

Тип токоподвода		Промышленное применение внутри помещения или на открытом воздухе				
		Неспецифичная окружающая среда	Высокотемпературная среда >130°C	Коррозионная среда	Высококоррозионная среда	Безопасность
Изолированный шинопровод и проводник	медный	XXX	-	XX	X	XXX
	алюминиевый	XXX	-	-	-	XXX
Рельс с медным оголовком		XX	XXX	XXX	XXX	X
Алюминиевый рельс		X	XXX	X	-	X

ное дело. – 2016. – № 4-5. – С. 20-23.

2. **Московский Б.Г.** Особенности конструкции и применения изолированных шинопроводов // Подъемно-транспортное дело. – 2018. – № 1-2. – С. 2-5.

3. **Московский Б.Г.** Выбор шинопроводов для электропитания грузоподъемных кранов на основе расчета токовой нагрузки // Подъемно-транспортное дело. – 2018. – № 3-4. – С. 16-19.

Б.Г. Московский.

Тел. (phone) 499-922-24-08.

E-mail: boris.moskovskiy@conductix.com



АНАЛИЗ НАПРЯЖЕНИЙ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ОПОРНО-ПОВОРОТНОГО УСТРОЙСТВА АВТОКРАНОВ

Владимир Александрович МАЛАЩЕНКО, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой

Национальный университет «Львовская политехника», Украина

Владимир Федорович СЕМЕНЮК, д-р техн. наук, профессор, директор факультета

Одесский национальный политехнический университет, Украина

Евгений Сергеевич ВЕНЦЕЛЬ, д-р техн. наук, профессор

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина

Василий Владимирович ФЕДЫК, канд. техн. наук, доцент

Дрогобычский высший колледж нефти и газа, Львовская обл., Украина

Выполнен компьютерный анализ напряженно-деформированного состояния опорно-поворотных устройств автомобильных кранов, оснащенных подшипниками с перпендикулярным размещением роликов. Предложены твердотельные модели этих устройств, проведен расчетный анализ напряжений роликов и поверхностей беговых дорожек для наиболее характерных режимов их нагружения.

Ключевые слова: опорно-поворотное устройство, ролики, дорожки качения, форма торцов, модификация, контактные напряжения, распределение нагрузки.

Известно, что анализ напряженно-деформированного состояния опорно-поворотных устройств (ОПУ) сводится к определению напряжений роликов и беговых дорожек рабочих колес. В силу сложности конструкции его удобно выполнять методом конечных элементов с помощью программного продукта CosmosWorks, интегрированного в среду проектирования SolidWorks [1-3]. Следует отметить, что современные версии этого программного продукта позволяют использовать различные

конечные элементы для разработанной модели конструкции.

На начальной стадии целесообразно разработать базовую расчетную схему контактного взаимодействия ролика только со своими поверхностями беговых дорожек качения. Здесь не учитывается прикосновения роликов своими торцами к поверхности беговых дорожек соседних тел качения и силовое взаимодействие в точечном касании между парой соседних роликов, расположенных во взаимно перпендикуляр-

ных плоскостях.

Для удобства принята модель с разбивкой конструкции на конечные элементы с комбинированной неравномерной сеткой, которая приведена на рис. 1, где использована мелкая сетка в зоне контакта, а на отдаленных частях элементов – более редкая сетка. Там же приведена полученная хронограмма напряженного состояния (рис. 1, б). Предложенная схема является базовой. Она дает возможность проводить количественный анализ напряженно-деформированного состояния элементов машин в широком диапазоне контактных нагрузок.

В ОПУ имеет место геометрическое трение на торцах роликов и в точечном их соприкосновении, уменьшение которого возможно в результате модификации их торцов (рис. 2). Также доказано, что модификация торцов роликов способствует уменьшению величины концентрации напряжений их концевых участков [4-8]. Выгодна форма роликов с торцевыми сферическими поверхностями: внешней выпуклой и внутренней вогнутой. Такая форма существенно уменьшает относительное скольжение в ОПУ и несколько сглаживает краевой эффект.

