

В диссертационный совет Д 002.059.04
при ФГБУН Институте машиноведения
им. А.А.Благонравова РАН (ИМАШ
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, приборов и аппаратуры

Актуальность

Совершенствование методов расчета является важным условием снижения материалоемкости машин, их стоимости, эксплуатационных расходов и повышения надежности.

Поиску путей совершенствования методов расчета несущей способности деталей машин способствует обсуждение предлагаемых решений. Особого внимания заслуживает изучение опыта применения рекомендуемых методик расчета и их уточнение. Почти все методы определения сил, действующих в сопряжениях деталей, требуют определения их деформационных перемещений под нагрузкой. История развития методов расчета деталей машин показывает, что упругие перемещения целесообразно представлять как результат деформаций изгиба, сдвига, растяжения, сжатия и деформаций в зоне контакта. Такой подход позволяет получить достаточно высокую точность расчета даже с помощью приближенных формул. Не менее важно реализовать метод разделения перемещений при численном расчете, основанном на точных зависимостях.

Однако проблемы этого подхода пока далеки от решения. Многочисленные публикации экспериментальных и теоретических исследований перемещений деталей машин под нагрузкой указывают на существенное расхождение результатов.

Так, в одних работах контактная жесткость стальных зубчатых передач оценивается величиной 100000 Н/мм/мм, в других - 31000 Н/мм/мм, в третьих - 13 000 Н/мм/мм.

Такое положение с расчетами сложилось вследствие того, что строгие исходные принципы постепенно без должного обоснования заменялись прикладными методами. В итоге для расчетов стали широко использовать такие формулы, по которым можно получить как любые, в том числе наперед заданные значения, так и результаты, противоречащие здравому смыслу.

Особенно это важно по причине широкой доступности компьютерных программ, основанных на методе конечных элементов. Чтобы применять методы конечных или граничных элементов для анализа прочности, например, авиационных деталей, надо глубоко понимать какие элементы деталей как деформируются. Это необходимо для правильного выбора типов элементов и степени дискретизации рассчитываемых тел.

Поэтому заслуживают большого внимания актуальные исследования Нахатакяна Ф.Г., в которых, основываясь на исходных принципах определения деформаций, повышение точности расчетов достигается за счет учета влияния перекоса контактных поверхностей, вызываемых технологическими и монтажными погрешностями, деформациями упругих элементов. Важно, что в работах Нахатакяна Ф.Г. учтены конечные размеры деталей и продольная модификация зубьев.

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

Степень обоснованности научных положений

Сопоставление полученных результатов теоретических исследований с экспериментальными данными, выполненными в отделении динамики и прочности ФГУП «ЦИАМ им. П.И.Баранова» указывает на высокую степень обоснованности принятых автором научных положений.

Достоверность

Результаты, полученные в диссертации, подтверждаются удовлетворительным соответствием теоретических исследований, выполненных автором, с экспериментальными данными, при этом использовались как результаты специально

поставленных автором экспериментов, а также расчетами, выполненными при оппонировании.

Алгоритмы и формулы, полученные в диссертации, были внесены в программы расчета зубчатых передач, разрабатываемые в ФГУП «ЦИАМ им. П.И.Баранова». В результате появилась возможность расчетным путем наблюдать явления, которые не удавалось получить иным способом.

Научная новизна

диссертации состоит в: - 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; - разработке физико-математической модели изгибной деформации по длине зубьев конечной длины, позволившей автору получить формулу для определения функции Грина, и на ее основе разработать аналитический метод определения коэффициента концентрации изгибных и контактных напряжений в зубьях муфт и зубчатых колес в условиях неполного первоначального контакта и с учетом их конечных размеров тел; - аналитическом определении контактной податливости зубьев зубчатых колес, как в отсутствии перекоса и при его наличии; - теоретическом определении контактной податливости в роликовых подшипниках в отсутствии перекоса и при его наличии; - развитии метода расчета сил, действующих в зубчатых муфтах при различной форме боковых поверхностей зубьев с учетом податливости обода при перекосе.

Практическая ценность

Практическая значимость работы для расчета, например, зубчатых передач авиационных двигателей состоит в применении, полученных автором формул и алгоритмов для проектирования авиационных двигателей.

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

Замечания по диссертации:

1. При выводе формулы (2.18) автор не указывает, для какого напряженного состояния получено выражение для относительных деформаций ϵ_0 : для плоского деформированного или для плоского напряженного состояния.

