

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу, выполненную Санниковым Александром Михайловичем на тему «Совершенствование метода оценки распределения нагрузки в многопарных спироидных передачах путём учёта упруго-пластического характера контакта» представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин»

Актуальность избранной темы

Нагруженность является одним из ключевых предметов анализа зубчатых передач разных типов, что хорошо известно, в частности, из работ ведущих отечественных учёных в области зубчатых передач – профессоров К. И. Заблонского, Э. Л. Айрапетова, Г. И. Шевелевой, В. Н. Сызранцева, К. И. Гуляева, А. Э. Волкова и других. В особенности сложен этот анализ для специальных случаев передач, для которых нет инженерных методов расчёта, которые имеют перекрещивающиеся оси и многопарный контакт. К числу таких передач, безусловно, следует отнести спироидные передачи, которые в последние два десятилетия хорошо зарекомендовали в редукторах для управления трубопроводной арматурой. Удельные нагрузки, передаваемые такими редукторами чрезвычайно велики. Отношения их допустимых вращающих моментов к массе достигают 200 и более (это можно оценить по информации на сайтах ведущих мировых и отечественных производителей такой техники), что обычно недостижимо для многих других видов редукторов (например, в редукторах общепромышленного назначения этот показатель не превосходит 20). Это обуславливает чрезвычайно высокую степень нагруженности всех элементов конструкции, в том числе главного и, пожалуй, самого сложного для анализа – зубчатой передачи. Анализ передач зарубежных и отечественных редукторов показывает, что для тяжелонагруженных и низкоскоростных редукторов с ограниченным ресурсом работы возникновение незначительного уровня пластической деформации

возможно и даже неизбежно. Однако анализ распределения нагрузки в многопарном зацеплении, проводившийся во многих работах (кроме перечисленных выше, это работы Бондаренко А. В., Kubo A., Hoehn V. R.) был ограничен только упругим контактом. Традиционно предполагается, что пластическую деформацию на боковых поверхностях зубьев при проектировании следует предотвратить. Таким образом, требуется существенное развитие и коррекция такого традиционного подхода, появление пластической составляющей в контакте требует специального научного рассмотрения с целью эффективного управления этим процессом. Всё это делает тему представленной диссертационной работы актуальной.

Оценка содержания диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных литературных источников из 142 наименований, изложена на 193 страницах, включает 117 рисунков и 47 таблиц. В приложении приведены протоколы испытаний редуктор и акты внедрения.

Во введении и первой главе приводятся основные сведения о конструкции редукторов, показаны особенности и тенденции их развития, выделены основные типы повреждений, рассмотрены существующие подходы к анализу нагруженности, обосновывается выбор численного алгоритма для оценки распределения нагрузки в многопарном контакте и необходимость и основные направления его совершенствования для учёта упруго-пластического характера контакта.

Во второй главе приводятся усовершенствованные автором метод и алгоритм оценки распределения нагрузки с учетом многопарного и упруго-пластического характера контакта. Работоспособность алгоритма и эффективность предложенных автором приёмов улучшения его сходимости демонстрируются на численных примерах расчёта распределения нагрузки в передачах четвертьоборотного редуктора при действии наибольшего и пикового вращающих моментов. Описан программный комплекс, в котором реализован усовершенствованный метод.

В третьей главе, по сути, даётся обоснование адекватности предложенного метода реальному процессу упруго-пластического нагружения. Приводится сравнение результатов полученных при расчете предложенным методом, общепринятым и апробированным методом конечных элементов и при натурном нагружении образцов простой формы и натуральных образцов передачи. Теоретические и экспериментальные результаты показали хорошее соответствие, различие по сравниваемым параметрам составило в среднем около 10%.

В четвертой главе приведены результаты численного исследования влияния характерных погрешностей, возникающих в зацеплении, на характер распределения нагрузки в зацеплении, даны рекомендации по их использованию. Приведен сравнительный анализ редукторов разных поколений, демонстрирующий эффективность применения усовершенствованного метода. Продемонстрирована новая линейка ручных редукторов с повышенным наибольшим вращающим моментом определенным усовершенствованным методом и подверженным на испытаниях редукторов.

Диссертация оформлена согласно существующим требованиям и написана грамотным научным языком. Материал излагается в логической последовательности, содержит необходимые формулы и иллюстрации для его понимания.

Автореферат и публикации автора отражают основные положения диссертации.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения сформулированы автором в явном виде в автореферате, на с. 5, а основные научные результаты – в диссертации, на с. 156 и 157 и автореферате на с. 19.

