УДК 621.825.(075.8)

В.В. ФЕДИК, аспірант каф. ДМ НУ "Львівська політехніка";
В.О. МАЛАЩЕНКО, д.т.н., професор каф. ДМ НУ "Львівська політехніка";
О.В. ЛАНЕЦЬ, к.т.н., асистент каф. ДМ НУ "Львівська політехніка"

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОПОРНО-ПОВОРОТНОГО ПРИСТРОЮ АВТОКРАНІВ З УРАХУВАННЯМ ЖОРСТКОСТІ ОПОР

У статті розглянуто напружено-деформований стан основних деталей опорно-поворотного пристрою автомобільних кранів з урахуванням жорсткісних характеристик зубчастого вінця та півобойм за методом скінчених елементів. Встановлено закономірності розподілення контактних напружень на торцях роликів та за їх довжиною. Виявлено наявність двох зон з максимальними контактними напруженнями та зменшення його величини на основній контактній лінії. Встановлено, що нерівномірність навантаження ролика відповідає умовам рівноваги, оскільки рівнодіюча сила від дії тиску на обох його сторонах буде однакова, але в результаті обертання ролика навколо своєї осі пікові навантаження дещо збільшуються по відношенню до таких, які виникають на іншій його стороні.

Ключові слова: автокрани, опорно-поворотні пристрої, контактні напруження.

Вступ. Актуальність задачі. Складною частиною привода підйомної стріли кранів, робочих органів екскаваторів та інших машин цього класу є опорно-поворотний пристрій, що часто лімітує довговічність всієї машини. Особливо це стосується автомобільних кранів, у яких застосовуються такі пристрої з взаємно перпендикулярними роликами. У цьому разі тіла кочення функціонують у надзвичайно складних умовах і потребують уточненого аналізу з визначення їхнього напружено-деформованого стану.

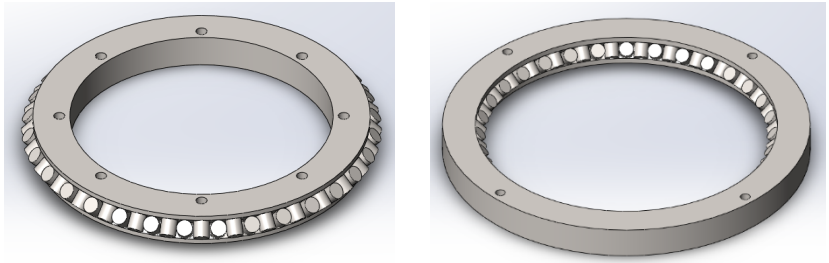
Аналізу міцнісних характеристик тіл кочення та робочих поверхонь бігових доріжок півобойм і кілець приділяється увага багатьох науковців різних країн тому, що ці елементи часто є визначальними у надійності та довговічності автокранів. Питання, що пов'язані з уточненням контактних напружень в робочий зоні, є вельми актуальними.

Аналіз літературних джерел. На даний час відомі наукові праці [1,7-11], у яких розглянуто контактну взаємодію між тілами кочення та робочими поверхнями їх бігових доріжок. Але внаслідок специфіки конструктивного виконання опорно-поворотного пристрою автомобільних кранів, здебільшого під час досліджень, деякі чинники не враховувались. Так в роботі [2-6] приймалось, що ролики спираються на абсолютно тверді поверхні чи відбувається рівномірне розподілення зовнішнього навантаження між несучими роликами тощо. Проведено також моделювання контактної взаємодії окремого ролика з поверхнею кілець, а також розглянуто вплив традиційної та модифікованої форм ролика на розподіл контактних напружень за його довжиною. Однак при цьому не враховувалися деформації кілець і півобойм. Така обставина вимагає подальшого проведення аналізу напружено-деформованого стану з урахуванням жорсткості опорних елементів роликів.

Виклад основного матеріалу. Метою даної роботи є розробка методики уточненого визначення величини контактних напружень в робочий зоні. Тут зроблено спробу провести комп'ютерний аналіз напружено-деформованого стану у робочий зоні з урахуванням деформації кілець і півобойм опорно-поворотного пристрою автомобільних кранів. Поставлене завдання з проведення необхідних досліджень розв'язано за такою послідовністю.

