

УДК 62-233.3/9:004.9

А.Н. Соболев, к.т.н., доц., **А.Я. Некрасов**, к.т.н., доц., ФГБОУ ВПО «МГТУ «Станкин»

e-mail: stankin-okm@yandex.ru

Моделирование элементов червячных редукторов горных машин

В данной работе приведен обзор решения задачи моделирования элементов червячных редукторов.

Ключевые слова: червячная передача, численное моделирование, зубчатые передачи, теплообмен.

A.N. Sobolev, A.V. Nekrasov

A Modeling of Worm Gearboxes Elements of Mining Machines

This article provides an overview of the solution of the problem of modeling elements of worm gears.

Keywords: worm gear, numerical modeling, gears, heat transfer.

Изготовление и восстановление горных машин требует использования новых эффективных методов проектировочного моделирования объектов машиностроения. Важными элементами горных машин являются зубчатые механизмы, от которых зависит многие важные технологические и эксплуатационные параметры. В данной работе приводится описание использования методики моделирования применительно к червячным механизмам.

Снижение сроков и повышение качества конструкторско-технологической подготовки производства при комплексном проектировании объектов машиностроения требует использование различных прикладных и сложных программных средств автоматизированного моделирования [1-8]. С улучшением методов проектирования и технологии производства червячные передачи обладают большим потенциалом использования в различных машинах вместо цилиндрических передач. Червячные редукторы обладают рядом преимуществ: компактные габариты при большом передаточном отношении; ограниченное количество подвижных частей, что позволяет снизить расходы на обслуживание и ремонт; бесшумность хода передачи;

устойчивость к динамическим нагрузкам. Однако, следует выделить и недостатки: относительно низкий КПД; большое тепловыделение и необходимость проведения дополнительных мероприятий для теплоотвода; повышенный износ; специальные требования к точности сборки. В данной работе описываются вопросы расчета и моделирования температурных полей в червячной передаче.

При проектировании привода с червячной передачей основными критериями качества являются:

- 1) тепловые параметры;
- 2) износостойкость элементов передачи;
- 3) прочность зубьев.

Расчет прочностных и геометрических элементов червячных передач, формирование геометрических моделей могут быть выполнены с помощью разработанного авторами программного приложения. Вид приложения представлен на рис. 1.