Для начала рассмотрим упрощенную расчетную схему (рис. 3, а), где

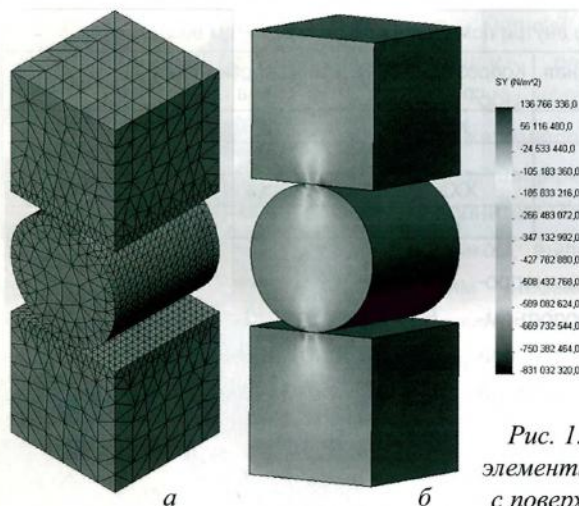


Рис. 1. Принципиальная конечно-элементная модель контакта ролика с поверхностями беговых дорожек:

а – с комбинированной сеткой; б – напряженное состояние и его хронограмма

контактные напряжения определялись на примере взаимодействия цилиндрического ролика с вогнутой поверхностью значительно большего радиуса, что позволило приблизить ее к плоскости. Здесь использована среда SolidWorks Simulation для следующих параметров ролика: диаметр $d = 36$ мм; длина образующей $l = 36$ мм; постоян-

ная нагрузка на ролик $F = 5000$ Н. Результаты количественного анализа напряженно-деформированного состояния ролика приведены на рис. 3, б.

Сплошной кривой показано изменение напряжения ролика без фаски. Как видно, рабочие напряжения несколько меньше определенных аналитически (528,75 МПа, [9-11]), хотя по краям

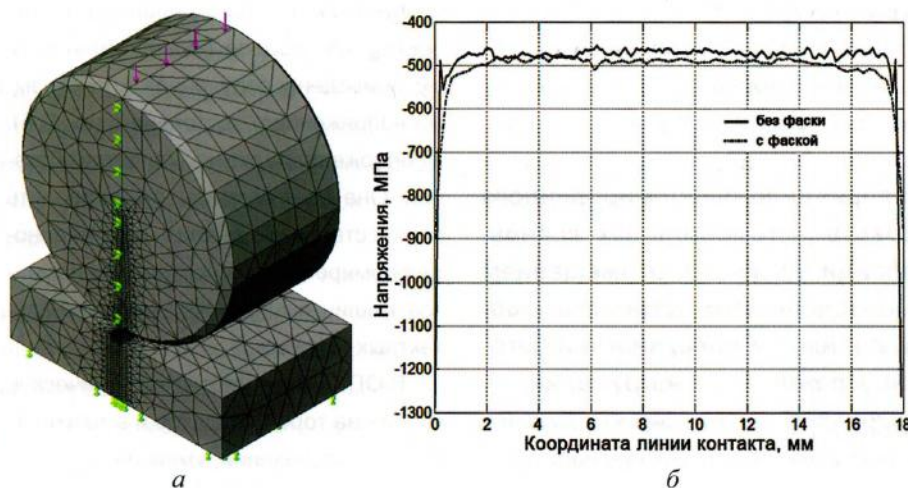


Рис. 3. Определение напряжений: а – расчетная модель контактной пары; б – распределение контактных напряжений