© В.В. Федик, В.О. Малащенко, О.В. Ланець, 2015

Беручи до уваги конструктивні особливості об'єкту дослідження, розроблено фізичну модель, що складається із характерних частин опорно-поворотного пристрою (рисунок 1).



а *б*

Рисунок 1 – Фізична модель опорно-поворотного пристрою автомобільних кранів: *а* – внутрішня і *б* – зовнішня частини

Розроблена твердотільна модель опорно-поворотного пристрою уможливила проведення аналізу напружено-деформованого стану роликів з врахуванням реальних параметрів основних елементів, а саме жорсткості кілець та геометрії розташування роликів на бігових доріжках. Враховуючи особливості визначення контактних напружень [2, 5] за допомогою методу скінченних елементів, використовувалась їхня сітка різних розмірів, тобто найменші розміри сітки встановлювались в зоні виникнення більших контактних напружень (рисунок 2).

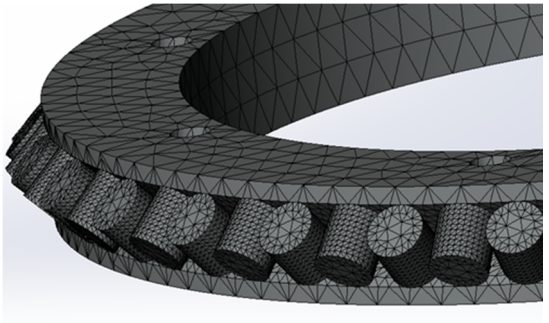


Рисунок 2 – Загальна твердотільна модель внутрішньої частини опорно-поворотного пристрою

Враховуючи обмежений обчислювальний ресурс навіть сучасного персонального комп'ютера, поверхні бігових доріжок представляються сіткою дещо більших елементів. Для цього контактні пари задаються як "поверхня до поверхні". Навантаження опорно-поворотного пристрою розглядається як статична реакція і момент від дії вантажу і власної ваги стріли.

Відомо, що результати розрахунку програмного середовища SolidWorks Simulation у вигляді кольорових хромограм та векторних діаграм є незручними для аналізу напружено-деформованого стану конструкції у чорно-білому форматі видання. Тому використовували векторні діаграми, що дещо компенсує брак кольору.

Доведено важливе положення стосовно того, що навантаження на роликах цих пристроїв розподілені нерівномірно. Як і слід було очікувати, максимуми навантажень припадають на 3-4 ролики, що розташовані вздовж осі опорно-поворотного пристрою, яка співпадає з віссю стріли, і величини цих навантажень згасають до мінімумів для роликів, які розташовані на перпендикулярній

осі. Тобто можна зробити важливий висновок, що ролики рівномірніше навантажені від осьової сили і нерівномірніше від обертального моменту. Саме тому максимуми навантажень припадають на декілька роликів із одного та іншого боку осі опорно-поворотного пристрою, яка співпадає із віссю стріли. Причому, на одному боці осі пристрою ролики сприймають як силу реакції так і момент, а на іншому – тільки момент. Як показують проведені розрахунки, кількість роликів, що сприймають найбільші навантаження, змінюються в межах 3-4. Це залежить від розташування центрального ролика відносно осі стріли. Якщо це положення в певній міри є очевидним, то паралельно ще доведена нерівномірність розподілення навантаження вздовж твірної роликів (рисунок 3).

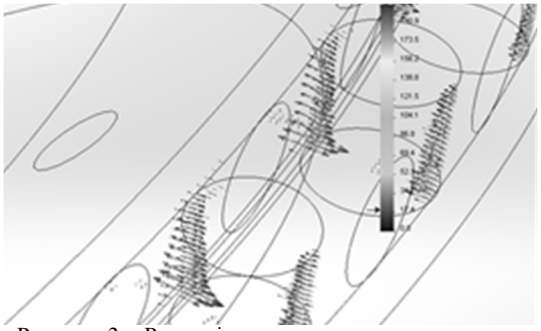


Рисунок 3 – Розподілення контактних напружень за довжиною ролика

Виявлено також зовсім нове цікаве явище, що полягає в виникненні максимальних контактних напружень не у центрі плями контакту, а на деякому віддаленні від нього. Таке твердження базується на отриманих і багаторазово перевірених результатах, які чітко видно на рисунках 4 і 5.

