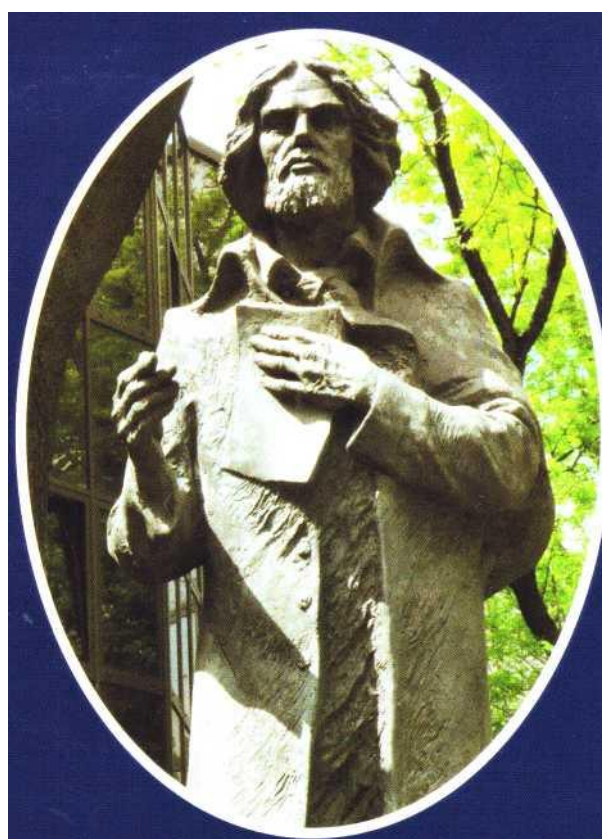


# MOTROL

COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS  
IN AGRICULTURE-

AN INTERNATIONAL JOURNAL  
ON OPERATION OF FARM AND AGRI-FOOD INDUSTRY MACHINERY



Polish Academy of Sciences  
University of Engineering and Economics in Rzeszow

# MOTROL

COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS  
IN AGRICULTURE

AN INTERNATIONAL JOURNAL  
ON OPERATION OF FARM AND AGRI-FOOD INDUSTRY MACHINERY

Vol. 15, NO 2

LUBLIN - RZESZOW 2013

**Editor-in-Chief:** Eugeniusz Krasowski

**Assistant Editor:** Jerzy Grudzinski

### Associate Editors

1. Agricultural machinery: *Valeriy Dubrovin*, Kiev, *Mariusz Szymanek*, Lublin
2. Machinery of agri-food industry: *Leszek Moscicki*, Lublin
3. Energetics: *Iliia Nikolenko*, Simferopol, *Janusz Wojdalski*, Warszawa
4. Land management, urban planning, architecture and geodesy: *Karol Noga*, Krakow, *Roman Kadaj*, Rzeszów, *Michał Proksa*, Rzeszów, *Lech Lichotaj*, Rzeszów
5. Mathematical, statistics: *Andrzej Komacki*, Lublin, *Rostislaw Bun*, Lviv

### Editorial Board

Dariusz Andrejko, Lublin, Poland  
Andrzej Baliński, Krakow, Poland  
Volodymyr Bulgakow, Kiev, Ukraine  
Zbigniew Burski, Lublin, Poland  
Karol Cupiaf, Czestochowa, Poland  
Aleksander Dashchenko, Odessa, Ukraine  
Kazimierz Dreszer, Lublin, Poland  
Valeriy Dyadychev, Lugansk, Ukraine  
Dariusz Dziki, Lublin, Poland  
Stepan Epoyan, Kharkiv, Ukraine  
Sergiy Fedorkin, Simferopol, Ukraine  
Jan Gliriski, Lublin, Poland  
Dimitriy Goncharenko, Kharkiv, Ukraine  
Aleksandr Hotubenko, Lugansk, Ukraine  
L.P.B.M. Jonssen, Groningen, Holland  
Stepan Kovalyshyn, Lviv, Ukraine  
Józef Kowalczyk, Lublin, Poland  
Eizbieta Kusiriska, Lublin, Poland  
Andrzej Kusz, Lublin, Poland  
Janusz Laskowski, Lublin, Poland  
Nikotaj Lubomirski, Simferopol, Ukraine  
Kazimierz Lejda, Rzeszów, Poland  
Dmytro Melnychuk, Kiev, Ukraine  
Jerzy Merkisz, Poznan, Poland  
Ryszard Michalski, Olsztyn, Poland  
Aleksander Morozov, Simferopol, Ukraine

