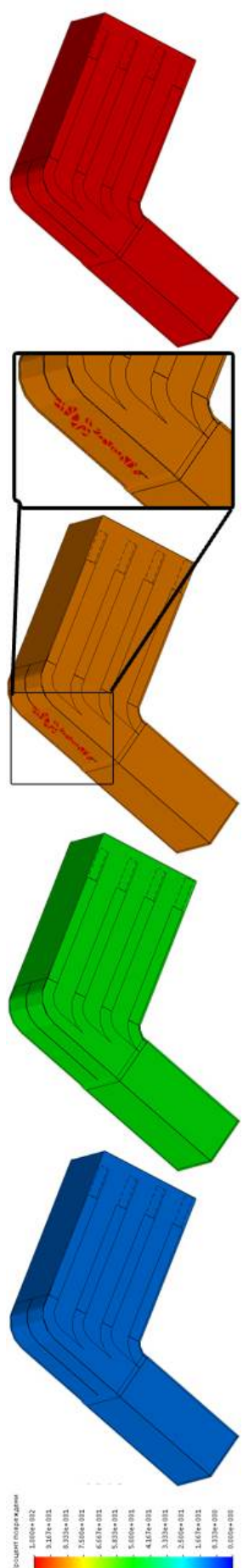


Рисунок 3 – Випадок постійного навантаження при $R = 0$

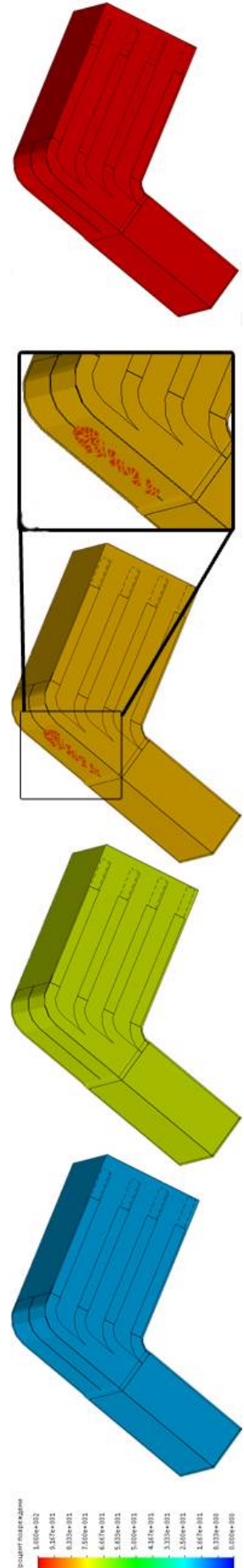
Комп'ютерне моделювання навантажень якірної обмотки тягового двигуна кар'єрного самоскида БелАЗ-75131 проводилось для умов руху на трьох трасах Ганівського кар'єру з щебеневим покриттям, які були взяті за основу для визначення температурного та напружено-деформованого стану об'єкту досліджень. Довжина першої траси становить 4697 м, з яких 63 % маршруту мають 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. 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. Третя траса характеризується найменшою із розглянутих відстанню транспортування у 2980 м, з яких 43 % мають середній ухил в 60 ‰. На трасі



Рисуюнок 4 – Епюри втоми лакового покриття обмотки ізоляції при русі самоскида на першій трасі: а) – при 10000 циклах; б) – при 20000 циклах ; в) – при 30500 циклах; г) – при 35000 циклах



Рисуюнок 5 – Епюри втоми лакового покриття обмотки ізоляції при русі самоскида на другій трасі: а) – при 5000 циклах; б) – при 20000 циклах ; в) – при 35000 циклах; г) – при 40450 циклах



Рисуюнок 6 – Епюри втоми лакового покриття обмотки ізоляції при русі самоскида на третій трасі: а) – при 20000 циклах; б) – при 80000 циклах ; в) – при 95000 циклах; г) – при 111200 циклах

спостерігається затяжна горизонтальна ділянка (1410 м). Максимальний по-
вздожній ухил – 69 ‰ [3].

