

УДК 621.85.052.44

**КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ЗУБЧАТО-РЕМЕННЫХ ПЕРЕДАЧ**

*канд. техн. наук, доц. А.Г. БАХАНОВИЧ, д-р техн. наук, проф. А.Т. СКОЙБЕДА
(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

Впервые проведено компьютерное конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния зубчато-ременных передач, что позволяет на стадии проектирования определить их рациональные параметры, способствующие повышению надежности и долговечности.

Введение. Для достоверного описания сложных физико-механических процессов, происходящих в многослойных эластомерных анизотропных вязкоупругих системах (приводных зубчатых ремнях) в условиях как стационарного, так и неустановившегося режима нагружения, определения степени влияния эксплуатационных и геометрических параметров на надежность и долговечность существующих и вновь разрабатываемых зубчато-ременных передач (ЗРП), разработки рекомендаций по дальнейшему повышению их технических характеристик впервые проведен комплекс компьютерного конечно-элементного моделирования их напряженно-деформированного состояния в среде *ANSYS* [1].

В основу моделирования были положены:

- концепция нелинейной механики сплошной среды;
- нелинейная теория тиксотропной вязкоупругости;
- адгезионные, когезионные, высокоэластичные и упругогистерезисные свойства анизотропных вязкоупругих систем;
- всемирно известный и широко использующийся при расчетах резинотехнических изделий принцип Муни - Ривлина;
- экспериментально полученные диаграммы растяжения - сжатия полимерных материалов [2 - 6].

Обзор исследований и постановка задачи. Как известно [7 - 9], полимерные материалы и изготовленные на их основе детали машиностроительного назначения являются вязкоупругими системами и подчиняются основным законам механики (Гаука, Ньютона и др.) при бесконечно малых скоростях деформации. Причем напряжения, возникающие в объеме данных материалов, зависят не только от величины приложенной нагрузки, а также от ее типа, скорости изменения и продолжительности действия.

Наряду с этим полимерные материалы проявляют ярко выраженные реологические и релаксационные свойства [10 - 12], проявляющиеся в снижении напряжений в их объеме при неизменно действующей нагрузке.

Механические передачи мощности гибкой связью, имеющие в своем составе эластомерные анизотропные вязкоупругие системы, в процессе эксплуатации подвергаются комплексу динамических и ударных нагрузок, вызывающих постоянное изменение картины распределения напряженно-деформированного состояния элементов гибких связей. Это предопределяет зарождение, развитие и интенсивность протекания тех или иных деструктивных факторов, ведущих к потере объектом работоспособного состояния и определяющих его надежность и долговечность.

Исследование напряженно-деформированного состояния элементов эластомерных анизотропных вязкоупругих систем на экспериментальных стендах методами осциллографирования или поляризационно-оптическими методами [2, 13 - 15] возможно лишь со значительными допущениями и ограничениями, которые не позволяют получить достаточно достоверные результаты. Кроме того, количество и уровни варьирования определяющих факторов в таком эксперименте весьма ограничены ввиду высокой стоимости, сложности и времени проведения эксперимента.

Результаты эксперимента и их обсуждение. На рис. 1 – 8 представлены результаты конечно-элементного компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния приводного зубчатого ремня трапецеидального профиля с шагом зубьев 12,57 мм ($m = 4$ мм). Ремень растягивают слева направо силой 8,0 кН. Несущий слой ремня считается нерастяжимым. Для определенности положения ремня вдоль несущего слоя запрещены вертикальные перемещения. Шкив считается неподвижным и абсолютно жестким. Коэффициент трения в контакте $f = 0,5$. Материал ремня смоделирован по принципу Муни – Ривлина. Модуль упругости полимера $E = 5$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,499$ (резина моделируется практически несжимаемой).