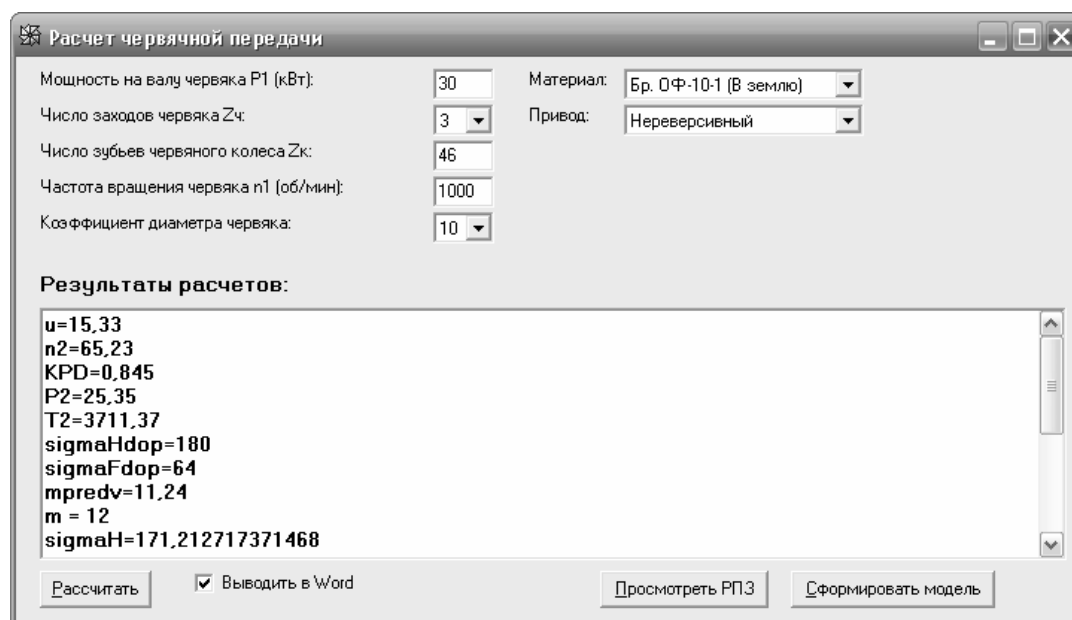


Рис. 1. Вид программного приложения

Показатели мощности червячных приводов часто основываются на тепловых расчетах.

Температура смазочного материала в зоне зацепления колеса и червяка – лимитирующий фактор тепловой мощности передачи [9]. При большой температуре ширина масляного слоя может быть недостаточной в зоне зацепления. Кроме того, резкое изменение температуры может повлиять на структуру материала колеса из бронзы, что в дальнейшем может привести к разрушению колеса.

Червячный редуктор состоит из корпуса (литого чугунного или сварного стального), в котором размещаются элементы передачи – зубчатые колеса, валы, подшипники, элементы управления и т.д. Важными элементами редуктора являются корпусные детали.

Корпусные детали редукторов являются их базовыми деталями и предназначены для:

- размещения и обеспечения необходимого взаимного расположения деталей и узлов передаточных механизмов редуктора;
- восприятия нагрузок, действующих в редукторе, и передачи их на подредукторную плиту или раму;
- организации системы смазывания рабочих поверхностей зубчатых колес и подшипников редуктора;
- защиты деталей и узлов передач редуктора от их загрязнения инородными частицами окружающей среды;
- защиты смазочного материала, используемого в редукторе, от его выброса (при эксплуатации редуктора) в окружающую среду;
- отвода в окружающую среду теплоты, образующейся при работе редуктора.

При проектировании червячного редуктора проектировщик должен решать следующие задачи:

- 1) рациональное проектирование корпуса редуктора;
- 2) устройство редуктора должно обеспечивать интенсивное движение смазочного материала внутри корпуса;

при большом тепловыделении расчет установки дополнительных устройств отвода тепла – например, установка вентилятора на червячном валу или охлаждение жидкостью.

Решение задачи теплового проектирования червячного редуктора можно вести на основе аналитических положений [9, 10, 11] или на основе метода конечных элементов (МКЭ) [12, 13].

Червячная передача работает в условиях интенсивного нагрева, поступающего непосредственно из зоны контакта. В этой связи элементы ее конструкции находятся под воздействием термического нагружения, в результате чего возникают их термоупругие перемещения, влияющие на положение ориентируемых поверхностей.

При расчетах МКЭ может быть принято допущение, что распространение тепла в передаче происходит за счет теплопроводности материалов, конвективного и лучистого обмена между высоко нагретыми и менее нагретыми элементами конструкции червячного редуктора.

При проектировании редуктора в автоматизированной системе площади поверхностей корпуса и элементов передачи может быть вычислено автоматически, наряду с массовыми и инерционными характеристиками. При конструировании корпуса редуктора учитывается, что червячное колесо должно погружаться в масло на 30% его диаметра.

Алгоритм расчета реализуется таким образом, что вначале по уравнению теплового баланса (теплопроводности) производится расчет температур узлов каждого элемента конструкции, а затем производится расчет температурных деформаций (напряжений) элемента.

