

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СИЛЫ НА БАЗЕ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ, РЕАЛИЗУЮЩИХ МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В. С. Николаев, И. А. Прошин, И. А. Булаев

В статье рассмотрено моделирование чувствительного элемента преобразователя силы. Получена его расчетная модель, в виде, удобном для проектирования и оптимизации конструкции. Проведены исследования напряженно – деформированного состояния сложной пластинчатой конфигурации чувствительного элемента преобразователя. Рассмотрена возможность исследования профиля чувствительного элемента с использованием пакета прикладных программ, реализующих метод конечных элементов (МКЭ).

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, преобразователь силы, чувствительный элемент, метод конечных элементов.

Введение

Использование автоматизированных систем для управления процессами в технологическом оборудовании основывается на применении средств контроля силовых воздействий на перерабатываемый материал. Совмещение рабочего органа машины с функциями преобразователя силы позволит повысить точность контроля параметров силовых взаимодействий. Такой подход в полной мере расширит функциональные возможности мехатронных систем, используемых в технологическом оборудовании, а разработка принципов решения такой задачи будет являться актуальной проблемой.

В технических системах в качестве преобразователя силы обычно применяют тензометры [1], принцип работы которых основан на факторе деформации упругого элемента. Одним из вариантов преобразователя силы может быть устройство, связующее несущий и технологический элементы машины. Выполнение технологического элемента может быть, в виде уплотнителя [2, 3, 4], где протаскивается волокнистая структура или в виде устройства для пропускания перерабатываемой вязкоупругой среды под давлением. Такой тип преобразователя может быть нагружен вдоль его центральной оси по движению материала.

Структуру преобразователя силы можно представить в виде совокупности измерительных преобразователей. Чувствительный элемент преобразователя силы может быть выполнен в виде консоли, кольцевой пластины (мембраны) или пластины с радиальными вырезами, образуя многолучевую осе симметричную конструкцию. Исследования [5] по уменьшению погрешности преобразователя силы от возмущающих факторов различной физической природы показало, что его исполнение в виде тензометрического преобразователя позволяет исключить факторы влияния температуры, вибрации. В работе [6], с использованием численного

метода конечных элементов, проведено моделирование фактора температурных воздействий в преобразователе, где определен основной фон распределения температуры и ее влияние на деформации и напряжения в чувствительных элементах.

Очевидно, целью проведения исследований такого рода будет являться определение зоны или полей напряжений в чувствительном элементе. Вид расчета и оптимизация поля напряжений на поверхности упругого элемента в его деформированном состоянии будет определять метод решения задачи по назначению базы под тензорезистор. Одновременно, решение задачи в части конструкции чувствительного элемента, посредством теоретического исследований, позволит повысить чувствительность преобразователя и понизить влияние дрейфов в системе «тензорезистор – чувствительный элемент». Это обуславливает проведение расчета напряженно-деформированного состояния чувствительных элементов.

Объекты и методы исследований

Известно, что конструктивное исполнение чувствительного элемента, влияет на коэффициент чувствительности преобразователя. Аналитические методы расчета чувствительного элемента ограничены простыми формами тел и схемами их нагружения, что позволяет решить задачу в ее первом приближении, но не обуславливает более полного восприятия виртуального образа работы конструкции. Из предположения, что функция преобразования силы зависит от геометрической конфигурации чувствительного элемента, то здесь необходимо знать эволюцию процесса деформирования элемента. Определение области распространения напряжений позволит:

– рассчитать оптимальную геометрию чувствительного элемента;

– выбрать оптимальную зону напряжений для расположения в ней тензорезистора.

Поставленные задачи можно решить посредством теоретических исследований с использованием пакета прикладного программного обеспечения, основанного на численных методах математического аппарата. Такой подход, очевидно, позволит с высокой точностью исследовать и оптимизировать конфигурацию чувствительного элемента посредством исследования градиентов напряжений и деформаций [7].

В современном программном обеспечении широко используются комплексы пакетов прикладных программ, реализующих численный метод конечных элементов. Процедуру исследований проведем в программных комплексах Ansys 8.0 Multiphysics и COSMOSXpressStudy.

Методику решения задачи можно представить в виде краткой процедуры, реализованной в пакете прикладной программы Ansys 8.0 Multiphysics, которая включает пошаговые действия:

1. Импорт геометрии модели осуществляется из файла формата *.igs, созданного предварительно в более удобном графическом редакторе (КОМПАС, AutoCad, SolidWorks и т.п.).