Janusz Mysłowski, Szczecin, Poland  
Ignacy Niedziółka, Lublin, Poland  
Pawel Nosko, Lugansk, Ukraine  
Gennadij Oborski, Odessa, Ukraine  
Yurij Osenin, Lugansk, Ukraine  
Vjacheslav Shebanin, Mykolayiv, Ukraine  
Józef Sawa, Lublin, Poland  
Iwan Rohowski, Kiev, Ukraine  
Sergiy Pastushenko, Mykolayiv, Ukraine  
Povilas A. Sirvydas, Kaunas, Lithuania  
Wotodymyr Snitynskiy, Lviv, Ukraine  
Jerzy Sobczak, Krakow, Poland  
Stanislaw Sosnowski, Rzeszów, Poland  
Ludvikas Spokas, Kaunas, Lithuania  
Jaroslaw Stryczek, Wroclaw, Poland  
Aleksander Sydorczuk, Kiev, Ukraine  
Wojciech Tanas, Lublin, Poland  
Viktor Tarasenko, Simferopol, Ukraine  
Giorgiy F. Tayanowski, Minsk, Belarus  
Leonid Tishchenko, Kharkiv, Ukraine  
Henryk Tylicki, Bydgoszcz, Poland  
Denis Viesturs, Ulbrok, Latvia  
Dmytro Voytiuk, Kiev, Ukraine  
Anatoliy Yakovenko, Odessa, Ukraine  
Oleg Zaitsev, Simferopol, Ukraine  
Tadeusz Ztoto, Czestochowa, Poland  
Marian Panasiewicz, Lublin, Poland

All the scientific articles positive evaluations by independent reviewers

Linguistic consultant: Larisa Vakhonina, Oleg Plakhtyr

Typeset: Hanna Krasowska-Kolodziej, Natalia Stepanowa

Cover design: Hanna Krasowska-Kolodziej

Photo on the cover: Janusz Laskowski

Editorial Office address: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture

Wielkopolska Str. 82, 20-725 Lublin, Poland

e-mail: [eugeniusz.krasowski@up.lublin.pl](mailto:eugeniusz.krasowski@up.lublin.pl)

ISSN 1730-8658

© Copyright by Polish Academy of Sciences 2013

© Copyright by University of Engineering and Economics in Rzeszow 2013

In co-operation with Mykolayiv National Agrarian University 2013

Edition 200 + 16 egz.

## Содержание

<b>Валерий Гавриш:</b> Энергетическая эффективность выращивания подсолнечника на юге Украины	5
<b>Константин Думенко, Дмитрий Бабенко, Екатерина Шевченко:</b> Оптимальные технологические параметры (X1, X2, X3, X4) планетарной машины для измельчения семян баклажанов при лабораторных 11 испытаниях	
<b>Борис Бутаков, Виталий Артюх:</b> Волнистость поверхности при обкатывании тел вращения роликами	15
<b>Сергей Пастушенко, Андрей Пастушенко:</b> Особенности методики экспериментальных исследований механизированных процессов получения семенного материала огурца и дыни	23
<b>Елена Цепурит:</b> Расчет прочности стержневых элементов стальных конструкций в области ограниченных пластических деформаций	29
<b>Анатолий Бойко, Александр Бондаренко, Василий Савченко:</b> Варьирование изменений показателей надежности пассивно резервируемой системы при поврежденном основном и исправном дублирующем элементах	35
<b>Константин Думенко, Дмитрий Бабенко, Ирина Павлюченко:</b> Разработка и лабораторные испытания машины для измельчения семян тыквы	41
<b>Igor Atamanyuk, Yuriy Kondratenko:</b> Information technology of determination of descriptions of optimum polynomial prognosis algorithm of the State of technical Systems	47
<b>Руслан Кисилев, Кузьма Матвеев, Петр Лузан, Сергей Лещенко:</b> Исследование влияния параметров смесителя на показатели качества приготовления кормов	51
<b>Владимир Ухо:</b> Расчет прочности и устойчивости колонны морской ветроэнергетической установки по правилам DNV	57
<b>Николай Грипачевский:</b> Исследования путей и повышения эффективности эксплуатации техники в фермерских хозяйствах	65
<b>Геннадий Иванов, Павел Полянский:</b> Расчет и выбор переходных посадок	71
<b>Раджаб Заде Мортса, Вильям Залого, Александр Ивченко:</b> Система факторов риска, оказывающих влияние на разработку, внедрение и улучшение интегрированных систем менеджмента	79
<b>Алёна Огиенко, Николай Огиенко, Елена Штепа:</b> Исследование энергетических возможностей Украины в рамках таможенного союза	87
<b>Александр Нестеренко, Сергей Лещенко, Дмитрий Петренко, Дмитрий Богатырёв, Олег Кислун:</b> Теоретическое обоснование качественных показателей процесса пневмосепарации для многоуровневого введения зерна	93
<b>Екатерина Васильковская, Николай Петренко, Светлана Гончарова:</b> Обоснование конструктивной схемы пневмомеханического высевающего аппарата для точного высева семян пропашных культур	99
<b>Алексей Васильковский, Сергей Лещенко, Анна Кожанова:</b> Повышение эффективности послеуборочной очистки зерновых культур воздушным потоком	107
<b>Дмитрий Марченко:</b> Численное решение контактной задачи напряженно-деформированного состояния тел при работе при работе стальных канатного блока и каната	113
<b>Николай Завирюха:</b> Исследование параметров траектории полета початков при их отделении на стреперных пластинах	121
<b>Вячеслав Шебанин, Владимир Богза, Сергей Богданов, Иван Хилько:</b> Числовой метод определения напряженно-деформированного состояния и критических нагрузок потери устойчивости арок	129
<b>Василий Грубань:</b> Разработка технологического модуля для уборки кукурузы с очисткой початков	13
<b>3</b>	
<b>Александр Ракул, Владимир Пилип:</b> Теоретическое исследование крутильных деформаций плодоножки	120