Положение 1 и первый основной результат – метод и реализующий его алгоритм оценки распределения нагрузки в спироидном зацеплении с учётом

многопарного и упруго-пластического характера контакта низкоскоростных тяжело нагруженных спироидных передач, позволяющий адекватно оценивать уровень нагруженности многопарной спироидной передачи при упруго-пластическом характере контакта. Результат представляется научно обоснованным:

- накопленным опытом эксплуатации – обоснование необходимости усовершенствования метода;

- требованием к быстродействию, необходимостью расчёта нескольких вариантов передач при различных фазах зацепления и сочетаниях погрешностей и вариантов геометрии зубьев, с одной стороны, и требованием адекватного учёта факторов нагружения реальной зубчатой передачи, с другой стороны – обоснование выбора принципиального метода и алгоритма расчёта на основе дискретизации многопарной нагруженной спироидной передачи и рассмотрения её как многократно статически неопределимой нагруженной системы; таким же образом, как это сделано в прошедших большую апробацию работах Г. И. Шевелевой, В. Н. Сызранцева, А. В. Бондаренко, А. Э. Волкова;

- опорой на допущения (с. 44 работы), традиционно принимаемые и хорошо апробированные в анализе упруго-пластического контакта и результаты исследований упруго-пластически нагруженного контакта, полученных в смежных областях технической науки (работы Е. М. Третьякова, Н. Н. Малинина, М. С. Дрозда, Ю. Б. Гольдштейна, М. М. Матлина)

- подходами к оценке упруго-пластического контакта, сложившимися в теории упругости и пластичности (работы Н. Б. Демкина, М. М. Матлина, В. В. Измайлова) – обоснование оценки пластических перемещений нагруженных ячеек и микронеровностей них.

Положение 2 и результат 5 – результаты численного исследования влияния погрешностей на нагруженность низкоскоростных тяжело нагруженных спироидных передач, которые позволили установить наиболее негативно влияющие факторы (погрешности шага и межосевого

угла), а также обосновать рациональный выбор локализации контакта – являются обоснованными, потому что автор:

- применил для их получения метод, алгоритм и программной обеспечение, предварительно проверенные им численно и экспериментально;
- выбрал исследуемые погрешности и их диапазоны, регламентируемые стандартами на допуски зубчатых передач;
- использовал традиционный и многократно апробированный метод компенсации погрешностей – модификацию боковых поверхностей зубьев для локализации контакта;
- использовал разработанные ранее другими авторами и проверенные геометрические модели погрешностей и полученные ими данные о доминирующем отдельных их видов на пятно контакта и распределение нагрузки в упругом контакте.

Достоверность и новизна исследований, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В целом, достоверность исследований, выполненных автором и, в частности, главного научного результата – вышеуказанного метода и алгоритма расчёта – обеспечивается корректным применением системы допущений, математического аппарата теории зубчатых зацеплений, теории упругости и пластичности, вычислительных приёмов, экспериментальных методов и средств, применением многократно проверенного программного обеспечения проектного расчёта спироидных передач и подтверждается:

- сопоставлением результатов расчёта с данными, полученными экспериментальным путём, а также данными, полученными с помощью хорошо известного и апробированного метода конечных элементов и реализующего его сертифицированного программного продукта,
- принципиальным соответствием результатам, признанным достоверными и полученным предыдущими исследователями (является важным: не совпадением с этими результатами – поскольку методы расчёта были усовершенствованы, однако тенденции в результатах можно сопоставить).

Достоверность практических результатов подтверждается обширнейшей практикой проектирования, изготовления, испытаний и эксплуатации редукторов с передачами, спроектированными с помощью разработанных автором метода и алгоритма расчёта распределения нагрузки в многопарном упруго-пластическом контакте: более 10 типоразмеров редукторов, несколько десятков тысяч изготовленных и эксплуатирующихся передач, которые превосходят соответствующие решения, спроектированные до разработки метода.

Оценка новизны результатов (сформулированы на с. 156 и 157 диссертации):

1 Метод расчета и реализующий его алгоритм распределения нагрузки в нагруженной спироидной передаче с учётом многопарного и упруго-пластического характера контакта – результат новый в части учёта упруго-пластического характера контакта и имеющий значение для проектирования как спироидных передач, так и других многопарных зубчатых передач.

2 Геометрическая модель макронеровностей – огранки боковых поверхностей зубьев – результат, методически повторяющий полученный ранее в работах проф. Е. С. Трубачева и инж. А. В. Бересневой, но развивающий его в части большего соответствия реальной форме макронеровностей и имеющий значение для проектирования спироидных передач.

3 Реализация метода и алгоритма по п. 1 в комплексной системе автоматизированного проектирования и исследования спироидных передач САПР/АСНИ «SPDIAL+» – результат новый, имеющий прикладное значение для проектирования тяжело нагруженных спироидных передач.