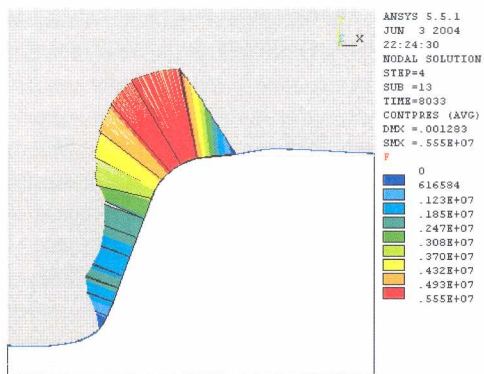


Рис. 1. Распределение контактного давления

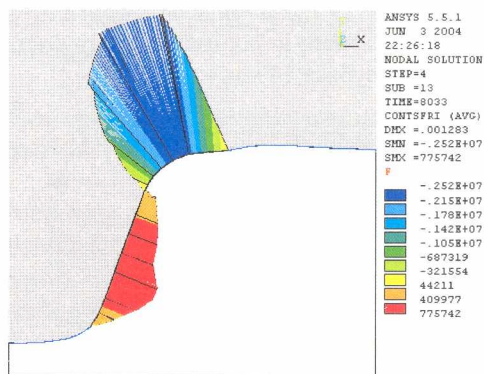


Рис. 2. Распределение фрикционного напряжения

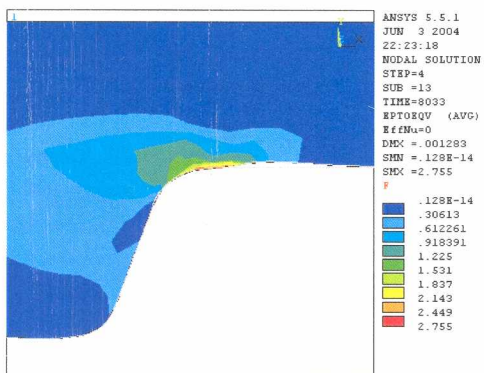


Рис. 3. Деформации по Мизесу

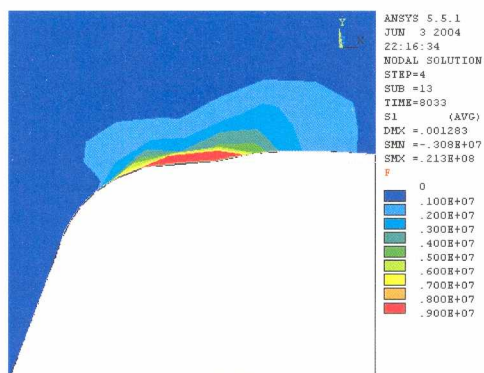


Рис. 4. Распределение напряжений

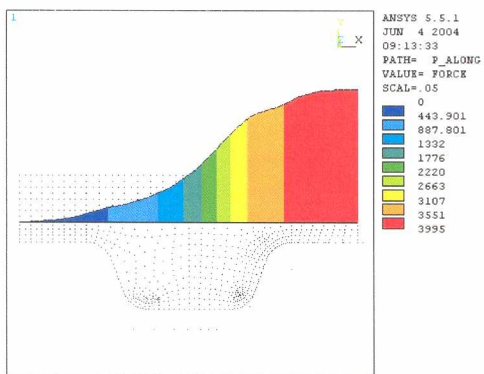


Рис. 5. Распределение усилия в несущем слое на длине одного шага зубьев

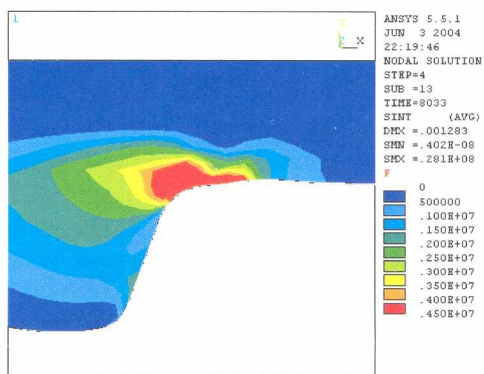


Рис. 6. Интенсивность напряжений в материале ремня

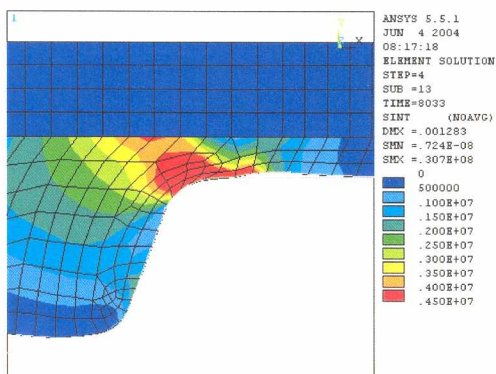


Рис. 7. Интенсивность напряжений в материале ремня

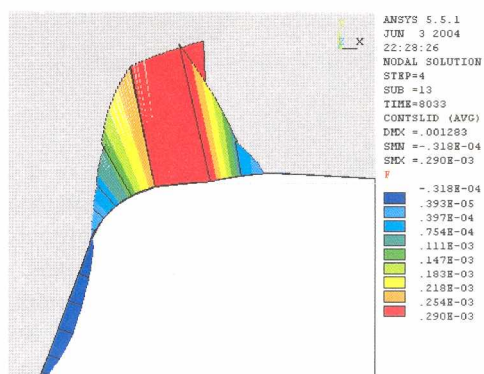


Рис. 8. Взаимное скольжение профилей зубьев

На рис. 9 – 14 представлены аналогичные результаты конечно-элементного компьютерного моделирования напряженно-деформированного состояния приводного зубчатого ремня полукруглого профиля *HTD* с шагом зубьев 14 мм.