Для різних трас та кількості циклів навантажень отримано епюри втоми
лакового покриття обмотки ізоляції (Рис. 4-6). З них випливає, що на першій
трасі повне руйнування лакового покриття лобових частин обмоток настає
при виконанні самоскидом 30500 рейсів, а всього лакового покриття – при
35000 рейсах або за 2,5 року експлуатації самоскида.

Для випадку руху самоскида на другій трасі, руйнування лобових час-
тин обмоток настає через 35000 рейсів, а всього лаку – при 40450 рейсах
або за 2,8 року. Для третій траси із найменшою із розглянутих відстаней тра-
нспортування, руйнування лобових частин обмоток настає при 95000 рей-
сах, а всього лаку – при 111200 рейсах або за 4,07 року.

Моделювання механізму руйнування лакового покриття проводилося
на основі відомої гіпотези про зародження тріщини з круглої форми внаслі-
док вичерпання локальної пластичної деформації матеріалу [5]. Для візуалі-
зації деформацій в області тріщин було проведено укрупнення масштабу сі-
тки кінцевих елементів solid-моделі, за рахунок чого можна було спостері-
гати процес розростання тріщини як у глибину, так і в ширину. При цьому
середній розмір елемента в даній області склав всього 0,27 мкм.

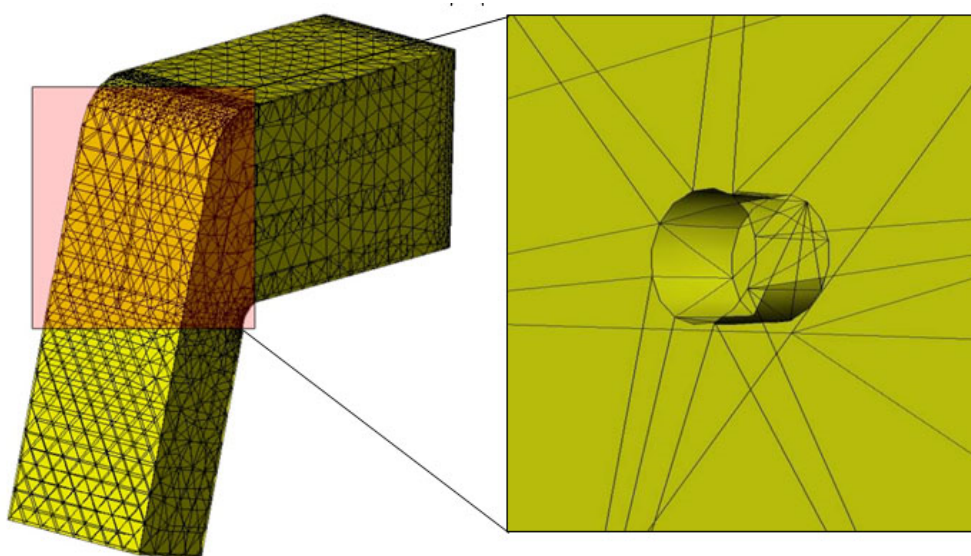


Рисунок 7 – Візуалізація тріщини радіусом 1 мкм

Важливим показником є кількість рейсів самоскида від моменту заро-
дження тріщини до її збільшення на товщину лаку. Для випадку руху самос-
кида на першій трасі такий показник становить 39 рейсів, на другій трасі
дане руйнування відбуватиметься за 48 рейсів, а на третьої – за 88 рейсів.

Руйнування всіх трьох шарів ізоляції, що визначається часом до пробою, виникає за 373 рейсу від моменту виникнення тріщини для першої траси, за 1012 рейсів для другої траси, 2118 рейсів – для третьої.

Візуалізацію стану ізоляції після моменту її утворення за 1 рейс транспортування представлено на рис. 8, після руйнування одного шару лаку за 39 рейсів – на рис. 9, після пробою – на рис. 10.