## LIST OF THE REVIEWERS

1. Dmitriy Babenko
2. Valeriy Gavrish
3. Andrey Stavinsky
4. Anatoliy Boiko
5. Yuriy Seleznev
6. Sergey Pastushenko
7. Boris Butakov
8. Karine Gorbunova
9. Elena Shebanina
10. Dmitriy Voitjuk
11. Valeriy Dubrovin
12. Vladimir Nadikto
13. ValeriyBudak
14. Boris Timoshevsky
15. Vitaliy Dorofeev
16. Vjacheslav Evtukhov

Editors of the „Motrol” magazine of the Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture would like to inform both the authors and readers that an agreement was signed with the Interdisciplinary Centre for Mathematical and Computational Modelling at the Warsaw University referred to as “ICM”. Therefore, ICM is the owner and operator of the IT system needed to conduct and support a digital scientific library accessible to users via the Internet called the “ICM Internet Platform”, which ensures the safety of development, storage and retrieval of published materials provided to users. ICM is obliged to put all the articles printed in the “Motrol” on the ICM Internet Platform. ICM develops metadata, which are then indexed in the “Agro” database.

Impact factor of the „Motrol” journal according to the Commission of Motorization and Energetics in Agriculture is 2.0 (September 2013).

## ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ЗАДАЧИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕЛ ПРИ РАБОТЕ СТАЛЬНЫХ КАНАТНОГО БЛОКА И КАНАТА

*Дмитрий Марченко*

*Николаевский национальный аграрный университет  
54020, г. Николаев, ул. Парижской коммуны, 9*

**Dmitry Marchenko**

*Nikolaev National Agrarian University  
54020, Nikolaev, st. Paris Commune, 9*

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследований напряженно-деформированного состояния при работе стальных канатного блока и каната. С помощью конечно-элементного моделирования выполнено численное решение пространственной и плоско-напряженной контактной задачи при использовании прикладных программных комплексов APM WIN Machine и Structure CAD. Результаты анализа статического и динамического нагружения пары показали, что максимальный уровень контактных напряжений (поля напряжений), а следовательно и самая большая интенсивность трибоконтактного изнашивания, приходится на рабочий профиль канатного блока, а именно на тороидальную и конические поверхности за счет смятия канатом рабочей поверхности.

**Ключевые слова:** контактная задача, напряженно-деформированное состояние, конечно-элементное моделирование, трибоконтактный износ, канатный блок, канат.

### ВВЕДЕНИЕ

Микронеровности рабочих поверхностей вызывают очень значительные изменения контактных напряжений в крайнем поверхностном слое. Напряжения, которые появляются на неровностях поверхности, могут значительно превышать напряжения сдвига, которые возникают на критической глубине под поверхностью контакта. Нагрузки концентрируются на гребешках микронеровностей, ультраместные напряжения легко переходят границу упругости и пластическую деформацию материала и начинается со смятия вершин микровыступов. С повышением нагрузки пластическая деформация захватывает группы гребешков, расположенных на вершинах макронеровностей поверхности, деформируя их и образуя отдельные пятна в зоне общей поверхности контакта.

На отдельных участках пластическая деформация может объединяться с упругой деформацией материала в зависимости от формы неровностей, размеров, объединение в их расположении и, в конце концов, в зависимости от упругих и пластических свойств самого материала и его поверхностного слоя.

Увеличение сжимаемых нагрузок свыше определенной границы, зависимой от свойств материала, нарушает картину распределения упругих деформаций и напряжений, поскольку вызывает безвозвратные деформации в значительных объемах, соизмеримых с общим объемом материала, охваченной местной деформацией. Однако пластическая деформация гребешков микронеровностей и даже всего поверхностного слоя есть обязательным для любого одноразового нагружения реальных поверхностей.

При повторном нагружении поверхности тем же нагружением пластическая деформация крайнего поверхностного слоя возобновляется, но в значительно меньшей мере и быстро затухает, хотя полностью не прекращается ни при повторном статическом сжатии, ни тем более при качении или качении со скольжением [1].

В процессе работы при циклических контактных нагрузках происходит непрерывное изменение свойств крайнего поверхностного слоя и к моменту начала усталостного разрушения в работе принимает участие материал с абсолютно другими свойствами, чем в начальный период [2].