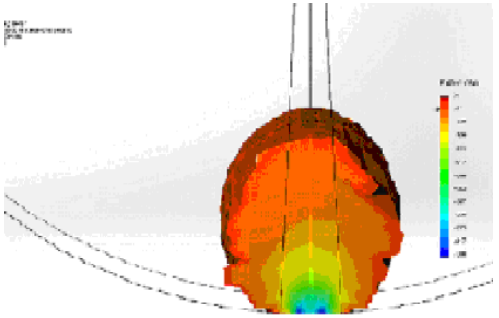


Рисунок 4 – Вид на ролик із його торця

Для точнішого визначення величини контактного тиску, виконано процедуру його зондування, тобто виділення його значень на кожному вузлу (вздовж уявної лінії максимальної дії тиску) та побудови графічної залежності величини тиску від довжині бокової поверхні ролика. Саме таку графічну залежність зображено на рисунку 6.

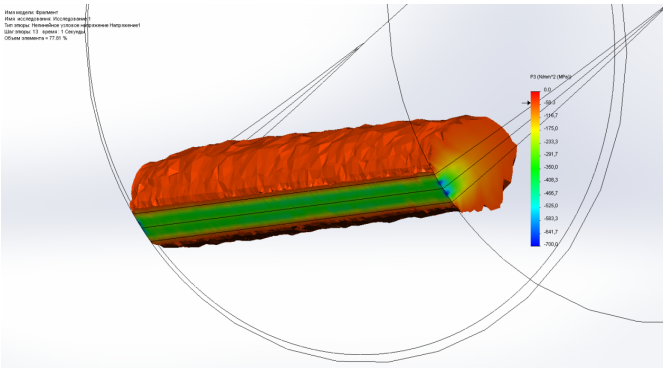


Рисунок 5 – Максимальні контактні напруження на кінцях ролика

Нерівномірність навантаження ролика не суперечить умовам рівноваги, оскільки рівнодійна сила від дії тиску на обох боках ролика буде однакова, але внаслідок обертання його навколо власної осі пікові навантаження дещо збільшуються по відношенню до таких, що виникають на другому боці ролика. Звичайно, при реальних (робочих) навантаженнях значення величин контактних напружень будуть значно більшими, що в кожному конкретному випадку неважко визначити, використовуючи відомі теоретичні методи та їх комп'ютерний аналіз. Тут проаналізовано розподілення навантаження за довжиною роликів та закономірність їх зміни на їхніх торцевих ділянках. Для зменшення концентрації контактних напружень біля торців роликів потрібно впроваджувати модифіковану їх форму, що підтверджується отриманими результатами (рисунок 7, пунктирна нижня крива). Іншим напрямом підвищення ресурсу може бути розподіл максимального навантаження на більшу кількість роликів, чого можна досягти збільшенням жорсткості обойми опорно-поворотного пристрою.