4 Расчётно-экспериментальная проверка алгоритма подтвердила достоверность результатов работы предложенного метода и реализующего его алгоритма – результат имеет локальное значение для проверки адекватности результатов по п. 1, 3.

5 Результаты численного исследования влияния конструкторско-технологических факторов на распределение нагрузки и контактную

деформативность зубьев являются новыми и имеют значение для проектирования тяжело нагруженных спироидных передач.

6 Внедрение расчетных моделей и компьютерных программ в качестве инструментальных средств в практику проектирования спироидных редукторов и исследования нагруженности спироидных передач – результат, имеющий значение для практики проектирования и в значительной мере служит подтверждением достоверности других результатов.

Замечания по содержанию материала диссертации:

1 Не было учтено влияние сил трения на перемещения и масляного слоя в зацеплении при разработке общего метода и реализации алгоритма упруго-пластически нагруженного многопарного контакта при действии статически приложенной нагрузки.

2 При определении и сравнении допустимой нагрузки спироидной передачи, в том числе в составе редукторов разных поколений разработки, рассматривалась контактная нагруженность, но не была учтена изгибная нагруженность.

3 В ряде случаев в тексте диссертации нет пояснений к некоторым обозначениям: в формуле (1.1.1) нет пояснения обозначения $[G]_{и.пр.}$ (стр. 22); в системе уравнений (1.3.1) нет пояснения обозначения I (стр. 29); в формуле (1.3.9) нет пояснения обозначений τ и v_{km} (стр. 31).

4 В тексте диссертации есть некоторые орфографические ошибки и неточности: в названии рисунка 2.6.1 и 2.6.1 вместо «даления» очевидно имелось ввиду «давления»; в первом предложении абзаца 1 несколько неточно указана ссылка на формулу: указано «..... фазе зацепления (K_{ff}) (4.2)», а очевидно имелось ввиду «..... фазе зацепления (K_{ff}) (4.2.1)».

Отмеченные недостатки **не являются принципиальными**. Диссертационная работа в целом производит очень хорошее впечатление, в ней достигается поставленная соискателем цель исследования и выполняются запланированные задачи.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней» утвержденного постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (далее «Положение...»)

Диссертационную работу Санникова Александра Михайловича можно характеризовать как самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится решения актуальной научной задачи оценки распределения нагрузки в спироидном зацеплении с учётом многопарного и упруго-пластического характера контакта и макронеровностей боковых поверхностей зубьев (соответствие п. II.9 «Положения...»).

Результаты работы соответствуют п 4, 5 паспорта научной специальности 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин».

Диссертация написана автором самостоятельно, задача рассмотрена последовательно во всех своих стадиях, начиная от предпосылок, продолжая постановкой задачи, разработкой метода её решения, результатами численных исследований и практической оценкой достоверности, а также экспериментального исследования усовершенствованной техники, то есть работа обладает внутренним единством и содержит новые научные результаты и положения, полученные лично автором. Диссертация имеет прикладной характер, в ней приводятся сведения о практическом использовании полученных научных результатов. Предложенные в диссертации решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями в области проектирования, производства и эксплуатации сферического режущего инструмента (соответствие п. II.10 «Положения...»).

Основные результаты были опубликованы в 8 печатных работах, в том числе 3 работы в изданиях, рекомендованных ВАК (соответствие пп. II.11, II.12, II.13 «Положения...»), 1 работа в журнале, входящем в международные базы цитирования Scopus/Web of Science. Материалы диссертации многократно докладывались и обсуждались на международных и российских

конференций, симпозиумах, что подтверждает их хорошую апробацию. Все заимствования были выполнены корректно (соответствие п. II.14 «Положения...»). Приведённые выше замечания не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку работы, многие из них являются несущественными в оценке (относятся к оформлению работы) или имеют характер пожеланий для дальнейших исследований. Автор диссертации – Санникова Александра Михайловича – заслуживает присуждения ученой степени кандидата наук по специальности 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин».

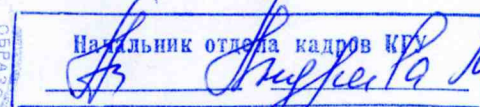
Официальный оппонент
Заведующий кафедрой «Механика
машин и основы конструирования»
ФГБОУ ВО «Курганский
государственный университет»,
кандидат технических наук, доцент

«31» мая 2021 г.



Курасов Дмитрий Алексеевич

Подпись Курасова Д.А. завершено



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курганский государственный университет» Россия, 640020, г. Курган, ул.Советская, 63, стр. 4, тел. 8 (3522) 65-49-53, e-mail: kurasov_da@kgsu.ru