Таким чином, з отриманих рисунків можна спостерігати, що для лакової ізоляції характерно прискорення розростання тріщин з ускладненням профілю траси та збільшенням її довжини. Даний процес може бути викликаний негативним впливом зовнішнього середовища, який сприяє подоланню малою втомною тріщиною мікроструктурних бар'єрів і зародженню макротріщини. Таке зниження границі втоми при тривалому циклуванні може бути пов'язане з наявністю електромагнітних часток, що проникають у локальні області лобових частин обмотки.

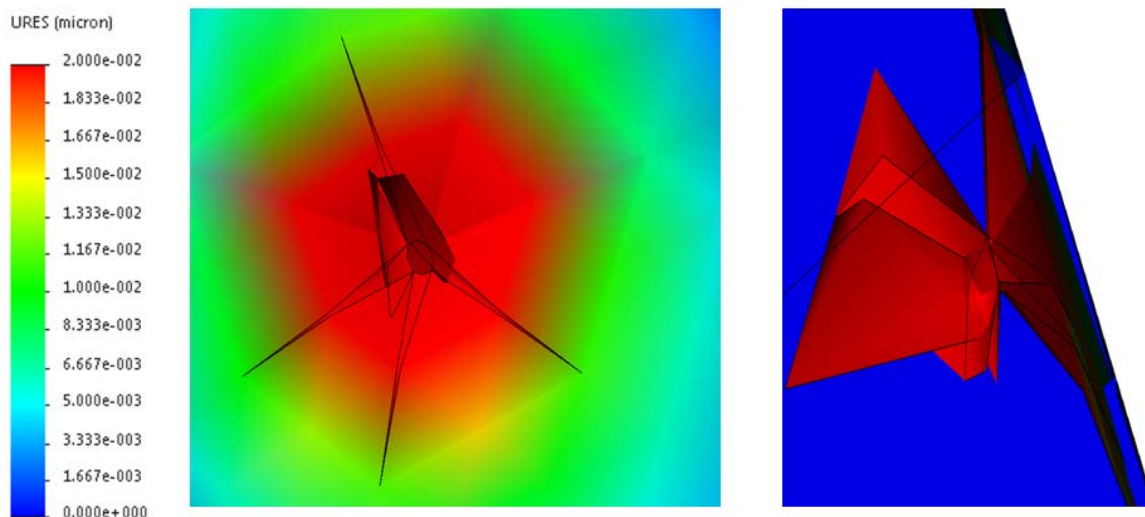


Рисунок 8 – Результат переміщення тріщини після одного циклу навантаження: а) від зверху; б) від у розрізі

Якщо прийняти дане допущення, однією з причин пришвидшеного руйнування шарів ізоляції є різке зниження пластичності покриття внаслідок забруднення при потраплянні у середину тягових електричних машин струмопровідного пилу. При накопиченні певного об'єму пилу у тріщинах покриття ізоляція обмоток втрачає механічну міцність, стає крихкою та гігроскопічною [1].

Таким чином, результати комп'ютерного моделювання з одного боку підтвердили можливість руйнування ізоляції обмоток двигунів під дією теплових навантажень, з іншого – можливість впливу додаткових факторів, зокрема, механічного впливу часток залізородного пилу, що прискорюють даний процес.