2. Задание параметров свойств элементов, задание свойств материала, задание типа анализа.

3. Разбиение на элементы

4. Задание условий закрепления и условий приложения возмущающих сил, а именно: направления и вида нагрузки, распределенная или сосредоточенная.

5. Решение: расчет деформаций, напряжений.

6. Обработка и просмотр результатов решения (создание необходимых диаграмм и их анализ).

7. Проведение процедуры оптимизации, которое требует повторения всех пунктов описанного пошагового алгоритма решения задачи.

Сама процедура оптимизации будет базироваться на результатах расчетов в линейной постановке статического анализа.

Результаты и их обсуждение

Для расчетов используется геометрическая модель преобразователя силы, которая приведена в виде 3D модели (рис. 1). Преобразователь включает твердотельный кольцевой элемент, для монтажа в нем технологического элемента и три симметрично расположенных опорных чувствительных элемента, выполненных по равножесткой схеме. Каждый элемент оснащается тензорезисторами R. Внешний конец каждого чувствительного элемента обеспечен схемой опирания. Вдоль центральной оси Y

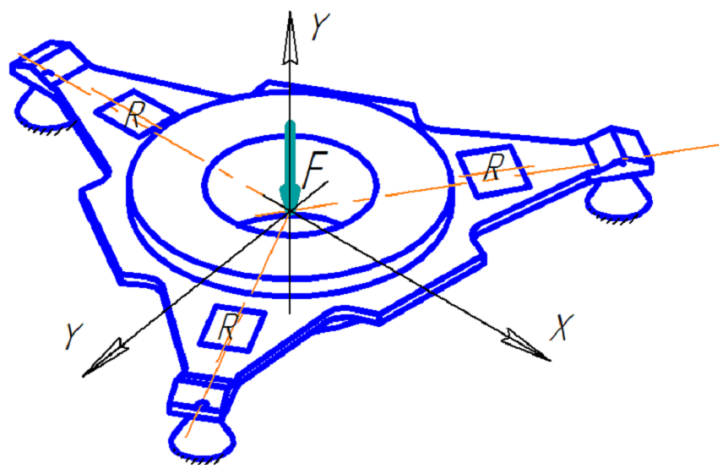


Рис. 1. Конструктивное оформление преобразователя силы

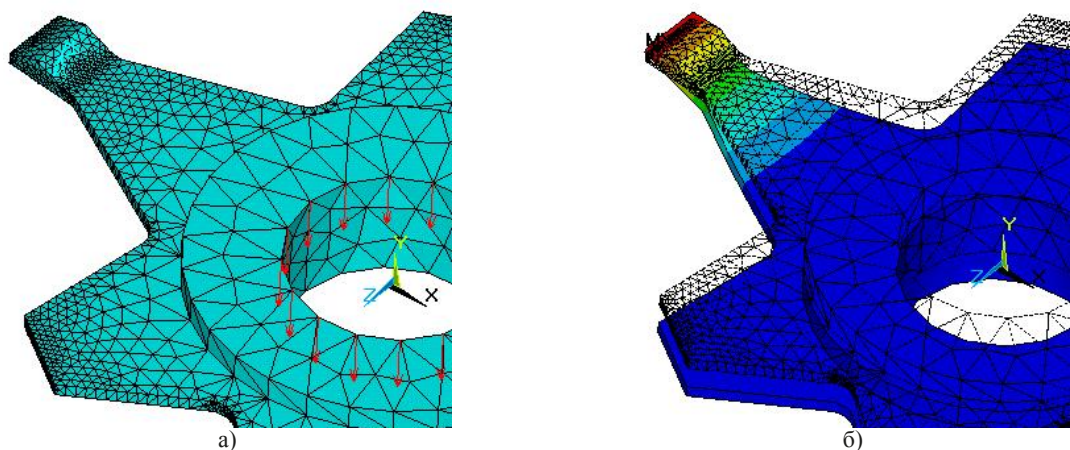


Рис. 2. а) сетка конечных элементов на импорте геометрии модели б) моделирование деформаций элемента от технологической нагрузки.