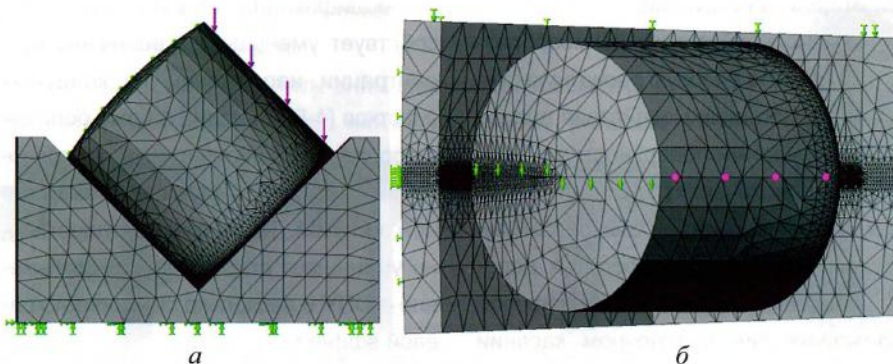


Рис. 4. Расчетная модель модифицированного ролика: а – вид спереди; б – вид сверху



Рис. 2. Модифицированный ролик

ролика вследствие концентрации напряжений их значение существенно выше. Это указывает на значительный краевой эффект, то есть на концентрацию напряжений на краях ролика, что также подтверждает целесообразность его модификации.

Для анализа контакта ролика предложенной формы разработали его твердотельную модель с фрагментом кольца ОПУ (рис. 4). Такая модель позволяет проводить количественный анализ напряженно-деформированного состояния в местах силового взаимодействия тел качения с рабочими поверхностями беговых дорожек кольца и полубойом устройства. Сетку строили по уже проверенному принципу, как и в предыдущих моделях.

На рис. 4 видно, что общая площадка контакта состоит из трех характерных частей: боковой поверхности ролика (снизу); нижней части торца; верхней части торца. Результаты расчета контактных напряжений модифицированного ролика при его взаимодействии представлены на рис. 5.

Из рис. 5, а видно, что у торца ролика на нижней части боковой его поверхности (первый участок) краевой эффект значительно меньше, чем на рис. 3, б. Это подтверждает достоверность полученных результатов, которые удовлетворительно совпадают с положениями классической теории прочности. Такое явление ставит новую задачу по поиску способов дальнейшей модификации формы тел качения с целью равномерного распределения нагрузки вдоль образующей роликов и особенно уменьшения концентрации контактных напряжений на внутренних их торцах.

На рис. 5, б представлены значения контактных напряжений на втором участке линии контакта, которые в начале ее точно совпадают со значениями в конце кривой рис. 5, а. Это дополнительно подтверждает достоверность метода, показывающего, что контактные напряжения с первого участка переходят на другой участок, имеющие

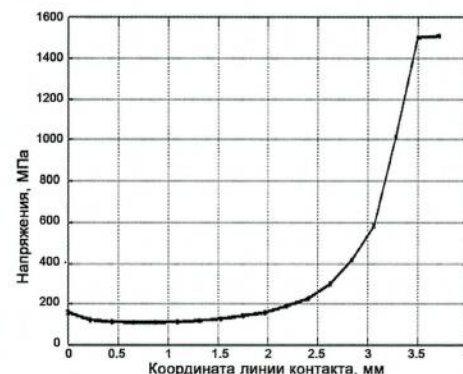
Рис. 5. Контактные напряжения на первом (а), втором (б) и третьем (в) участках линии контакта



а



б



в

одну общую точку ролика. Фаска на торце ролика не принималась во внимание. Здесь получен важный результат: контактные напряжения на торце ролика распределяются более равномерно с уменьшением в направлении геометрической оси вращения ролика.

На рис. 5, в представлены значения контактных напряжений на третьем участке контакта с выраженным краевым эффектом, где величина их несколько более 1400 МПа.

Для определения действительных рабочих напряжений роликов проведено компьютерное моделирование

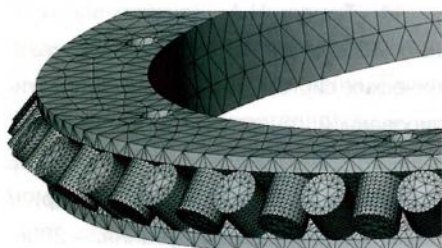


Рис. 6. Твердотельная модель контактного взаимодействия роликов с поверхностями качения

напряженно-деформированного состояния элементов ОПУ автокранов с учетом геометрии и жесткости колец. Разработана твердотельная модель, приведенная на рис. 6, которая позволяет анализировать напряженно-деформированное состояние роликов с учетом реальных параметров его элементов, а именно жесткости колец и геометрии расположения роликов на беговых дорожках. По-прежнему наименьшие размеры элементов сетки устанавливались в зоне возникновения больших контактных напряжений.

