

В диссертационный совет Д 002.059.04
при ФГБУН Институте машиноведения
им. А.А.Благонравова РАН
119334, Москва, ул. Бардина, д.4

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Нахатакяна Филарета Гургеновича « Напряженно-деформированное состояние упругих элементов зубчатых механизмов и сооружений при их линейном и кромочном контакте», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности: 01.02.06 – Динамика, прочность машин и аппаратуры

Актуальность

Цель диссертационной работы Ф.Г.Нахатакяна состоит в повышении качества проектируемых малошумных высоконагруженных зубчатых механизмов для современного отечественного судостроения путем совершенствования существующих и разработки новых аналитических методов расчетов их прочности. Существующие на сегодня методы расчета прочности элементов зубчатых механизмов базируются, в основном, на основе экспериментальных данных. Полученные на этой основе эмпирические и расчетные зависимости дают достаточную точность расчетов лишь в определенном диапазоне изменения входных параметров. Они не учитывают многих факторов или учитывают их весьма приближенно. К этим факторам следует отнести:

- контактную податливость зубьев муфт и зубчатых колес, а также роликов подшипников качения при отсутствии в контакте перекоса и при его наличии. Из-за отсутствия аналитических формул контактная податливость определяется либо экспериментально, либо с использованием так называемой базовой точки. В литературе значения контактной податливости для роликовых подшипников различаются на 25 % - 30 % , а для зубчатых зацеплений – на 30 -35 %;
- расчеты зубьев на контактную прочность при перекосе основываются на введении условной удельной расчетной нагрузки, которая теряет физический смысл при кромочном контакте;
- концентрация изгибных напряжений в нагруженных зубьях при перекосе определяется приближенно, без учета их ограниченных размеров;
- отсутствие единой методики для определения сближения плит, сжимающих ролик. Литературные данные отличаются между собой на 25 % -40 %; и т.д.

Стремительный научно - технический прогресс и вызванный этим рост эксплуатационных скоростей и нагрузок на элементы зубчатых механизмов, предъявляют к ним качественно иные требования. Соответственно качественно иные требования предъявляются и к методам расчетов прочности и жесткости зубчатых механизмов,

поскольку существующие полуэмпирические методики дают весьма большие погрешности. В связи с этим проблема совершенствования существующих аналитических методов расчета зубчатых передач путем учета факторов, имеющих место в реальных механизмах является одной из важнейших проблем повышения качества проектируемых передач и **является весьма актуальной**.

Диссертация изложена на 212 страницах, состоит из введения, трех разделов, включающих двенадцать глав, заключения и списка литературы из 248 наименований.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы проблемные вопросы, нуждающиеся в дальнейшей разработке и развитии, показаны научная новизна и практическая значимость работы, приведены основные положения, выносимые на защиту. Здесь же сделан краткий обзор типовых методов расчетов прочности и жесткости податливых зубчатых зацеплений с примерами их типовых расчетов.

На основании проведенного анализа существующих методов расчета автор отмечает, что до сих пор остаются слабо развитыми аналитические методы расчета прочности и жесткости упругих элементов зубчатых механизмов, роликовых подшипников качения и зубчатых соединений. В связи с этим делается обоснованный вывод о том, что дальнейшее совершенствование высоконагруженных конструкторских передаточных зубчатых механизмов для реальных условий их эксплуатации в высокоскоростных режимах, как и проектирование нового поколения малозумных редукторов с повышенным сроком их безаварийной работы, возможно лишь на основе уточнения и развития существующих и разработки новых методов прочностных расчетов, позволяющих учитывать различные эксплуатационные и технологические факторы. Для достижения поставленной цели, сформулированы задачи, решению которых посвящена данная диссертация.

В первом разделе (главы 2-6) изложены новые физико-математические модели, методы и подходы, которые являются теоретической основой для определения контактных, изгибных деформаций и напряжений в деталях и узлах реальных механизмов и машин.