Алгоритм решения задачи исследования теплообмена и температурных деформаций может быть следующий:

- 1) Описание параметрической геометрии червячного редуктора с помощью расчетных макроэлементов или твердотельной модели с дальнейшим разбиением на конечные элементы.
- 2) Задание типов, используемых конечных элементов; задание свойств материалов, коэффициентов теплопроводности и теплообмена.
- 3) Определение источников тепла внутри элементов; потоков тепла через грани элементов; температуры окружающей среды. Задание координат узлов, в которых приложены внешние температурные воздействия, значений температур в узлах.
- 4) Формирование матрицы CI координат тетраэдра; преобразование координат узлов тетраэдра из системы координат “кирпича” в систему координат тетраэдра; формирование матрицы C координат тетраэдра в местной системе координат; обращение матрицы C .
- 5) Вычисление интегралов первого и второго слагаемого матрицы теплопроводности тетраэдра.
- 6) Формирование глобальной матрицы теплопроводности модели червячного редуктора.
- 7) Формирование вектора внешних температурных воздействий.
- 8) Внесение граничных условий в глобальную матрицу теплопроводности модели.
- 9) Решение системы линейных дифференциальных уравнений методом Гаусса.

Для решения задач теплообмена были разработаны различные расчетные параметрические модели конструкций червячных редукторов с различным расположением червяка. Пример червячного редуктора с вертикальным расположением червяка представлен на рис. 2, 3. На рис. 4 представлена модель червячной передачи. Данные червячные редукторы могут быть использованы в конструкциях лебедок.

В ходе проведения анализа с помощью МКЭ были достигнуты следующие результаты:

- 1) Точно определена площадь поверхности корпусов редукторов, в том числе площадь рабочей камеры корпуса, что позволило улучшить точность расчетов.
- 2) Для улучшения теплоотвода возможно применение специальных вентиляторов. При этом по результатам моделирования показано, что обдув вентилятором улучшает теплоотвод при установке вентилятора как на вал червяка, так и на вал червячного колеса.
- 3) Численное моделирование показало, что теплоотвод для данных конструкций корпусов редукторов лучше на 20 % по сравнению с результатами по формулам (1-3). Таким образом, формулы (1-3) обеспечивают хороший запас по возможности теплоотвода при

выполнении расчетов без использования средств численного моделирования.

- 4) Дальнейшим путем улучшения результатов численного моделирования является решение ряда контактных задач с учетом сил трения, в частности в зоне контакта червяка и колеса и подшипниковых узлах. Однако, при решении в совокупности нескольких задач с большим количеством конечных элементов требуются большие машинные ресурсы, а также временные затраты на алгоритмизацию и программную реализацию.

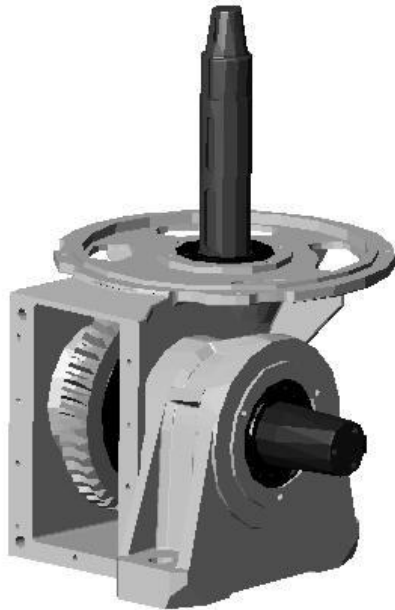


Рис. 2. Визуальная модель червячного редуктора для привода с горизонтальным расположением электродвигателя.

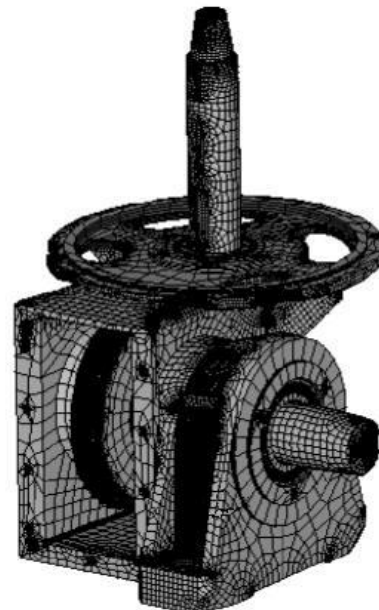


Рис. 3. Модель для численного анализа червячного редуктора для привода с горизонтальным расположением электродвигателя.