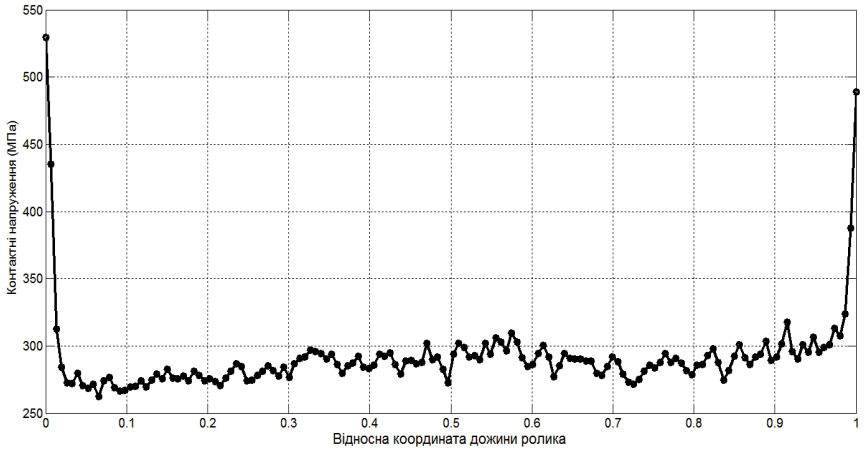


Рисунок 6 – Характер зміни контактних напружень за довжиною контактної лінії

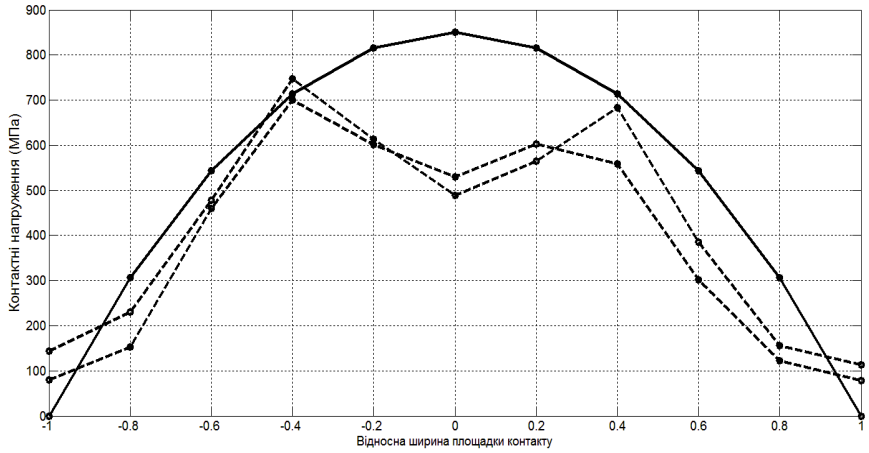


Рисунок 7 – Закономірність зміни контактних напружень на торці роликів:
——— – теоретична лінія; - - - - – дослідні для традиційних і модифікованих роликів

Висновки:

1. Проведені дослідження дають необхідну інформацію для адекватного скінченно-елементного моделювання контактної взаємодії деталей опорно-поворотних пристроїв автокранів з врахуванням реальних параметрів його елементів, а саме жорсткості кілець та геометрії розташування роликів на бігових доріжках для дослідження їх впливу на несучу здатність конструкції.

2. Для зменшення концентрації контактних напружень на торцях роликів потрібно проводити модифікацію їх форми. Отримані результати будуть підґрунтям для подальших досліджень елементів приводів автомобільних кранів.

Список літератури: 1. *Александров М.П.* Грузоподъемные машины: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, Высшая школа, 2000. – 552с. **2.** *Алямовский А.А.* Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 464с. **3.** *Гелетій В.М., Новіцький Я.М., Федик В.В.* Комп'ютерне моделювання контактної взаємодії елементів опорно-поворотного пристрою автокранів / Вісник НУ "Львівська політехніка". "Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні". – 2012. – №746. – С.24-27. **4.** *Гелетій В.М., Новіцький, Я.М., Федик В.В.* Комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану модифікованого ролика опорно-поворотного пристрою автокранів // Вісник НУ "Львівська політехніка". "Динаміка, міцність та проектування машин і приладів". – 2013. – №759. – С.26-30. **5.** *Гелетій В.М., Новіцький, Я.М., Федик В.В.* Дослідження напружено-деформованого стану ролика модифікованого опорно-поворотного пристрою // Тези 11-го МСУІМ. – Львів, 2013. – С.63. **6.** *Галлагер Р.* Метод конечных элементов. Основы. Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. **7.** *Казанский А.М.* О закономерностях распределения контактных нагрузок опорно-поворотных устройств // Вестник машиностроения. – 1978. – №11. – С.5-10. **8.** *Казанский А.М.* Максимальные напряжения на площадках контакта роликов и дорожек качения опорно-поворотных кругов // Вестник машиностроения. – 1975. – №4. – С.19-22. **9.** *Кузьмин А.В.* Справочник по расчётам механизмов подъемно-транспортных машин / *Кузьмин А.В., Марон Ф.Л.* – 2-е изд.; перераб. и доп. – Минск: Высшая школа, 1983. – 350с. **10.** *Маковский А.М.* Расчеты крановых механизмов с применением электронных таблиц EXCEL / *А.М. Маковский, П.Ф. Лях, И.А. Лукьянов* – Краматорск: Изд-во ДГМА, 2003. – 176с. **11.** НПАОП 0.00-1.01-07 Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів. – К.: Основа, П68 2007. – 312с. **12.** COSMOSWorks Online Users Guid. – Stracnural Research and Analysis Corporation, USA, 2006.

