

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2024-21-14-17>

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ПО ПОВЕРХНОСТЯМ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС МУЛЬТИПЛИКАТОРА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Новоженин А.Ю.

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

Ключевые слова: зубчатое зацепление, мультипликатор, контактное напряжение, поверхностное напряжение зубьев колес, метод конечных элементов, ANSYS.

Аннотация. В статье проведен расчет нагрузок на контактных поверхностях зубчатых колес мультипликатора методом конечно-элементного анализа при помощи программной среды ANSYS и модуля Static Structural-Mechanical. Предварительно произведен расчет геометрии зубчатых колес и определены контактные и изгибающие напряжения аналитическим способом по эмпирическим формулам. Расчетные напряжения, полученные аналитическим способом и методом конечных элементов, имеют незначительные расхождения, что свидетельствует о корректности полученных результатов. В результате проведенного анализа получены картины распределения напряжений по поверхностям косозубой передачи мультипликатора.

ANALYSIS OF THE LOAD DISTRIBUTION OVER THE SURFACES OF THE MULTIPLIER GEARS BY THE FINITE ELEMENT METHOD

Novozhenin A.Yu.

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

Keywords: gearing, multiplier, contact stress, surface stress of wheel teeth, finite element method, ANSYS.

Abstract. The article calculates the loads on the contact surfaces of the multiplier gears by the method of finite element analysis using the ANSYS software environment and the Static Structural-Mechanical module. The geometry of the gears was preliminarily calculated and contact and bending stresses were determined analytically using empirical formulas. The calculated stresses obtained by the analytical method and the finite element method have minor discrepancies, which indicates the correctness of the results obtained. As a result of the analysis, stress distribution patterns were obtained on the surfaces of the oblique transmission of the multiplier.

Введение. В настоящее время одними из наиболее часто встречающихся передач в промышленности являются зубчатые передачи. В общем понимании зубчатая передача – это механизм, предназначенный для передачи мощности методом вращения и состоящий из зубчатых колес. Применение зубчатых передач имеет большую номенклатуру изделий, одним из которых является мультипликатор. Мультипликатор – это механическое устройство, основными звеньями которого являются зубчатые колеса, предназначенное для передачи и понижения крутящего момента и увеличения частоты вращения вала.

Мультипликаторы нашли широкое применение в оборудовании нефтегазового сектора, например, в компрессорных агрегатах с электроприводом. Особенностью эксплуатации таких машин являются

значительные передаваемые мощности, что в свою очередь оказывает воздействие на состояние поверхностей зубьев колес, их деформацию и деградацию в процессе эксплуатации, и как следствие на срок службы всей машины и выход ее из строя [1].

Одноступенчатый мультипликатор, входящий в состав компрессорной установки для сжижения и перекачивания природного газа, должен обеспечивать частоту вращения приводного вала до 5300 об/мин, передавать мощность до 7500 кВт. Передаточное отношение мультипликатора варьируется в диапазоне от 1,25 до 5,4. Расчет зубчатой передачи производился в соответствии с методикой расчета редуктора с учетом того, что ведущим является колесо, а ведомым шестерня [1, 2].

Двигатель для компрессорной установки выбран электрический синхронный марки СДС3-17-64-6 УХЛ4 с мощностью 4000 кВт, частотой вращения 1000 об/мин. Расчетный крутящий момент на ведущем валу составляет 38,2 кН·м, крутящий момент на ведомом валу составляет 6,85 кН·м, частота вращения 5300 об/мин, передаточное отношение 5,3. Для зубчатых колес мультипликатора рекомендовано выбирать материал с термической обработкой для повышения контактной и изгибной прочности [3], поэтому в качестве материала выбрана легированная сталь 40X с улучшением и закалкой токами высокой частоты, предел текучести которой составляет $\sigma_{\tau} = 750$ МПа. Расчетные допускаемые напряжения контактные составляют $[\sigma]_H = 835$ МПа, изгиба $[\sigma]_F = 310$ МПа. Межосевое расстояние принято 500 мм, делительный диаметр колеса составляет 836,364 мм, шестерни – 163,365 мм, модуль передачи – 9. В мультипликаторах применяются косозубые или шевронные колеса в связи с высокими нагрузками на зубья колес и подшипники. В данном расчете принята косозубая передача с углом наклона зубьев $\beta = 8,1096^\circ$. Расчетное контактное напряжение в зацеплении косозубых колес мультипликатора составляет 837,9 МПа, что входит в допустимые нормы и не превышает 5% от допустимого, расчетное напряжение изгиба составляет 185 МПа.

В работе используется метод конечных элементов для исследования изменения контактного напряжения вдоль линии контакта зубчатых колес мультипликатора для определения областей с наибольшей концентрацией напряжения, и которые, как следствие, являются наиболее подверженными разрушению. Для реализации данного метода выбран модуль Static Structural - Mechanical программной среды ANSYS. По рассчитанной геометрии созданы трехмерные модели зубчатых колес мультипликатора.

Крутящий момент задается колесу $T = 38,2$ кН·м, на оси вращения зубчатых колес задаются ограничения по осям и степень свободы по оси OX , также к внутренней поверхности отверстий задаются граничные условия [4].

Распределение величины эквивалентного напряжения по расчетной сетке зубьев колес представлено на рисунках 1-3. Условие граничного контакта было задано при помощи типов элементов «треугольник» [5]. В качестве граничного элемента сетки используется треугольник со стороной

1,1 мм. Соблюдались требования по условию однородности формы граничных элементов сетки и наличие минимум десяти элементов по длине ребра. Общее число элементов составляет 371564, узлов элементов, в которых рассчитывается напряжение составляет 619742.