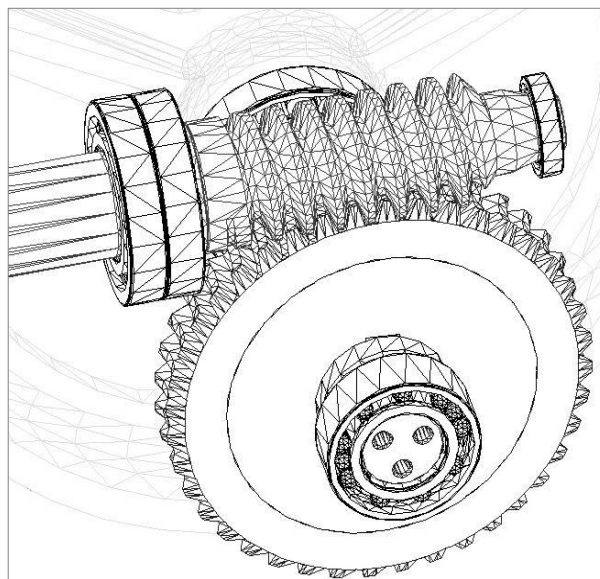


Рис. 4. Описание червячной передачи (узла) расчетными элементами

Список литературы

1. **Kuznetsov, A.P., Kosov, M.G.** Structural precision of metal-cutting machines // Russian Engineering Research 2012. Vol. 32 (11-12) , pp. 725-729
2. **Kuznetsov, A.P., Kosov, M.G.** Structural precision of metal-cutting machines // Russian Engineering Research 2012. Vol. 32 (5-6) , pp. 482-490
3. **Kuznetsov, A.P., Kosov, M.G.** Structural Thermophysical Analysis of Metal-Cutting Machines // Russian Engineering Research 2011. Vol. 31 (6) , pp. 599-606 «Станкин». Выпуск 1 / Под редакцией Ю. М. Соломенцева -М.: Янус-К, 2002. с. 6-10.
4. **Sheveleva G.I., Volkov A.E., Medvedev V.I.** Algorithms for analysis of meshing and contact of spiral bevel gears // Mechanism and Machine Theory. 2007. Т. 42, № 2. С. 198-215.
5. **Medvedev V.I., Volkov A.E.** Synthesis of spiral bevel gear transmissions with a small shaft angle // Journal of Mechanical Design. 2007. Т. 129, № 9. С. 949-959.
6. **Volkov A.E., Medvedev V.I., Romanchuk F.M.** Use of a measurement technique for reproducing the surfaces of circular teeth of conical wheels // Measurement Techniques. - 2006. - Т. 49, № 8. С. 787-793.
7. **Isaev A.V., Grechishnikov V.A.** Machining curvilinear sections by means of cutting plates with a linear edge. Russian Engineering Research. 2010. Т. 30. № 4. С. 413-417.
8. **Grechishnikov V.A., Kosarev V.A., Dymov M.S., Kosarev D.V.** Determining the profile of the initial tool surface in planetary machining of internal threads. Russian Engineering Research. 2011. Т. 31. № 6. С. 614-618.
9. **Яновски Л.** Проектирование механического оборудования лифтов. Третье издание: -М.: Монография. Издательство АСВ, 2005. -336 с.
10. **Жуков К.П., Гуревич Ю.Е.** Проектирование деталей и узлов машин. - М.: изд-во “Станкин”, 2004. - 671с.
11. **Illés Dudás** - The Theory and Practice of Worm Gear Drives. Penton Press, London, 2000. -337 pp.
12. **Зенкевич О.** Метод конечных элементов в технике.- М.: Мир, 1975.-541 с.
13. **Сегерлинд Л.** Применение метода конечных элементов. /Пер. с англ. - М.: Мир, 1979.-392 с.