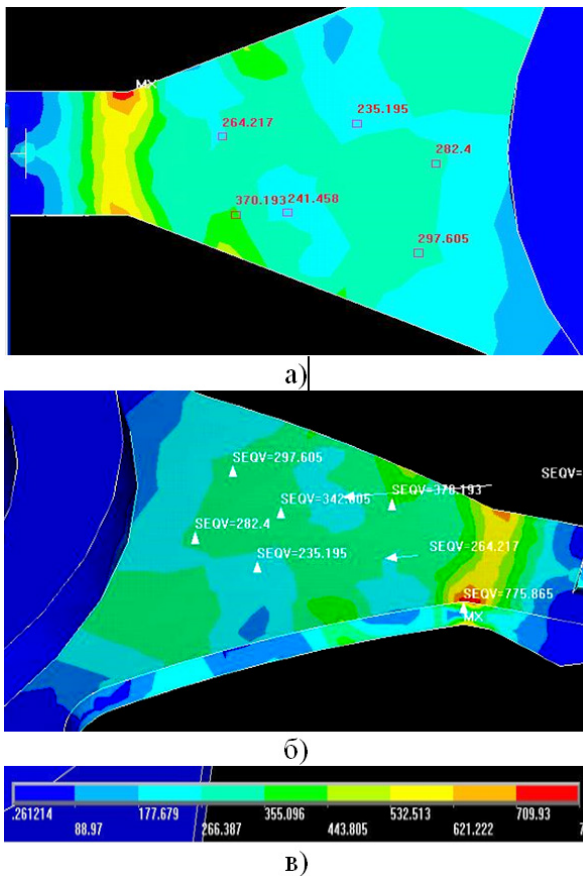


Рис. 3.
 а) – карта распределения эквивалентных напряжений на верхней плоскости чувствительного элемента;
 б) – карта распределения эквивалентных напряжений на нижней плоскости чувствительного элемента;
 в) – диаграмма цветового масштаба напряжений

показана сила F , имитирующая технологическую нагрузку на датчик.

Построение конечно-элементной сетки в трёх координатной системе, показано на рисунке 2а, осуществлялось автоматически без последующей корректировки. В расположении центральных осей X , Y , Z , модель имеет плотность, сопоставимую с пространственным твердотельным элементом. Деление участков позволяет оценить уровень нагрузок, воспринимаемых отдельными участками при действии силовых факторов (изгибающих моментов).

Моделирование перемещений по всем трём осям X , Y , Z достигается приложением распределенных сил параллельно оси Y к круглому внутреннему контуру, где достигается имитация соединения технологического элемента преобразователя с материалом (рис. 2). Для исследования напряжений и геометрии деформаций будем рассматривать чувствительный элемент, где определяется площадка под тензорезистор. Полученная диаграмма определяет степень значимости деформаций, для твердотельной модели получаем аргумент в пользу корректности и обусловленности результатов.

Результатом действия нагрузки является диаграмма деформаций преобразователя, представлена

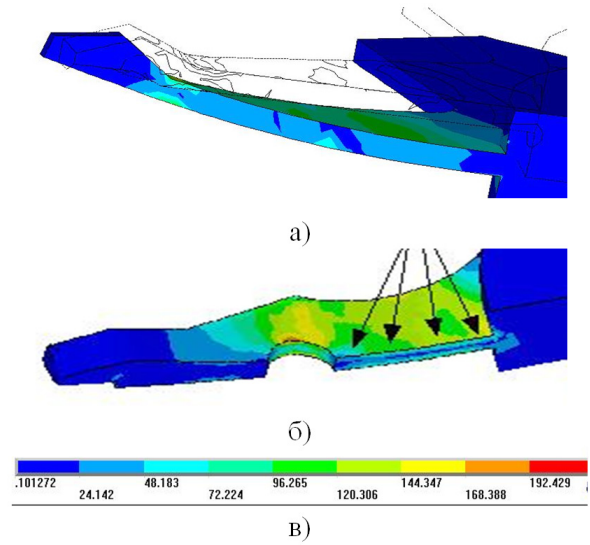


Рис. 4.
 а) – карта распределения эквивалентных напряжений в сечении чувствительного элемента первого варианта решений;
 б) – карта распределения эквивалентных напряжений в сечении чувствительного элемента второго варианта решений;
 в) – диаграмма цветового масштаба напряжений

на рисунке 2б, которая характеризуется неподвижной центральной частью и изменением положения конца луча чувствительного элемента. Фиксированная сетка привязана к концу луча.

Следующий этап моделирования основан на расчете напряжений возникающих в чувствительном элементе. Фрагменты эквивалентных напряжений, представлены на рисунке 3, являются результатом расчета. Результат расчетов показан в виде эквивалентных напряжений с осреднением по элементам. Карта распределения напряжений по верхней плоскости чувствительного элемента представлена на рисунке 3а. Карта распределения напряжений по нижней плоскости чувствительного элемента представлена на рисунке 3б. Рисунок 3в характеризует цветовой масштаб эквивалентных напряжений.