При граничной нагрузке упругопластические деформации в контакте, имея в виду, которое при ограниченном числе нагрузок возникающее смятие поверхностей имеет некоторую границу, зависящую от приспособляемости материала, или же смятие прогрессирует, но очень медленно. Такое же поведение материала в зоне контакта

возможно и при большом числе циклов нагружения, но при этом уже приходится учитывать такие явления, как диспергирование поверхности, стирание, усталостное разрушение в разных взаимодействиях в зависимости от условий работы деталей и, конечно же, свойств материалов, которые вступают в контакт.

В одних случаях преобладает усталостное разрушение рабочего слоя, в других - прямой износ, у третьих - их комбинация в разных «пропорциях».

Имея в виду, что в реальных конструкциях имеет место и «чистая» усталость, и прямое стирание, и переформирование поверхностей контакта за счет пластических деформаций, необходимо учитывать трудность оценки комбинированного действия указанных факторов. Поэтому понятное стремление специалистов упростить задачу, абстрагироваться от некоторых моментов, ограничить число параметров при рассмотрении картины разрушений в контакте. Например, при построении метода расчетов стальных подъемных канатов по сроку службы можно опираться на один только параметр, на механический износ проволок, на стирание их при взаимном скольжении в процессе изгиба каната на блоках и барабанах. Но можно принять и другой критерий, также единый, - критерий усталостного разрушения проволок, которые повторно нагружаются в контактах между собой и между проволочками и ручьями блоков (суммирования при этом контактные напряжения с напряжениями от изгиба, кручения, растяжения). На самом деле же, как известно, существенным образом влияют оба фактора износа каната, хотя в разных условиях по-разному (шахтный подъем, полиспастный подъем крана и др.)

[3].

Практика эксплуатации проволочных канатов показывает, что неравномерное распределение напряжений по слоям существенным образом снижает долговечность канатов, поскольку перегруженные слои проволок быстро разрушаются, а разгруженные слои проволок отслаиваются. Мера неравномерности распределения напряжений между проволочками каната может быть оценена величиной механического износа проводов каната [4-6].

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одной из основных проблем прикладной механики является построение методов, которые позволяют адекватно оценивать напряженно-деформированное состояние (НДС) разных технических объектов [7-9]. Поэтому предлагается провести численный анализ для определения НДС при работе канатного блока и каната с помощью метода конечно-элементного моделирования.

Объектами исследования является пара «канатный блок - канат».

Стальной канатный блок изготовлен со стали 35Л (ГОСТ 977 - 88) согласно конструкторской документации на судопере-грузатель «KRUPP». Радиус рабочего профиля канатного блока  $r = 18$  мм; глубина профиля  $h = 50$  мм; диаметр канатного блока по диаметру рабочего профиля = 800 мм; половина угла рабочего профиля ручья канатного блока  $\alpha = 22,5^\circ$ ; модуль упругости канатного блока  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа; коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$ .

Стальной канат двойного витья с линейным прикосновением проволок в прядях типа ЛК-РО 'конструкции 6x3 6(1+7+7/7+14)+7x7( 1+6) с металлическим сердечником выполненный по ГОСТ 7669 - 80. Модуль упругости материала проводов  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа; коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$ ; коэффициент трения  $\mu = 0,2$ . Угол обхвата канатом рабочего профиля канатного блока  $180^\circ$ . Одна из торцевых поверхностей каната жестко закреплена через канатный блок на балансире с гидравлическими амортизаторами, который служит для натяжения каната с целью уменьшения динамических колебаний и смягчения ударов при разных послаблениях или разрыве одного из ремней каната (здесь и дальше под торцевой поверхностью пряди каната имеется в виду совокупность торцевых поверхностей составляющих ее проволок). На противоположном торце, который проходит через систему полиспастов к канатному барабану, моделируется поверхность с поведением, которое точно отвечает реальным условиям нагрузки пряди каната. Исследования распространяются на случаи статического и -динамического нагружения торцевой поверхности пряди с жестким поведением. К ней прикладываются

продольная растягивающая сила, момент, который вызывает скручивание пряди.

Для конечно-элементного решения данной контактной задачи при работе стальных канатного блока и каната были использованные прикладные программные комплексы APM WIN Machine и SCAD Office.

Для создания расчетной геометрии исследуемого объекта использовалась одна из распространенных в инженерной практике систем твердотельного трехмерного проектирования. Пространственная модель была выполнена в графическом редакторе AutoCAD и импортированная через STEP формат в препроцессор трехмерного графического редактора APM Studio, что входит в программный комплекс APM WIN Machine, для моделирования с использованием объемных твердотельных (солид) элементов [10, 11]. На рис. 1 показаны результаты моделирования геометрии пары канатного блока и каната.