Во второй главе разработан метод определения контактной деформации цилиндров бесконечной длины с начальным касанием по линии. С помощью новой модели упругого полупространства определена контактная деформация круговых цилиндров. Показано, что решение Б.С.Ковальского, по определению контактной деформации круговых цилиндров, приводимое в энциклопедических и машиностроительных справочниках, является приближенным. Величина погрешности зависит от радиусов цилиндров, упругих свойств материала, от величины внешней нагрузки и колеблется в пределах от 5 до 30 %.

В этой же главе уточнено также известное решение Н.М.Беляева в части определения контактной деформации цилиндров.

В третьей главе приведены результаты теоретических исследований по определению суммарных контактных деформаций двух упругих тел конечных размеров с начальным касанием по линии. При этом автор использует разработанный им во второй главе метод определения контактной деформаций упругих тел при контактном взаимодействии

по линии. Рассмотрены различные контактные пары: ролик - цилиндрический сегмент; цилиндрический сегмент-плита; ролик-плита; два цилиндрических сегмента. В такой постановке задачи решаются впервые. Затем они используются автором для решения разных прикладных задач.

Четвертая глава посвящена определению параметров контакта при силовом взаимодействии упругих тел цилиндрической формы в условиях перекоса. Ограниченная точность изготовления и монтажа зубчатых колес совместно с упругими деформациями элементов передачи приводят к начальному неприлеганию зубьев (перекосу). В контакте ролик-кольцо в роликовых подшипниках Перекос исключает возможность использования для определения параметров контакта решение задачи Г.Герца.

Для решения данной проблемы, в работе предложена новая физико-математическая модель контактного взаимодействия двух цилиндров конечных размеров с учетом их перекоса. Использование разработанной модели дало возможность автору впервые аналитически решить поставленную задачу – контакт двух цилиндров (или цилиндра с плоскостью) при наличии перекоса γ между ними и определить параметры контакта в замкнутом виде: контактную деформацию α ; максимальные контактные напряжения σ_{\max} ; максимальную полуширину b_γ и длину l_k площадки контакта. Полученные результаты использованы автором далее для решения других прикладных задач.

В пятой главе построена модель изгибной деформации по длине зубьев зубчатых колес, использование которой позволило автору впервые аналитически определить коэффициент концентрации изгибных напряжений в основании зубьев зубчатых колес. Здесь же определена расчетная оценка влияния изгибной деформации зубьев на параметры контакта в условиях перекоса с учетом их конечных размеров. Показано, что в результате изгибной деформации по длине зуба, компенсируется часть угла перекоса (до 45 %).

В шестой главе исследовано влияние конечных размеров упругих тел цилиндрической формы на их контактную податливость и концентрацию контактных напряжений. Показано, что при контакте цилиндров с разными длинами контактные напряжения на свободном конце короткого цилиндра более чем на 20 % выше, их значений в срединной области (рассчитанных по Герцу).

Во втором разделе (главы 7-10) диссертации показано применение физико-математических моделей, методов и подходов, разработанных в первом разделе в прикладных задачах расчетов деталей и узлов машин и механизмов..

В седьмой главе получены аналитические формулы: для определения отношения контактной деформации зубьев к удельной нагрузке в отсутствии их перекоса; контактных деформаций и напряжений при перекосе; изгибных напряжений в основании зубьев при перекосе. Установлено, что отличия значений, полученных по известным методикам, от значений, полученных с учетом перекоса достигают до 50 %.

В восьмой главе на основе полученных в третьей главе соотношений для суммарной контактной деформации двух упругих тел конечных размеров, впервые аналитически

определена податливость ролика, сжатого между двумя плитами из одинаковых материалов. Эту зависимость автор предлагает использовать и при определении жесткости мостовых опор, ссылаясь на то, что в литературе эта проблема решается экспериментально, а результаты различных авторов отличаются между собой на 20-30 %. На основе полученного в работе аналитического решения расчетом автором подтвержден известный из экспериментов факт о том, что сближение плит не зависит от радиуса ролика, а зависит лишь от толщины плит.