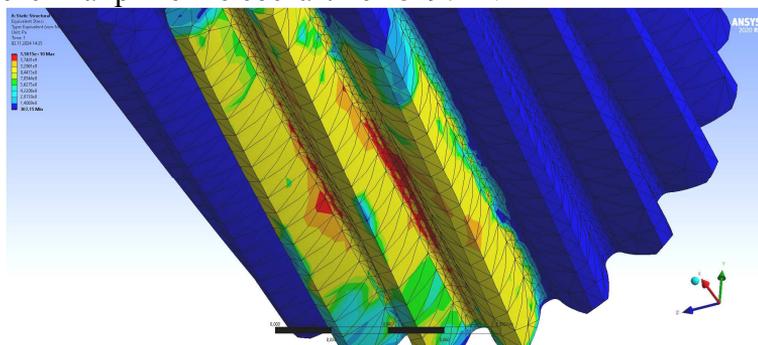


Рис. 1. Распределение напряжения на поверхности зубьев ведомой шестерни

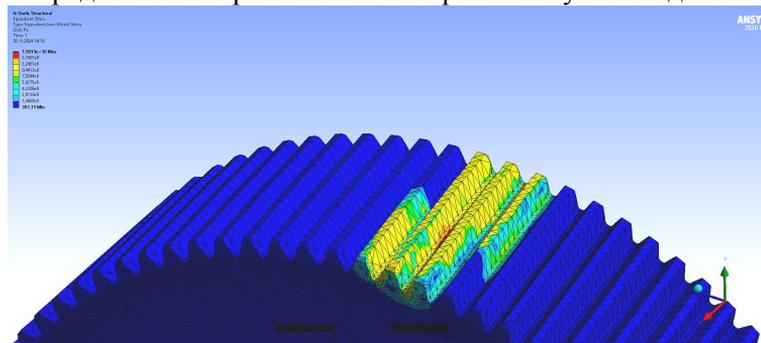


Рис. 2. Распределение напряжения на поверхности зубьев ведущего колеса

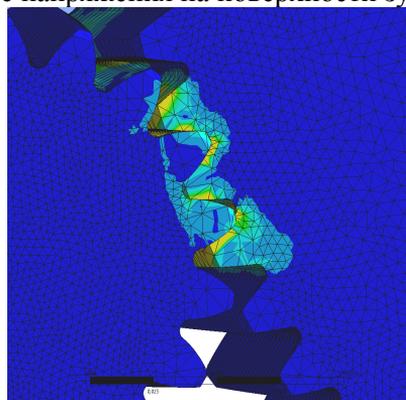


Рис. 3. Распределение напряжения в зоне контакта зубчатых колес

По результатам анализа построенной модели видно, что при контакте двух поверхностей колес напряжение распространяется неравномерно. Наибольшая концентрация напряжений возникает у основания зубьев, а также по поверхности контакта. Данные поверхности наиболее подвержены износу, старению и преждевременному выходу из строя, и как следствие, нуждаются в особом контроле при проведении осмотра и диагностики состояния зубчатых колес в процессе эксплуатации.

Список литературы

1. Иванов Н.М., Молодова Ю.И., Пронин В.А., Слицкий А.Е. Редукторы и мультипликаторы. Расчет и конструирование: Учеб. пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 89 с.
2. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин: Учеб. пособие для студ. техн. спец. вузов. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 496 с.
3. Генкин М.Д., Рыжов М.А., Рыжов Н.М. Повышение надежности тяжело нагруженных зубчатых передач. – М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
4. Каратушин С.И., Бильдюк Н.А., Плешанова Ю.А., Бокучава П.Н. Проверочный силовой расчет в ANSYS зубчатого зацепления // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2015. – №3(660). – С. 27-33.
5. Смагулова А.С., Кияшова А.М. Расчет зубчатых передач с применением конечно-элементного анализа в рамках пакета ANSYS WB // Наука и техника Казахстана. – 2018. – №3. – С. 39-47.

References

1. Ivanov N.M., Molodova Yu.I., Pronin V.A., Slutsky A.E. Reducers and multipliers. Calculation and design: Textbook. – SP.: ITMO University, 2016. – 89 p.
2. Dunaev P.F., Lelikov O.P. Design of assemblies and machine parts: Textbook for students of engineering spec. universities. – 8th ed., reprint and additional. – M.: Pub. Centre "Academy", 2004. – 496 p.
3. Genkin M.D., Ryzhov M.A., Ryzhov N.M. Improving the reliability of heavily loaded gears. – M.: Mechanical Engineering, 1981. – 232 p.
4. Karatushin S.I., Bilyduk N.A., Pleshanova Yu.A., Bokuchava P.N. Verification force calculation in ANSYS gearing // News of higher educational institutions. Mechanical engineering. 2015, no. 3(660), pp. 27-33.
5. Smagulova A.S., Kiyashova A.M. Calculation of gears using finite element analysis within the framework of the ANSYS WB package // Science and Technology of Kazakhstan. 2018, no. 3, pp. 39-47.

Новоженин Алексей Юрьевич – магистрант novozheninay@yandex.ru	Novozhenin Aleksey Yurievich – master student
---	--

Received 17.10.2023