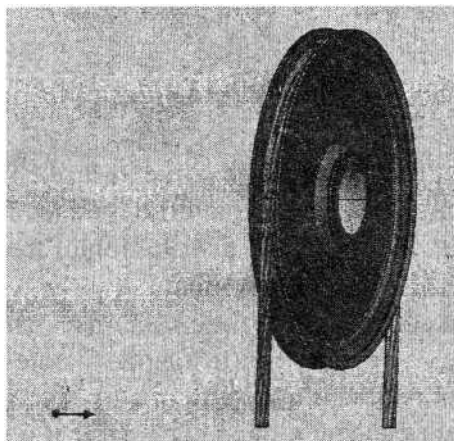


Рис. 1. Пространственная геометрическая модель

Fig. 1. The spatial geometry model

После создания/импорта пространственной геометрической модели были последовательно указанные пары контактирующих деталей и поверхностей, по которым будет происходить взаимодействие. На поверхности совпадающих граней таким образом были созданные контактные и целевые элементы.

Подготовительный этап расчетов включает разбивку пространственной модели «канатный блок - канат» на четырехузловые конечные элементы в виде сетки тетраэдров (рис. 2). Количество элементов конечноэлементной модели - 116695; количество уз

лов - 34769; количество степеней свободы - 104307.



Рис. 2. Конечно-элементная расчетная пространственная модель

Fig. 2. The finite element model of the design space

После разбивки конечно-элементной сетки расчетная модель импортировалась в модуль анализа на прочность APM Structure3D программного комплекса APM WIN Machine, где задавались закрепления узлов и свойства материала, прикладывались нагрузки, которые наблюдаются в условиях эксплуатации пары «канатный блок - канат», вносились свойства контактирующих зон и элементов.

Расчет контактного взаимодействия проводился в рамках нелинейного расчета, в т.ч. и статического расчета, в предположении малых перемещений и упругих деформаций. В процессе расчета создавались фиктивные элементы, которые связывают контактирующие поверхности, и, в зависимости от относительного перемещения узлов этих поверхностей, на каждой итерации уточнялись усилия в площадке контакта и находились решения для системы линейных алгебраических уравнений в матричной форме. Критерием сходимости являлось условие минимального взаимного проникновения объектов.

Результатами расчетов контактного взаимодействия пары «канатный блок - канат» являются перемещения, напряжения и деформации, которые возникают в объемных элементах, взаимное проникновение и состояние контактных элементов в контактной области.

Анализ напряженно-деформированного состояния показывает, что максимальное эквивалентное напряжение возникает не на поверхности рабочего профиля канатного блока, а в районе галтельного перехода под сту-



пицу блока и достигает значения 450 МПа (рис. 3).

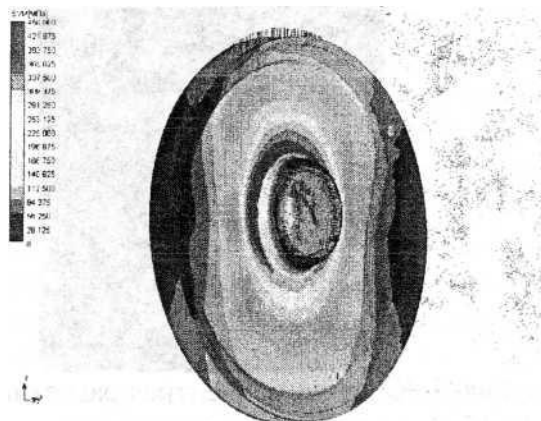


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений за Мезисом

Fig. 3. The distribution of equivalent stress for Mezisom

Следует отметить, что максимальное нормальное напряжение по оси  $Y$  локальной системы координат достигнет своего максимума в 226 МПа на тороидальной и конических частях рабочего профиля канатного блока (рис. 4). Распределение касательных напряжений в площадке с нормалью  $Y$  и в направлении  $Z$  системы координат приведены на рис. 5.

Изополя напряжений, представленные на рис. 4 и рис. 5, отвечают случаю рабочего режима пары «канатный блок - канат», когда полукруг качения каната катится по средней линии рабочего профиля канатного блока. При данном режиме работы прослеживается минимальный уровень интенсивности рабочих напряжений, а также минимальный уровень поперечных нагрузок. Меняя относительное положение каната и канатного блока в небольших значениях, которое происходит через динамические нагрузки, приводит к возникновению существенных продольных нагрузок, а также возникновения увеличенной области контакта. В этом случае контакта возникают зоны с повышенным значением напряжений и существенное относительное проскальзывание, которое приводит к возникновению зон пластичности и быстрого износа рабочего профиля канатного блока. В процессе строгивания достигаются более высокие напряжения, чем при установленном качении, которое необходимо учитывать при расчетах на прочность и оценке срока службы канатных блоков.