В девятой главе на основе полученных в первом разделе соотношений для суммарной контактной деформации двух упругих тел конечных размеров, аналитически определена (для одного тела) податливость роликовых подшипников при отсутствии исходного перекоса. Здесь же определены контактные деформации тел и напряжения в них при наличии перекоса. Полученные результаты на 10-30 % уточняют данные других авторов.

В десятой главе основываясь на работах Э.Л.Айрапетова и О.И.Косарева, автором оценено влияние перекоса зубьев от погрешностей изготовления и монтажа на напряженно-деформированное состояние элементов зубчатых муфт при различной геометрии боковых поверхностей зубьев. Здесь же уточнено влияние податливости обода на величину зоны нагруженных зубьев муфты.

Третий раздел (главы 11 и 12) посвящен экспериментальным исследованиям, сопоставлению полученных результатов теоретических исследований с экспериментальными данными, а также сравнению с данными других авторов.

В одиннадцатой главе дано описание проведенного автором специального эксперимента. Методом голографической интерферометрии исследованы контактные деформации цилиндрических, конических и бочкообразных роликов, имитирующих контакт цилиндрических зубьев в отсутствие перекоса и при его наличии.

В двенадцатой главе для проверки достоверности полученных в диссертации зависимостей приведено сопоставление полученных результатов теоретических исследований с экспериментальными данными. При этом использовались как результаты, полученные другими авторами, так и результаты специально поставленных в работе экспериментов. Результаты аналитических расчетов проверялись также их сопоставлением с имеющимися в литературе данными, полученными А.В.Орловым с помощью метода конечных элементов (МКЭ). Отмечается, что расчетные данные находятся в хорошем соответствии.

В заключении подводятся итоги работы, сформулированы основные выводы.

Общая методика исследований, проведенных в диссертации, основывалась на дисциплинах: "Машиноведение и детали машин"; "Теории механизмов и машин"; "Теория упругости"; "Строительная механика"; "Сопротивление материалов". Исследования выполнялись в рамках общепринятых допущений и заключались в теоретическом решении рассматриваемых задач.

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается их последующим сопоставлением и удовлетворительным соответствием с имеющимися в литературе расчетными и экспериментальными данными. При этом для сравнения использовались как результаты экспериментов других авторов, так и результаты экспериментов специально выполненных автором.

Научная новизна диссертации состоит в:

- разработке метода определения контактной деформации круговых цилиндров бесконечной длины с начальным прилеганием по линии;
- аналитическом определении суммарной контактной деформации двух упругих тел, при силовом взаимодействии до деформации по линии, с учетом их конечных размеров;
- теоретическом решении задачи о контакте двух цилиндров (также цилиндр-плоскость) конечных размеров в условиях перекоса;
- разработке физико-математической модели изгибной деформации по длине зубьев конечной длины и на ее основе разработке аналитического метода определения коэффициента концентрации изгибных напряжений в зубьях муфт и зубчатых колес в условиях перекоса с учетом их конечных размеров;
- разработке аналитического метода определения коэффициента концентрации контактных напряжений и деформаций цилиндрических тел конечных размеров неодинаковых длин, при их контакте по образующей (краевой эффект);
- аналитическом определении контактной податливости зубьев зубчатых колес в отсутствие перекоса и при его наличии;
- теоретическом определении контактной податливости в роликовых подшипниках в отсутствие перекоса и при его наличии;
- развитии метода расчетной оценки нагруженности зубчатых соединений (муфт) при различной форме боковых поверхностей зубьев с учетом податливости обода при перекосе;
- экспериментальном определении методом голографической интерферометрии контактной деформации роликов при различной геометрии образующей.

Практическую ценность работы составляют:

- Разработанные в диссертации физико-математические модели и методы расчета контактных деформаций, напряжений зубьев зубчатых колес и соединений (муфт) при отсутствии и наличии перекоса с учетом их конечных размеров;
- Методы расчетного определения изгибных напряжений и деформаций, а также исследование влияния изгиба на параметры контакта зубьев зубчатых колес в условиях перекоса с учетом их конечных размеров;
- Метод расчетной оценки нагруженности зубчатых соединений (муфт) при различной форме боковых поверхностей с учетом податливости обода и зубьев при их перекосе;

- Метод расчетного определения жесткости (податливости) роликовых подшипников при наличии и отсутствии перекоса;
- Проведение качественного и количественного анализа влияния нагружения, условий контакта, геометрических и упругих параметров на напряженно- деформированное состояния элементов зубчатых механизмов;
- Рекомендации по расчету нагруженности и прочности зубчатых зацеплений, соединений (муфт) и роликовых подшипников, используемые при оценке прочности и долговечности элементов зубчатых механизмов при проектировании.