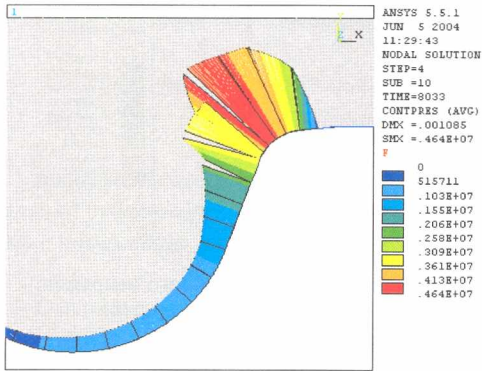


Рис. 9. Распределение контактного давления

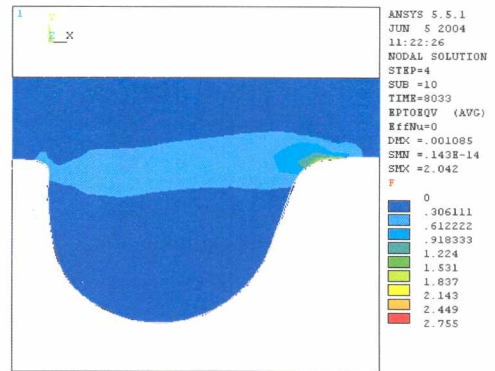


Рис. 10. Деформации по Мизесу

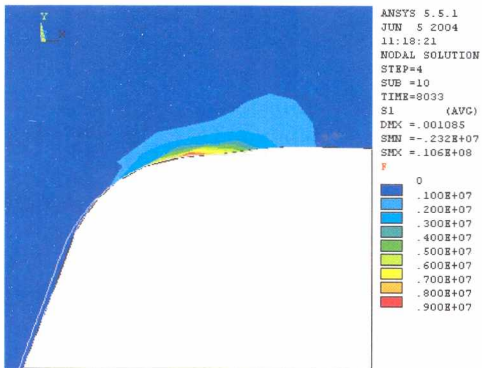


Рис. 11. Распределение напряжений

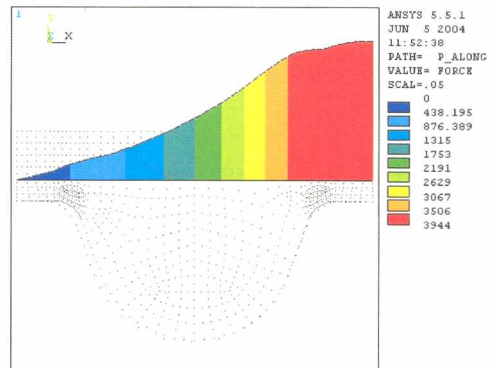


Рис. 12. Распределение усилия в несущем слое

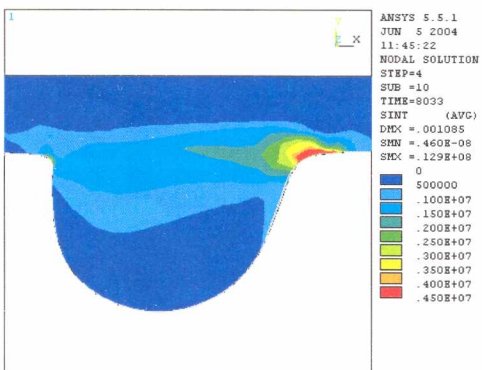


Рис. 13. Интенсивность напряжений

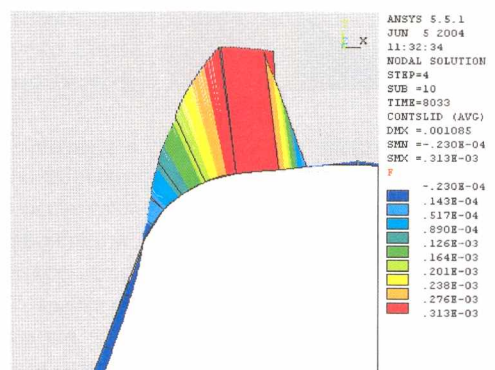


Рис. 14. Взаимное скольжение профилей

Заключение

Сравнение результатов конечно-элементного моделирования напряженно-деформированного состояния зубьев трапецидального и полукруглого профилей, находящихся под действием равнозначных нагрузок, позволяет сделать следующий вывод: полукруглый профиль зуба является более предпочтительным. Налицо меньшие значения напряжений, деформаций, контактного давления и скорости относительного скольжения профилей зубьев при их входе в зацепление. Это является следствием пониженной профильной интерференции полукруглых зубьев ремня и шкива в процессе передачи мощности, по сравнению с трапецидальными зубьями. Следовательно, ремни с полукруглым профилем будут обладать

повышенным уровнем несущей способности и долговечности, о чем свидетельствует опыт их промышленной эксплуатации и результаты стендовых ресурсных испытаний.

Таким образом, проведенные исследования позволяют:

- оценить напряженно-деформированное состояние зубьев приводных зубчатых ремней на стадии их проектирования с учетом реальных физико-механических характеристик материала зубьев ремня и шкива и конструктивных параметров передачи;

- выявить степень влияния несущего слоя на нагруженность зубчато-ременного зацепления;

- разработать рекомендации по выбору конструкции, геометрических и эксплуатационных параметров зубчато-ременных передач, материалов элементов зубчатого ремня, способствующих снижению напряжений и деформаций и, как следствие, значительному повышению надежности и долговечности ЗРП и технического уровня проектируемых машин на их основе.