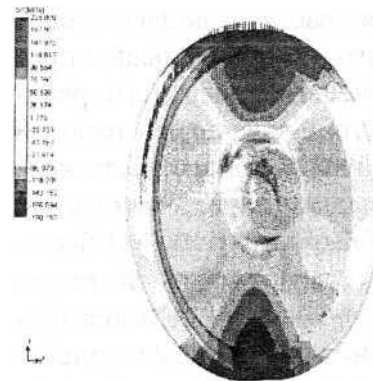


Рис. 4. Распределение нормальных напряжений пространственной модели

Fig. 4. The distribution of normal stresses spatial model

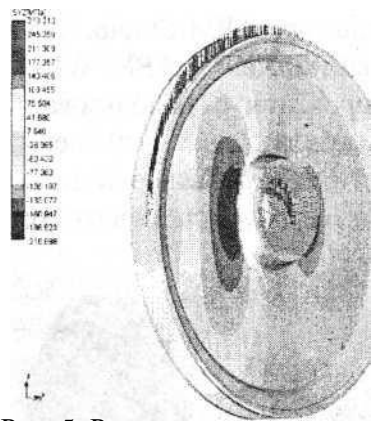


Рис. 5. Распределение касательных напряжений пространственной модели

Fig. 5. The spatial distribution of the shear stress model

Максимальные относительные деформации, как упругие, так и пластические возникают на рабочей поверхности профиля блока во время работы в паре с канатом и в районе галтельного перехода под ступицу канатного блока (рис. 6). Максимальное значение суммарных линейных перемещений будет составлять 0,8041 мм (рис. 7).

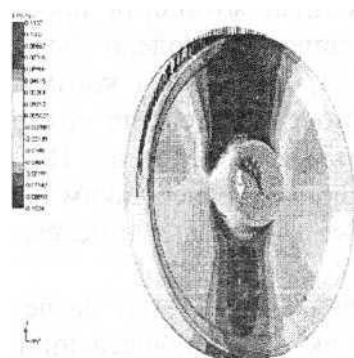


Рис. 6. Распределение линейных относительных деформаций пространственной модели

Fig. 6. The strain distribution of the linear spatial model

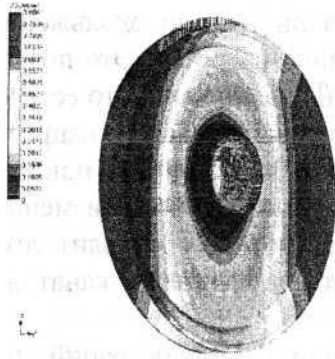


Рис. 7. Распределение суммарных линейных перемещений пространственной модели  
Fig. 7. Distribution of total linear displacement of the spatial model

Анализ распределения относительных деформаций канатного блока в паре с канатом показывает, что пластические деформации являются существенным фактором, который необходимо учитывать при оценке процессов накопления трибоповреждений на рабочем профиле канатного блока.

На основе результатов расчетов пространственной (трехмерной) модели была сформированная плоская (двухмерная) расчетная модель, которая позволила отследить направление главных растягивающих напряжений, которые возникают в канате в паре с канатным блоком, а также выполнить уточненную проверку аналитического расчета контактной задачи. Для этой цели был использованный прикладной проектно-расчетный комплекс SCAD Office.

Плоская модель была выполнена в графическом редакторе AutoCAD и импортированная через STEP формат в расчетный процессор Structure CAD, что входит в проектно-расчетный комплекс SCAD Office [12]. Плоская модель разбивалась на конечные элементы, на которые накладывались действующие силы, нагрузка и задавались свойства и характер их взаимодействия. Количество элементов конечно-элементной модели - 12895; количество узлов - 8332.

Постпроцессорная обработка результатов конечно-элементных расчетов позволяет легко получить важные характеристики решения. Так на рис. 8 и 9 получены карты распределения изополей эквивалентных и нормальных напряжений.



Рис. 8. Распределение изополей эквивалентных напряжений плоской модели Fig. 8. The distribution of contour plots of equivalent stress plane model



Рис. 9. Распределение изополей нормальных напряжений плоской модели Fig. 9. The distribution of the normal stress contour plots flat model

Анализ формы и характера изменения изополей эквивалентных напряжений, приведенное к эквивалентному сжатию по первой теории прочности самых больших нормальных напряжений (рис. 8), с учетом месторасположения зоны максимальных эквивалентных напряжений показывает, что в зависимости от соотношения действующих и предельных значений напряжений может возникнуть смятие рабочей поверхности профиля канатного блока, который контактирует с канатом.

В меру отдаления в осевом направлении от контактирующего торца поверхности каната согласно расположению изолиний рас

пределения эквивалентных напряжений по глубине канатного блока наиболее вероятным направлением развития повреждений будет в районе галтельного перехода под ступицу канатного блока, при этом максимальное значение функции накопления три-боповреждений будет возникать на поверхности рабочего профиля канатного блока и определять характер изнашивания. В процессе работы пары «канатный блок - канат», вследствие смятия, происходит увеличения площадки контактного взаимодействия, которое приводит к существенному уменьшению абсолютных значений, как контактных давлений, так и эквивалентных напряжений. При дальнейшем повышении нагрузки образовывается более менее сплошное пятно контакта, способно воспринимать нагрузку без ощутимых пластических деформаций, среднее давление на этом пятне возрастает и приводит в действие весь механизм упругих микроперемещений на поверхности сжатия.