Проведенные исследования, показали значительную неравномерность распределения напряжений на плоскостях чувствительного элемента. Анализ карт эквивалентных напряжений характеризуется значительными отклонениями, которые могут достигать до 20%. Очевидно, здесь можно выделить два основных фактора реализующих эту картину, к ним относятся:

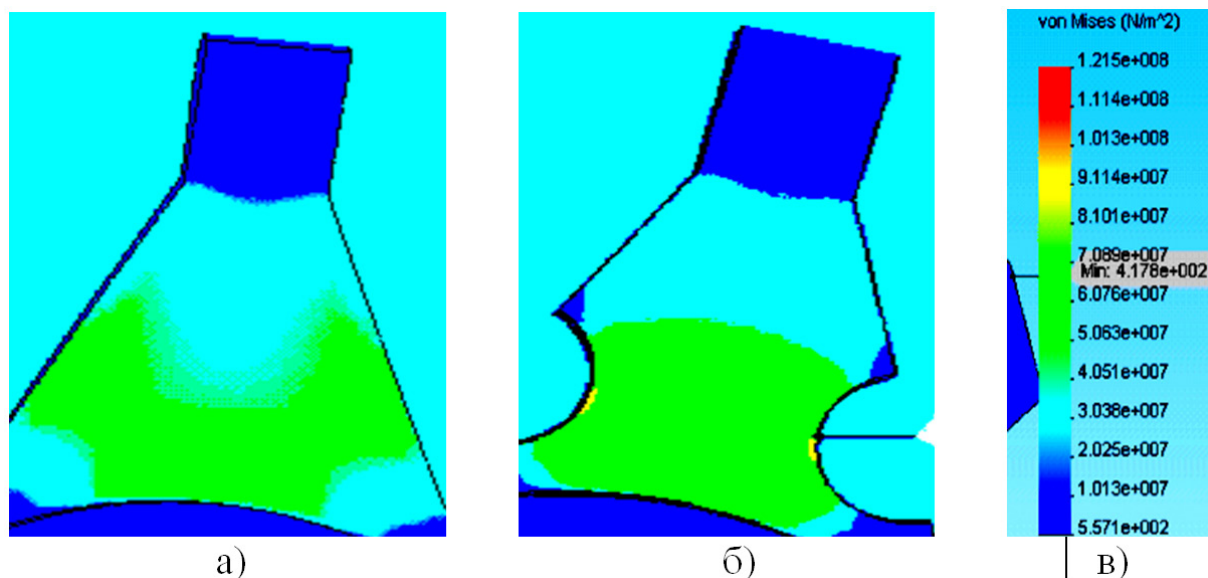


Рис. 5. а) – карта распределения эквивалентных напряжений варианта чувствительного элемента равножесткой конфигурации; б) – карта распределения эквивалентных напряжений после изменения геометрического образа чувствительного элемента; в) – диаграмма цветового масштаба напряжений

– толщина чувствительного элемента, которая реализует его как балку, но не пластину;

– способ соединения чувствительного элемента с технологическим элементом, который выполнен в виде округлости и является твердотельным.

Исходя из анализа результатов решения задачи, рассматриваемой технической системы, можно перейти к этапу ее оптимизации. Моделирование чувствительного элемента в виртуальном пространстве позволяет провести расчет его толщины. Здесь появляется возможность реализовать в элементе функции пластины, которая должна характеризоваться наличием срединной плоскости имеющей минимум значений эквивалентных напряжений.

Фрагменты процесса моделирования показаны на рисунке 4, где приведены варианты продольных сечений чувствительного элемента. Карта компоненты эквивалентных напряжений в продольном сечении элемента относительно его ненагруженной конфигурации, показана на рисунке 4а. Карта компоненты эквивалентных напряжений чувствительного элемента, где присутствует срединная плоскость, представлены на рисунке 4б. Также анализ диаграммы показывает, что реализация толщины соответствующей параметрам пластины в некоторой степени сглаживает распределение эквивалентных напряжений на поверхностном слое чувствительного элемента.

Придерживаясь гипотезы упругого деформирования, при моделировании преобразователя проведем исследования абсолютных величин напряжений в чувствительном элементе, где его характеристики идентифицируем к свойствам конечно-элементной модели. Моделирование следующего этапа оптимизации касалось конструкции чувствительного элемента. Из теории тензометрирования известно, что качественное преобразование деформации сжатия и растягивания зависит от рав-

номерно распределенных эквивалентных напряжений по поверхности детали. Для этого была решена задача по изменению схемы равножесткого чувствительного элемента. Решение осуществлялось в программном комплексе COSMOSXpressStudy [7].