На наш взгляд, компьютерное моделирование, результаты которого показывают хорошую сходимость с теоретическими предпосылками и промышленными испытаниями, позволяет выйти на качественно новый уровень проектирования и производства механических передач мощности гибкой связью с повышенными техническими характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. - М.: Едиториал УРСС, 2003. - 272 с.
2. Бартнев Г.М., Зуев Ю.С. Прочность и разрушение высокоэластических материалов. - М. - Л.: Химия, 1964. - 387 с.
3. Потураев В.Н., Дырда В.И. Резиновые детали машин. - М.: Машиностроение, 1977. - 216 с.
4. Лукомская А.И., Евстратов В.Ф. Основы прогнозирования механического поведения каучуков и резин. - М.: Химия, 1975. - 360 с.
5. Eringen A.C. Nonlinear theory of continuous media. - New York: McGrawHill Book Co., Inc., 1962. - 448 p.
6. Седов Л.И. Механика сплошной среды. - М.: Наука, 1970. - 486 с.
7. Алфрей Т. Механические свойства высокополимеров: Пер. с англ. / Под ред. М.В. Волькенштейна. - М.: Издательство, 1952. - 619 с.
8. Гуль В.Е., Кулезнев В.Н. Структура и механические свойства полимеров. - М.: Высшая школа, 1972.-320 с.
9. Аскадский А.А. Деформация полимеров. - М.: Химия, 1973. - 448 с.
10. Резниковский М.М., Лукомская А.И. Механические испытания каучука и резины. - М.: Химия, 1968. - 500 с.
11. Вязкоупругая релаксация в полимерах: Пер. с англ. / Под ред. А.Я. Малкина. - М.: Мир, 1974. - 270 с.
12. Лавендел Э.Э. Расчет резинотехнических изделий. - М.: Машиностроение, 1976. - 232 с.
13. Бартнев Г.М., Лаврентьев В.В. Трение и износ полимеров. - Л.: Химия, 1972. - 195 с.
14. Сабанчиев Х.Х. Теория, расчёт и проектирование зубчато-ременных передач: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. - СПб., 1991. - 36 с.
15. Никончук А.Н. Создание и исследование зубчато-ременных передач повышенной надежности и долговечности: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. - Мн., 1999. - 40 с.