Bibliography (transliterated): 1. *Aleksandrov M.P.* Hruzopodjemnyje mashiny: Uchebnyk dlya vuzov. – Moscow.: Izd-vo MHTU im. N.A. Baumana, Vysshaya shkola, 2000. – 552p. **2**. *Alyamovskyy A.A.* Inzhenernyje raschety v SolidWorks Simulation. Moscow.: DMK Press, 2011. 464p. **3.** *Heletiy V.M., Novits'kiy Ya.M., Fedyk V.V*. Komp'yuterne modelyuvannya kontaktnoyi vzayemodiyi elementiv oporno-povorotnoho prystroyu avtokraniv. / Visnyk NU "L'vivs'ka politekhnika". "Optymizatsiya vyrobnychykh protsesiv i tekhnichnyy kontrol' u mashynobuduvanni i pryladobuduvanni." 2012. No746, P.24-27. **4.** *Heletiy V.M., Novits'kyy Ya.M., Fedyk V.V*. Komp"yuterne modelyuvannya napruzheno-deformovanoho stanu modyfikovanoho rolyka oporno-povorotnoho prystroyu avtokraniv. Visnyk NU "L'vivs'ka politekhnika". "Dynamika, mitsnist' ta proektuvannya mashyn i pryladiv" 2013. No759, P.26-30. **5.** *Heletiy V.M., Novits'kyy Ya.M., Fedyk V.V.* Doslidzhennya napruzheno-deformovanoho stanu rolyka modyfikovanoho oporno-povorotnoho prystroyu. Tezy 11-ho MSUIM, L'viv 2013. p.63. **6.** *Hallaher R.* Metod konechnykh elementov. Osnovy. Per. s anhl. – Moscow.: Mir, 1985. **7.** *Kazanskiy A.M*. O zakonomernostyakh raspredeleniya kontaktnykh nahruzok oporno-povorotnykh ustroystv. Vestnik mashynostroeniya. – 1978, – No11. – P.5-10. **8**. *Kazanskiy A.M.* Maksymal'nyje napryazheniya na ploshchadkakh kontakta rolikov i dorozhek kacheniya oporno-povorotnykh kruhov. Vestnik mashynostroeniya, – 1975, – No4. – P.19-22. **9.** *Kuz'min A.V*. Spravochnik po raschotam mekhanizmov podjemno-transportnykh mashyn / *Kuz'myn A.V*., *Maron F.L*. – 2-e izd.; pereab. y dop. – Minsk: Vysshaya shkola, 1983. – 350p. **10.** *Makovskyy A.M.* Raschety kranovykh mekhanizmov s primenenyem elektronnykh tablits EXCEL / *A.M. Makovskyy, P.F. Lyakh, Y.A. Luk'yanov* – Kramatorsk: Izd-vo DHMA, 2003. – 176p. **11.** NPAOP 0.00–1.01–07 Pravyla budovy i bezpechnoyi ekspluatatsiyi vantazhopidiymal'nykh kraniv.– Kiev: Osnova, P.68 2007. – 312p. **12.** COSMOSWorks Online Users Guid. Stracnural Research and Analysis Corporation, USA, 2006.

Надійшла (received) 25.04.2015