По результатам исследований в соавторстве получено 2 патента.

Основные результаты, полученные в диссертации, отражены в *публикациях* автора в 49 печатных работах, из них 27 опубликованы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Результаты диссертации Ф.Г.Нахатакяна использованы:

- в разработанных с участием автора методических рекомендациях по расчету на прочность цилиндрических и конических зубчатых передач и зубчатых муфт, предназначенных для инженеров и научных работников, занимающихся проектированием и расчетами на прочность, которые вошли в ГОСТы;
- на Электростальском заводе тяжелого машиностроения (ЭЗТМ) и на ОАО Калужском турбинном заводе (КТЗ) в конструкции зубчатых муфт и шпинделей и при проектировании и экспериментальной отработке перспективных проектов планетарных зубчатых редукторов;
- в Методике расчета вибраций малошумных редукторов и Правилах акустического проектирования основных механизмов и систем перспективных кораблей ВМФ (инв. № 145, НПВП “Турбокон” 2009 г.)

Замечания.

1. И по содержанию и по названию работу целесообразно защищать по 2-м близким специальностям: 01.02.06 - ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ МАШИН И АППАРАТУРЫ и 05.02.02 - МАШИНОВЕДЕНИЕ И ДЕТАЛИ МАШИН, поскольку в работе рассмотрены лишь методы расчета на статическую прочность и жесткость ДЕТАЛЕЙ МАШИН.

2.Глава 8 по своему содержанию не подкрепляет в должной мере содержания приведенного в названии работы смысла словосочетания «И СООРУЖЕНИЙ», поскольку в этой главе рассмотрена изолированно лишь задача о контактной деформации ролика конечных размеров и двух плит. В совокупности другие элементы сооружений не рассматриваются.

3. В первом разделе при выводе формулы контактной деформации цилиндров автор не указывает, для какого напряженного состояния получено выражение для относительных деформаций ϵ_0 : для плоского деформированного или для плоского напряженного состояния.

4. Предложенную в 10 главе расчетную модель нагружения многопарных зубчатых зацеплений следует считать весьма приближенной. Она практически не учитывает односторонний характер взаимодействия зубьев колес и не приемлема для изучения явления «дребезга», а приемлема лишь на тех уровнях нагружения колес, когда зона контакта их зубьев не меняет своих размеров и своего положения.

5. Тексты диссертационной работы и автореферата имеют отдельные стилистические ошибки и опечатки. И, к сожалению, их не мало.

Отмеченные замечания не снижают общего положительного впечатления о большом объеме актуальных и практически важных исследований.

Автореферат диссертации и публикации автора достаточно полно отражают содержание диссертации.

Диссертация прошла **апробацию** на многих научных конференциях и семинарах, включая международные.

Заключение. Представленная к защите диссертационная работа Нахатакяна Филарета Гургеновича выполнена на актуальную тему, является научно - квалификационной работой, в которой на основании проведенных автором исследований изложены научно обоснованные технические решения. Работа выполнена на высоком научном уровне, соответствует всем требованиям «Положения ВАК о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора технических наук, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. а ее автор, Нахатакян Филарет Гургенович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор кафедры
«Теория механизмов и машин» ФГБОУ ВПО
Московского государственного технического
университета им.Н.Э. Баумана



Клеников С.С.

27.11.2014

Подпись руки профессора кафедры
«Теория механизмов и машин»
, д.т.н. Кленикова С.С.
заверяю



А. Ф. МАТВЕЕВ
УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ

ТЕЛ. 8499-263 67 69