2. На странице 51 диссертации написано:

“Во второй главе приведено точное решение (2.21) плоской контактной задачи по определению контактной деформации цилиндров радиуса R ”

Формула (2.21) получена с допущением $\frac{b^2}{(2R)^2} \ll 1$ (см. стр.41) по этой причине решение (2.21) не является точным. Но точным решением вполне можно назвать формулы (2.17) & (2.18), не имеющих указанного допущения. Поэтому область применения формулы (2.17) по сравнению с формулой (2.21) - шире. Однако формула (2.17) должна быть записана не в виде

$$\alpha_{1,2} = -\frac{2(1-\nu^2)q}{\pi E} \times \left\{ \ln \frac{2R}{b} \left(\sqrt{1 + \frac{b^2}{(2R)^2}} + 1 \right) - \frac{\nu}{1-\nu} \frac{(2R)^2}{b^2} \left(\sqrt{1 + \frac{b^2}{(2R)^2}} - 1 \right) \right\} \quad (2.17)$$

а с дополнительными скобками, что исключает возможные ошибки:

$$\alpha_{1,2} = -\frac{2(1-\nu^2)q}{\pi E} \times \left\{ \ln \left[\frac{2R}{b} \left(1 + \frac{b^2}{(2R)^2} + 1 \right) \right] - \frac{\nu}{1-\nu} \frac{(2R)^2}{b^2} \left(1 + \frac{b^2}{(2R)^2} - 1 \right) \right\}. \quad (2.17^*)$$

3. Как следует из формул (2.16), (2.17) и (2.18) контактное перемещение это сумма трёх перемещений (формула 2.16), два из которых зависят от положения точки, принимаемой за неподвижную, и одного, которое не зависит от положения неподвижной точки. В некоторых формулах, например (3.3) главы 3 выражение (2.18) для перемещений, не зависящих от положения неподвижных точки не добавлено.

4. На стр. 38 написано «...(изменение расстояния $A-F$, рис 2.2б)», и далее на этой же стр. «...на участке $z = z_A \div z_F$ ». На наш взгляд правильнее: (изменение расстояния $A-H$, рис 2.2б); на участке $z = z_A \div z_H$.

5. На стр. 89 для безразмерного параметра $\beta \cdot l$ балки на упругом основании приводится формула, однако что такое β не расшифровано в полной мере, поскольку в формулу на странице 89:

$$\beta l = (Kl^4 / 4EI)^{1/4};$$

входят такие параметры как K - коэффициент жесткости упругого основания и EI - жесткость балки на изгиб, определяемые однозначно для призматических балок, но для конкретных деталей, например зубьев зубчатых колес, требуют уточнения. Также следует учитывать, что функция Грина, входящая в выражение (5.7) может быть выражена в виде

$$f(\beta l, c, x) = \frac{\beta l}{4 \cdot (sh^2 \beta l - \sin^2 \beta l)} \cdot (\dots)$$

а, следовательно, имеет степенную зависимость от параметра β , что накладывает повышенные требования к точности определения параметра β , в прикладных расчетах.

6. Вывод о том, что “напряжения на краю на 22 % больше, чем в срединной области (по Герцу)” (стр. 113 и стр. 188) следует уточнить – это относится только к контакту двух тел разной ширины.

Отмеченные замечания не носят принципиального характера и не снижают общего положительного впечатления о диссертации.

Наиболее ценными результатами работы можно считать исследования контактной деформации соприкасающихся тел, вывод формулы (2.17), позволяющей определить контактную податливость для более широкого класса деталей машин, учет конечных размеров тел, получение формулы (5.8) для определения функции Грина. Эти результаты создают основу для дальнейших исследований в области динамики и прочности машин.

Автореферат диссертации достаточно полно отражает содержание диссертации.

Наиболее важные формулы и алгоритмы проверены мной лично- результаты полностью соответствуют поставленным задачам.

Диссертация на соискание ученой степени доктора наук является научно- квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение.

Заключение

Рассмотренная диссертационная работа, выполненная на соискание ученой степени доктора наук, является научно - квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены научно обоснованные технические решения; диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора технических наук, утвержденном постановлением Правительства РФ №

842 от 24.09.2013 г. а ее автор, Нахатакян Филарет Гургенович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник
отделения динамики и прочности
ФГУП «ЦИАМ им. П.И.Баранова»,
111116, Москва, ул. Авиамоторная, д.2



Дорофеев В.Л.

Подпись Дорофеева Владислава Леонидовича подтверждаю

Учёные секретарь ЦИАМ к.ф.-м.н.



Исакова Н.П.

26.11.2014

Тел. 8(495)3611951, e-mail: vld@ciam.ru