Картина деформированного состояния плоско-напряженной (двухмерной) модели в целом совпадает с интуитивно ожидаемой.

НДС пряди каната при действии в нем продольной растягивающей силы и крутящего момента при комплексной нагрузке абсолютное значение удлинения пряди малое, что объясняется комбинацией нагрузок: растягивающая сила хочет растянуть пряди каната, а крутящий момент, напротив, - сжать ее. При этом распределение интенсивности напряжений имеет неоднородный характер. В центральном проводе напряжения распределяются равномерно по ее сечению. В проволоках Пой пряди присутствующие локальные максимумы в зонах контактного взаимодействия с соседними проволоками. Слой 2 характеризуется наличием максимумов интенсивности напряжений в контактных областях с проволоками 1-го слоя. Во внешнем слое максимум интенсивности напряжений смещен в сторону контактных областей проволок самого слоя.

Распределение максимальных контактных напряжений прослеживается в проволоках внешнего слоя, дистанции скольжения распределяются равномерно по длине проволок. Основными факторами, обуславливающими изнашивание при контактном взаимодействии, являются контактные давления и скорость скольжения. Последняя может быть опреде-

лена через дистанцию скольжения и время прикладывания нагрузки. Это позволяет обосновать закон изнашивания, то есть закон изменения размеров проволок в направлении оси, которая перпендикулярна к поверхности трения, в результате их формоизменения в процессе трения, которое позволит создать методы относительно расчетов канатов на долговечность.

Как видно из иллюстраций, полученные при расчетах значения напряжений и деформаций достаточно хорошо согласовываются с результатами как пространственной (трехмерной), так и плоско-напряженной (двухмерной) расчетных схем. Полученные значения численных решений контактной задачи практически совпадают со значениями полученных аналитических результатов [13], при этом относительная погрешность в среднем составляет около 4 %, что свидетельствует о приемлемой точности вычислений.

В результате проведенных исследований и анализа характеристик НДС пары «канатный блок - канат» с целью предотвращения явления изнашивания как каната, так и рабочего профиля канатного блока, предложена конструкция устройства для подъемного каната, который позволяет уменьшить контактные напряжения при работе канатного блока и каната, а также избежать проскальзывание подъемного каната [14,15].

Нужно также заметить, что распределение контактных напряжений и деформаций, которые являются главными факторами, которые определяют характер и интенсивность изнашивания пары «канатный блок - канат», будет зависеть от качества, прочности и НДС металла поверхностных слоев [16]. Поэтому управление свойствами поверхностного слоя за счет обкатывания клиновым роликом рабочего профиля канатного блока возможно достичь повышение контактной прочности и тем самым повысить надежность и долговечность пары, узла и машины в целом [17-19].

## ВЫВОДЫ

1. Проведенный детальный численный анализ решения контактной задачи НДС прикладного характера, который играет важную роль в инженерных расчетах, в частности в машиностроительных, для расчетов на кон

тактную прочность, а также оценке срока службы пары «канатный блок - канат».

2. Создано на основе разработанного метода и алгоритма эффективные компьютерные модели (конечно-элементное моделирование) для быстрого анализа влияния параметров задачи на особенности контактного взаимодействия (НДС) тел. Кроме этого, это решение важное при рассмотрении изнашивания жесткого тела при его контактом взаимодействии с упругим телом, когда происходит вдавливание канатных проволок с образованием соответствующих впадин (дефектов при смятии).

3. Предложенная и реализованная на ПЭВМ схема итерационного процесса уточнения области контакта с учетом деформации предельных поверхностей канатного блока и каната, а также условий контактных сопряжений деталей и изменением этих условий в процессе рабочих нагрузок.

4. Предложено на основе расчетов конструкцию подъемного каната (патент Украины на полезную модель № 66305) и рекомендовано проводить упрочнение рабочего профиля канатного блока поверхностной пластической деформацией с помощью технологии обкатывания клиновым роликом.

Getman, J. Ustinov // Podzemnye mashiny i mehanizmy. — Т. 72, вып. 1. — 81—90.

6. Borovkov A. 2005. Konechno-jelementnoe vychislenie jeffektivnyh mehanich-eskih harakteristik stal'nogo kanata na osnove modelirovaniya mikrostruktury i mnozhestvennogo kontaktnogo vzaimodejstvija / A. Borovkov, D. Klimshin// Fundamental'nye issledovaniya v tehnicheskikh universitetah. — Sankt - Peterburg : SPbGPU,—232—233.

7. Kuz'menko A. 2007. Kontakt, trenie i iznos smazannyh poverhnostej : monografija / A. Kuz'menko, O. Diha. — Hmel'nickij : HNU,— 344.