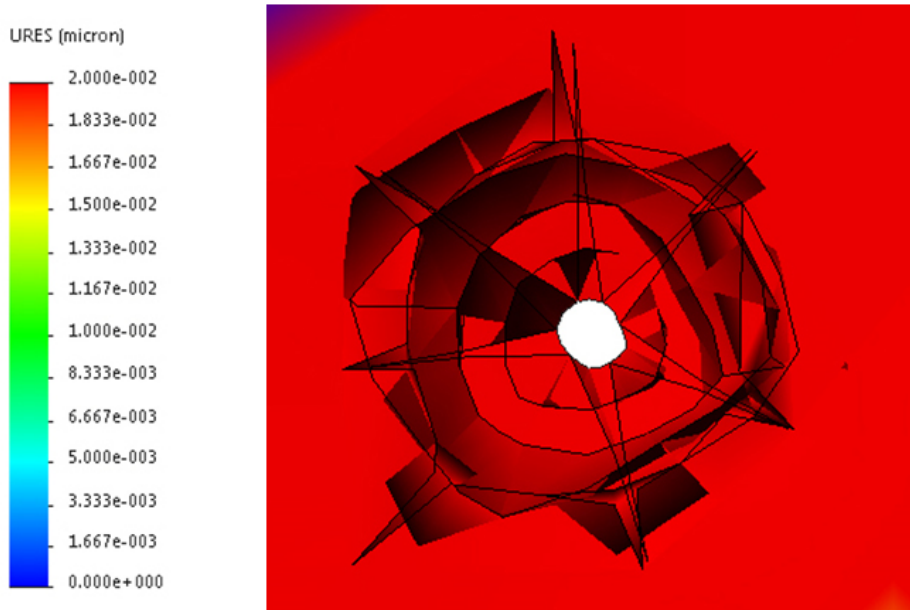


Рисунок 9 – Наскрізне переміщення у лаковому покритті після 39 циклів навантаження

Вірогідність потрапляння даного виду залізовмісного, магнітного, струмопровідного, пилу у внутрішні порожнини тягового двигуна безпосередньо залежить від чистоти охолоджуючого повітря у системі вентиляції та охолодження тягового приводу [1].

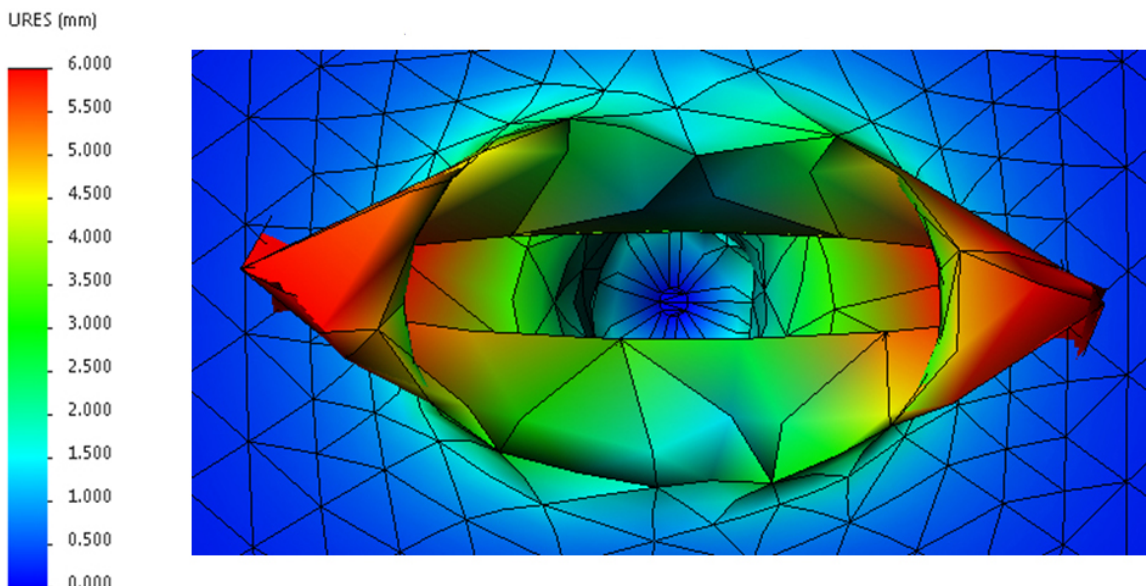


Рисунок 10 – Наскрізне переміщення у шарах ізоляції після 373 циклів

Висновок. Проведено аналіз втомних деформацій лакової ізоляції якірної обмотки тягового двигуна кар'єрного самоскида БелАЗ-75131, який зайнятий при перевезенні гірничої маси на Ганівському родовищі. В результаті аналізу встановлено, що повне руйнування лакового покриття обмотки настає при виконанні самоскидом 30500 рейсів, а всього лакового покриття – при 35000 рейсах або за 2,5 року експлуатації самоскида. Від моменту зародження тріщини в ізоляції до її збільшення на товщину лаку проходить 39 рейсів у цих же умовах експлуатації, а до руйнування всіх трьох шарів ізоляції, що визначається часом до пробою, – 373 рейсу.

