

многопарного контакта зубьев спироидных передач имеются существенные недостатки. Широко применяемый в настоящее время метод конечных элементов, для интерактивного проектирования спироидных передач не применяется вследствие значительных затрат машинного времени. Данный метод используется, главным образом, для решения исследовательских задач. Методы, традиционно применяемые в теории зубчатых передач, и разработанные в трудах проф. К. И. Заблонского, Г. И. Шевелевой, Э. Л. Айрапетова и других учёных, ориентированы на контактировании зубьев в области упругих деформаций их поверхностей. Как правило, при исследовании нагруженности контактирующих пар в зубчатых передачах предполагается, что пластическое деформирование зубьев должно быть исключено. В то же время анализ практики испытаний и эксплуатации конкурентоспособных, прогрессивных передач, которыми являются спироидные передачи, показывает, что определенное пластическое деформирование поверхностей зубьев не только возможно, но и допустимо, иначе не удастся обеспечить надлежащий уровень нагруженности и приемлемые размеры спироидных редукторов. До настоящей работы вопросы пластического деформирования поверхностей зубьев в многопарном их зацеплении в спироидных передачах не рассматривались. Все вышеизложенное определяет актуальность работы А. М. Санникова.

Структура и содержание диссертации

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 редукторов и акты внедрения.

В качестве объекта исследования соискателем выбран процесс многопарного упруго-пластического контакта боковых поверхностей зубьев спироидной передачи. Автором выполнен подробный анализ конструкции редукторов, показаны особенности и тенденции их развития, основных типов повреждений зубьев спироидных передач, существующих подходов к оценке нагруженности. На основе проведенного анализа был выбран и усовершенствован предложенный

профессором Е.С. Трубачевым и канд. тех. наук А.С. Кузнецовым метод оценки распределения нагрузки в многопарных спироидных передачах. Усовершенствование ранее разработанного подхода предложено произвести путём учета упруго-пластического характера контакта зубьев в зацеплении. Разработанный метод формализован в виде итерационного алгоритма, который реализован в комплексной системе автоматизированного проектирования и исследования спироидных передач САПР/АСНИ «SPDIAL+». Выводы и рекомендации достаточно обоснованы и подтверждаются проверочными расчетами спроектированных передач с помощью апробированной системы ANSYS и натурного эксперимента. Результаты проведенного численного исследования легли в основу проектирования спироидных передач четверть оборотных и многооборотных редукторов для запорной арматуры, обладающих лучшими техническими характеристиками, и отдельной линейки четверть оборотных редукторов ручного управления.

Теоретическая значимость работы

Значимость результатов представленной работы для технической науки заключается в разработанном и исследованном методе анализа нагруженности спироидных передач с учётом многопарного и упруго-пластического характера контакта. В отличие от ранее известных подходов к анализу нагруженности зубчатых передач, пластическое деформирование считается не исключаемым фактором, а явлением, которое штатно имеется в тяжело нагруженных передачах и способствует более равномерному распределению нагрузки между контактирующими зубьями передачи. Кроме того, самостоятельной научной значимостью обладают установленные в результате численных исследований свойства упруго-пластического контакта в спироидных передачах – повышенная чувствительность к действию ряда погрешностей (главным образом, погрешностей шага и межосевого угла) и возможность компенсации погрешностей путём локализации контакта.

Практическая значимость работы

Предложенный метод и алгоритм реализован в виде программных модулей, подключенных к системе автоматизированного проектирования спироидных передач.

Выявлено, что наиболее значимыми факторами, негативно влияющими на величину концентрации нагрузки в зацеплении зубьев спироидных передач, являются погрешность шага червяка и погрешность межосевого угла.

Установлено, что модернизированные и спроектированные четвертьоборотные и многооборотные редукторы без изменения размеров спироидных передач обладают лучшими техническими характеристиками по сравнению с редукторами предыдущих поколений разработки как отечественных, так и зарубежных.

Главный значимый научный результат может быть рекомендован к распространению на проектирование других видов многопарных передач зацеплением, по крайней мере, низкоскоростных и тяжелонагруженных. Этот результат рекомендуется также применять при оценке прочности зубьев в спироидных передачах, более того, такое применение является необходимым условием для достоверной оценки нагрузочной и несущей способности этих передач.

Выводы относительно важности ограничения погрешностей межосевого угла в передаче и шага червяка, а также о том, что в высоконагруженных спироидных передачах локализация контакта должна обеспечивать заданный уровень пластических перемещений на боковых поверхностях зубьев, позволяющие достичь высокой несущей способности передач при необходимом уровне прочности их зубьев, рекомендуется применять при проектировании современных низкоскоростных высоконагруженных редукторов.