Учитывая ограниченный вычислительный ресурс даже современного персонального компьютера, поверхности беговых дорожек представляются сеткой из несколько больших частей. Для этого контактные пары задаются как «поверхность к поверхности». Нагрузка ОПУ рассматривается как статическая реакция и момент от действия груза и собственного веса стрелы.

Анализом подтверждены получен-

ные результаты теоретических расчетов, что нагрузка на роликах распределена неравномерно [12-16]. Максимумы нагрузок приходятся на три - четыре ролика, расположенных вдоль оси ОПУ, совпадающей с осью стрелы, и величины этих нагрузок уменьшаются до минимумов для роликов, которые расположены на перпендикулярной оси. То есть можно сделать важный вывод, что ролики, равномерно нагружены осевой силой и менее равномерно – крутящим моментом.

Для максимальных нагрузок на линии контакта между роликом и беговой дорожкой получен особый результат, что в рабочей зоне имеются два их максимума (рис. 7). Установлено, что площадка контакта несколько шире определенной аналитически (0,592 мм), поэтому в действительности значения напряжений будут ниже. Важным является то, что закономерность изменения контактных напряжений отличается от аналитически определенной

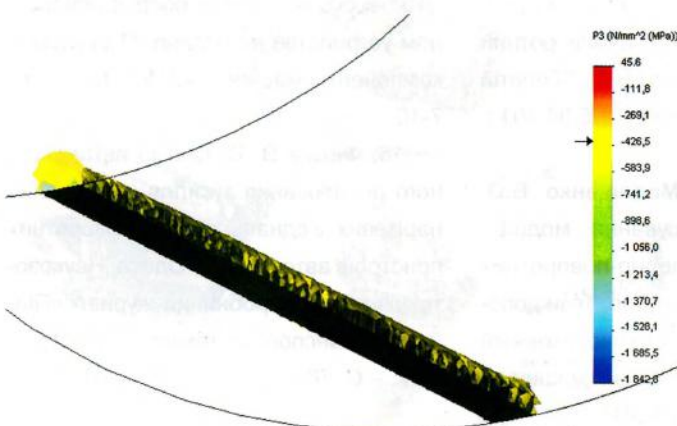


Рис. 7. Напряженное состояние в области линейного контакта ролика с беговой дорожкой полуобоймы опорно-поворотного устройства



Рис. 8. Закономерность изменения контактных напряжений роликов в рабочей зоне: 1 - теоретическая, соответствующая теории Герца; 2 - для традиционного ролика; 3 - для модифицированного ролика

наличием двух максимумов (рис. 7), которые наблюдаются во всех случаях ближе к краям площадки. Это можно объяснить появлением площадки контакта вместо линейного контакта, что не учитывается в теории Герца. Теория упругости учитывает только усредненные значения напряжений, то есть их интегральную характеристику [12, 13]. Для более точного определения величины контактного давления, выполнена процедура его зондирования, то есть выделение его значений на каждом узле (вдоль воображаемой линии максимального воздействия давления) и построение графической зависимости величины давления от длины боковой поверхности ролика. Именно такая графическая зависимость изображена на рис. 8, где показаны теоретическая кривая, соответствующая теории Герца, а также изменения контактных напряжений традиционного и модифицированного роликов.

Выводы. Для уменьшения концентрации контактных напряжений у торцов роликов нужно использовать модифицированную их форму, что подтверждается полученными результатами (см. рис. 8, кривая 3). Другим направлением повышения ресурса может быть распределение максимальной нагрузки на большее количество роликов, что можно достичь увеличением жесткости обоймы ОПУ.