Визначені показники втомних деформацій та характер руйнування лакового покриття підтвердили припущення щодо потрапляння струмопровідного залізорудного пилу на ізоляцію обмотки двигуна, що властиво для умов експлуатації промислового транспорту на відкритих розробках Кривбасу.

Безпосередньо механізм потрапляння часток пилу у тріщини, що утворюються, необхідно розглядати за допомогою додаткових досліджень. Також необхідна розробка відповідних заходів щодо мінімізації шкідливого впливу зовнішніх умов на надійність вузлів та агрегатів трансмісії самоскида.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

2. 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.

3. Определение температурных показателей лакового покрытия якорной обмотки тягового двигателя карьерного самосвала БелАЗ-75131 методом САЕ-моделирования / Монастырский Ю. А., Веснін А. В., Сістук В. А., Богачевський А. А. // Сетевое периодическое издание «Проблемы недропользования». – Екатеринбург: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения РАН. – С. 77 – 84.

4. Веснін А. В. Аналіз напружено-деформованого стану лакового покриття якірної обмотки тягового електродвигуна промислового автотранспорту / А. В. Веснін, В. О. Сістук, А. О. Богачевський // Матеріали міжнародної конференції: «Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості і транспорту 2016», 26 – 27 травня 2016. – Днепропетровск: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2016. – С. 154–161.

5. Исмаилов, Ш.К. Электрическая прочность изоляции электрических машин локомотивов [Текст]: монография / Ш.К. Исмаилов. – Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2003. - 272 с.

6. Соколов О.О. Уточнение механизма пробоя изоляции открытых лобовых соединений якорных обмоток тяговых электрических машин [Текст] / В.Н. Иванов, Ю.И. Попов, А.С. Куренков, О.О. Соколов // Межвузовский сборник научных трудов «Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта» / М.: Московский государственный университет путей сообщения МИИТ, 2014. – с. 96-98.

7. Lombard M. Solidworks 2013 Bible. Lombard M. / John Wiley & Sons Inc., 2013. – P. 1299.

УДК 621.43+621.43.016.4+681.518+629.113+656.3.44.083

ОСОБЛИВОСТІ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ ITS

Ю.В. Волков¹, Ю.В. Грицук², І.В. Грицук³

¹аспірант кафедри технічна експлуатація і сервіс автомобілів, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна, e-mail: yura_volkov_88@mail.ua

²кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри загальної інженерної підготовки, Донбаська національна академія будівництва і архітектури, м. Краматорськ, Україна, e-mail: yuri.gritsuk@gmail.com

³доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри технічна експлуатація і сервіс автомобілів, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна, e-mail: gritsuk_iv@ukr.net

Анотація. В роботі показані результати процесу забезпечення формування предметної області інформаційної системи оцінювання параметрів технічного стану транспортного засобу в умовах експлуатації при здійсненні дистанційного моніторингу і визначенні його умов експлуатації у складі бортового інформаційного комплексу засобами ITS.

Ключові слова: моніторинг, транспортний засіб, діагностика, прогнозування, параметри, технічний стан.

THE FEATURES OF SUBJECT AREA OF INFORMATION SYSTEM OF EVALUATION OF PARAMETERS OF TECHNICAL STATE OF A VEHICLE IN OPERATION USING ITS

Yurii Volkov¹, Yurii Gritsuk², Igor Gritsuk³

¹Postgraduate Student at the Department of "Technical Exploitation and Service of Cars", Kharkiv National Automobile and Highway University (KhNAHU), Kharkiv, Ukraine, e-mail: yura_volkov_88@mail.ua

²PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Department of General Engineering Training, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture (DonNACEA), Kramators'k, Ukraine, e-mail: yuri.gritsuk@gmail.com