Апробация работы

Результаты работы опубликованы в трех журналах, входящих в список ВАК, и в журнале, входящем в международную базу цитирования Scopus,

докладывались на ряде международных научно-технических конференциях и симпозиумах.

По диссертации имеются следующие замечания

1. Не рассмотрен вопрос сходимости итерационного алгоритма, реализующего предложенный метод, в зависимости от выбираемого первого (начального) приближения.

2. Сделан вывод о благоприятном влиянии пластического деформирования макронеровностей (огранки) боковых поверхностей на распределение нагрузки между зубьями. Огранка это систематическая погрешность, формирование которой определяется способом нарезания зубьев и используемым инструментом. Из текста диссертации остается неясным, можно ли разработанным методом исследовать возникновение пластических деформаций для микронеровностей разного уровня, являющихся величинами случайными.

3. В численном исследовании и практическом внедрении речь идёт, по сути, об одном варианте сочетания материалов звеньев и их термообработки – сталь 40Х, объёмная закалка. Что с другими вариантами изготовления спироидного колеса, например, из более твёрдых или более мягких материалов, случаев существенной разницы в твёрдостях материалов червяка и колеса?

4. Из текста диссертации неясно, кем получено выражение (2.2.3) для безразмерного коэффициента, на основе величины которого определяется вид контакта.

5. Какой физический смысл уточнений предельных контактных напряжений в зависимостях (2.4.18), (2,4.19) через приведенный радиус кривизны и размеры контактной зоны? Чем это уточнение подтверждено?

6. В автореферате на стр. 9 вместо ссылок на формулы (3) и (4) должны быть ссылки на формулу (2) и формулу (3).

Высказанные замечания не являются определяющими при общей оценке актуальности исследования, новизны и ценности полученных автором теоретических и практических результатов.

Соответствие диссертации научной специальности

В диссертационной работе предложен и программно реализован метод исследования и оценки распределения нагрузки в многопарных спироидных передачах с учётом упруго-пластического характера контакта, позволяющий повысить точность оценки нагруженности спироидных передач и активно используемый при проектировании новой линейки редукторов.

Отраженные в диссертации результаты соответствуют п. 4 «Методы исследования и оценки технического состояния объектов машиностроения, в том числе на основе компьютерного моделирования», п. 5 «Повышение точности и достоверности расчетов объектов машиностроения; разработка нормативной базы проектирования, испытания и изготовления объектов машиностроения» паспорта специальности 05.02.02 - Машиноведение, системы приводов и детали машин.

Общее заключение

Диссертационная работа Санникова Александра Михайловича «Совершенствование метода оценки распределения нагрузки в многопарных спироидных передачах путём учёта упруго-пластического характера контакта» является научно-квалификационной работой, в которой представлены результаты, имеющие важное научное и практическое значение для специальности 05.02.02 - Машиноведение, системы приводов и детали машин. Результаты исследований, отраженные в диссертации, обеспечивают решение актуальной проблемы обеспечения необходимого уровня несущей способности спироидных передач на этапе их проектирования.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации, ее научную новизну и практическую значимость.

Диссертационная работа соответствует критериям, установленным пп. 9-11, 13-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Санников Александр Михайлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 - Машиноведение, системы приводов и детали машин.

Диссертация и отзыв обсуждены на расширенном заседании кафедры «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет».

Присутствовало 10 человек, с правом решающего голоса - 10 человек. Результаты голосования: «за» - 10 чел.; «против» - 0 чел.; «воздержались» - 0 чел. Протокол № 10 от «27 мая» 2021 г.

Заведующий кафедрой «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности», д-р техн. наук (по специальностям 05.02.18 - Теория механизмов и машин, 05.02.02 - Машиноведение, системы приводов и детали машин), профессор, Заслуженный деятель науки РФ

Сызранцев
Владимир
Николаевич



Сызранцев В.Н.
Документовед общего отдела ТИУ
Третякова Ю.Н.
02.06.2021

Организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет»,
Почтовый адрес: 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38,
тел.: 8(3452) 28-36-70 Факс: 8(3452)28-36-60. E-mail: general@tyuiu.ru

Сызранцев Владимир Николаевич

заведующий кафедрой «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности» ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»,
доктор технических наук (по специальностям 05.02.18 – «Теория механизмов и машин», 05.02.02 – «Машиноведение, системы приводов и детали машин»),
Заслуженный деятель науки РФ.

Адрес: 625000, Российская Федерация, г. Тюмень, ул. Мельникайте, д. 70
Телефон: 8(3452)28-30-13
e-mail: syzrantsevvn@tyuiu.ru

Согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, их дальнейшую обработку.

Сызранцев Владимир Николаевич



Сызранцев В.Н.
Протокол общего отдела ТИУ
02.06.2021г.