Проведенные исследования дают необходимую информацию для адекватного конечно-элементного моделирования контактного взаимодействия деталей опорно-поворотных устройств автокранов с учетом реальных параметров его элементов, а именно жесткости колец и геометрии расположения роликов на беговых дорожках для исследования их влияния на несущую способность конструкции.

В результате конструктивная модификация формы роликов, выполненная и рассмотренная авторами в данной работе, является не только инструментом повышения их работоспособ-

ности, но и важным заделом для дальнейших исследований элементов приводов автомобильных кранов.

Литература

1. **Алямовский А.А.** SolidWorks 2007/2008. Компьютерное проектирование в инженерной практике. – СПб: БХВ-Петербург, 2008. – 104 с.
2. **Алямовский А.А.** Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 464 с.
3. COSMOSWorks Online Users Guid. Stracnural Research and Analysis Corporation, USA, 2006.
4. **Гелетій В.М., Новіцький Я.М., Федик В.В.** Комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану елементів ОПП автокранів. – Львів: Вісник НУЛП. «Динаміка, міцність та проектування машин і приладів», № 788, 2014. – С. 9-12.
5. **Малащенко В.О., Гелетій В.М., Федик В.В.** Аналіз кінематики модифікованого опорно-поворотного пристрою автокранів. – Львів. Вісник НУЛП. «Динаміка, міцність та проектування машин і приладів.» № 759, 2013. – С. 55-58.
6. **Малащенко В.О., Федик В.В., Матвиив Б.Т.** Усовершенствование опорно-поворотного устройства автокранов и процесса его сборки // Приводы и компоненты машин. – 2014. – № 5-6. – С. 10-12.
7. Патент на корисну модель №79333 В66С 23/84 Опорно-поворотный пристрій / Малащенко В.О., Гелетій В.М., Федик В.В. Опубл. 25.04.2013. Бюл. № 8. – 6 с
8. **Федик В.В., Малащенко В.О.** Ефективність застосування модифікованих роликів опорно-поворотних пристроїв автокранів. – Київ. Тези доповіді II Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоощадні машини і технології», 29.09-01.10.2015.
9. **Казанский А.М.** О закономерностях распределения контактных нагрузок опорно-поворотных устройств //

Вестник машиностроения. – 1978. – №11. – С. 5-10.

10. **Казанский А.М.** Максимальные напряжения на площадках контакта и дорожек качения опорно-поворотных кругов // Вестник машиностроения. – 1975. – № 4. – С. 19-22.

11. **Федик В.В., Малащенко В.О.** Напружений стан елементів роликів опорно-поворотних пристроїв автокранів. – Одеса. Науково-технічний та виробничий журнал «Підйомно-транспортна техніка», № 1, 2015. – С. 23-31.

12. **Ткачук Н.А.** Анализ контактного взаимодействия гладких и шероховатых тел методом граничных элементов / Н.А. Ткачук, Н.Н. Ткачук, И.Я. Мовшович и др. – М.: ООО Тисо Принт. – 2014. – №3. – С. 3-10.

13. **Ткачук Н.Н.** Анализ контактного взаимодействия сложнопрофильных элементов машиностроительных конструкций с кинематически сопряженными поверхностями: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.02.09. – Харьков, 2011. – 203 с.

14. **Ткачук Н.А.** Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания / Н.А. Ткачук, Г.Д. Грищенко, А.Д. Чепурной, и др. / Механіка та машинобудування. – 2006. – № 1. – С. 57-79.

15. **Федик В.В., Малащенко В.О., Семенюк В.Ф., Матвеев Б.Т.** Геометрическое скольжение в опорно-поворотном устройстве автокрана // Приводы и компоненты машин. – 2015. – № 2. – С. 7-10.

16. **Федик В. В.** Спосіб автоматичного регулювання зусилля затягування нарізаних з'єднань опорно-поворотних пристроїв автокранів. – Одеса. Науково-технічний та виробничий журнал «Підйомно-транспортна техніка». – 2015. – № 2. – С. 76-81.

В.А. Малащенко.

Тел. (phone): 8-10-380-678-604-504.
E-mail: malash@mail.ru