8. Sorokatj R. 2009. Metod tribojelementov: monografija / R. Sorokatj. — Hmel'nickij: HNU,— 242.

9. Sorokatj R. 2007. Reshenie iznosokontaktnyh zadach metodom tribojelementov v srede konechno-jelementnogo paketa AN SYS / R. Sorokatj // Problemi triboiogii. — Hmel'nic'kij,— №3. — 9—17.

10. Zamrij A. 2006. Proektirovanie i raschet metodom konechnykh jelementov trehmernykh konstrukcij v srede APM Structure 3D / A. Zamrij. — M.: APM,— 288.

11. ' APM WinMachine. Sistema rascheta i proektirovaniya detalej i konstrukcij metodom konechnykh jelementov. Versija 9.6. Rukovodstvo pozvotelja [Jelektronnyj re-surs]. — Jelektron. tekstovye dannye. — Rezhim dostupu : <http://www.apm.ru>.

12. SCAD Office. Vychislitel'nyj kompleks SCAD / [V. Karpilovskij, J. Kriksunov, A. Maljarenko i dr.] — M. : ASV, 2004. — 592.

13. Popov A. 2011. Kontaktnaj a zadacha naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija tel pri rabote stal'nogo kanatnogo bloka i trosy / A. Popov, B. Butakov, D. Marchenko // Problem! triboiogii. — Hmel'nic'kij,— № 1. — 29—36.

14. Hertz H. 1882. Über die Berührung fester elastischer Körper und über die Härte / H. Hertz // Verhandlungen des Vereines zur Beförderung des Geverbefleisses. — Berlin, Nov. — 449.

15. Pat. 66305 Ukraïna, MPK V 66 D 3/04. Pidjomnij kanat / O. Popov, B. Butakov, D. Marchenko, O. Savenkov; zajavnik i vlasnik Marchenko D. - № u201108208 ; zajavl. 30.06.2011 ; opubl. 26.12.2011, BjuL № 24.

16. Butakov B. 1992. Osnovnye principy tehnologii impul'snogo i maloskorostnogo

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Pinegin S. 1961.0 mehanizme kachenij a pri silovom kontakte uprugih tel / S. Pinegin // Trudy. — M. : In-t mashinovede-nija AN SSSR,— 13 s. — (Soveshhanie po kontaktnoj prochnosti mashinostroitel'nyh materialov).

2. Popov A. 2010. Novaja teorija kontaktnoj prochnosti uprugo szhatyh tel / A. Popov // MOTROL. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture Polish Academy of Sciences Branch of Lublin Ropczyce School of Engineering and Management. — Lublin,— Tom 12A. — 223—232.

3. Koval'skij B. 1967. Raschet detalej na mestnoe szhatie / B. Koval'skij. — Har'-kov : HVKIU,— 224.

4. Erdonmez C. 2009. Modeling and numerical analysis of the wire strand / C. Erdonmez, C. Imrak // J. of Naval Science and Engineering. — Vol. 5, №1. — 30—38.

5. Getman I. 2008. O metodah rascheta kana-tov. Zadacha rastjazhenija-kruchenija / I.

- vozdeystvija na struktum i svojstva metallov i splavov: dis. na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehn. nauk: 05.02.01 / Butakov Boris Ivanovich. — K.,— 533.
17. Butakov B. 2010. Optimizacija parametrov poverhnostnogo uprochnenija obkatyvanijem rolikami kanatnyh blokov s cel'ju povysnenija ih kontaktnoj prochnosti / B. Butakov, D. Marchenko // Problemi tribologii. — Hmernic'kij,— № 3. — 99—107.
18. Popov A. 2011. Kontaktnaja prochnost' zubchatyh muft s prodol'no modifitsiro-vannymi zub'jami / A. Popov, O. Savenkov // MOTROL. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture Polish Academy of Sciences Branch of Lublin Ropczyce School of Engineering and Management. — Lublin. — Tom 13A. — 167—176.
19. Butakov B. 2008. Razrabotka sposoba obkatyvanija rolikami stal'nyh detalej s cefju povysnenija ih kontaktnoj prochnosti / B.I. Butakov, D.D. Marchenko // MOTROL. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture Polish Academy of Sciences Branch of Lublin Ropczyce School of Engineering and Management. - Lublin. - Vol. 10V. - 15-28.

NUMERICAL SOLUTION OF CONTACT  
PROBLEMS OF STRESS-STRAIN STATE  
BODIES AT WORK STEEL BLOCK ROPE  
AND ROPE

Summary. The paper presented the results of studies of the stress-strain state at work steel cable block and channel Univ. Using finite element modeling performed numerical solution spatial and plane-hard contact problem using application software systems APM WIN Machine and Structure CAD. Analysis of static and dynamic load-nomic couples showed that ma-a maximal level of contact stress (stress field), and therefore the greatest intensity trybokontaktneho wear at-work profile is on the cable block ku, namely the toroidal and conical surface due to a jam rope Their work is returned.

Key words: contact problem, the stresses, deformation, finite element modeling, trybokontaktny wear, rope block rope.