Результаты расчета эквивалентных напряжений представлены на рисунке 5. Карта распределения эквивалентных напряжений варианта чувствительного элемента равножесткой конфигурации показана на рисунке 5а. Карта распределения эквивалентных напряжений после изменения геометрического образа чувствительного элемента показана на рисунке 5б.

Анализ результатов расчетов показывает, что реализация геометрической формы чувствительного элемента позволяет сконцентрировать параметры напряжений в искомой области, рисунок 5б. Полученные параметры эквивалентных напряжений в некоторой степени также увеличились. Из виртуального моделирования следует, что введенные по бокам элемента вырезы в виде окружностей позволяют изменить область и концентрацию в ней главных напряжений.

Выводы

1. Моделирование напряжений в деформированном чувствительном элементе преобразователя силы позволяет адекватно исследовать в его плоскостях распределение эквивалентных напряжений.

2. Виртуальное моделирование на основе численного метода конечных элементов повышает эффективность решения задачи по усовершенствованию и оптимизации конструкций чувствительного элемента преобразователя силы.

Список литературы

- [1] Проектирование датчиков для измерения механических величин/ Под ред. Е.П. Осадчего.–М.: Машиностроение, 1979.–480 с.
- [2] Николаев, В.С. Устройство для измерения линейной плотности волокнистого продукта. А.с.№ 1432104 (СССР) Б.И. 1988, № 39.
- [3] Николаев, В.С. Устройство для определения линейной плотности волокнистой ленты. А.с.№ 1618794 (СССР) Б.И. 1991, № 1. В.С. Николаев, Г.Д. Лузгин.
- [4] Николаев, В.С. Устройство для измерения линейной плотности волокнистой ленты. А.с.№ 1735443 (СССР) Б.И. 1992, № 19.
- [5] Николаев, В.С. Анализ функции преобразования датчика линейной плотности волокнистой ленты тензометрического типа. В.С. Николаев, В.А. Авроров, В.В. Волков: Известия вузов «Технология текстильной промышленности» № 22009, Ивановская государственная текстильная академия, с. 83–86
- [6] Николаев, В.С. Моделирование напряжений и деформаций чувствительного элемента с использованием метода конечных элементов. В.С. Николаев, Н.Н. Короткова: Научно-методический журнал «XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс»: Научное периодическое издание. Серия: Технические науки. Пищевые производства.–Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад., Выпуск № 06 (10), 2013, С. 88–93.
- [7] Автоматизированная обработка информации в системах управления технологических процессов. Монография/ Д.И. Прошин, И.А. Прошин, Р.Д. Прошина – Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2012. – 380 с.

MODELING OF TENSION IN FORCE CONVERTER ELEMENTS ON THE BASIS OF APPLICATION PROGRAMS, REALIZING A METHOD OF FINAL ELEMENTS

V. S. Nikolaev, I. A. Proshin, I. A. Bulaev

In article modeling of a sensitive element of the converter of force is considered. His settlement model in a look convenient for design and optimization of a design is received. Researches tensely – the deformed condition of a difficult lamellar configuration of a sensitive element of the converter are conducted. The possibility of research of a profile of a sensitive element with use of a package of the application programs realizing a method of final elements is considered.

Keywords: *tense-deformed condition, converter of force, sensitive element, method of final elements.*

References

- [1] Proektirovanie datchikov dlya izmereniya mekhanicheskikh velichin/ Pod red. E.P. Osadchego.–М.: Mashinostroenie, 1979.–480 p.
- [2] Nikolaev, V. S. Ustroistvo dlya izmereniya lineinoi plotnosti voloknistogo produkta. A.s.№ 1432104 (SSSR) B.I. 1988, № 39.
- [3] Nikolaev, V. S. Ustroistvo dlya opredeleniya lineinoi plotnosti voloknistoï lenty. A.s.№ 1618794 (SSSR) B.I. 1991, № 1. V. S. Nikolaev, G. D. Luzgin.
- [4] Nikolaev, V. S. Ustroistvo dlya izmereniya lineinoi plotnosti voloknistoï lenty. A.s.№ 1735443 (SSSR) B.I. 1992, № 19.
- [5] Nikolaev, V.S. Analiz funktsii preobrazovaniya datchika lineinoi plotnosti voloknistoï lenty tenzometricheskogo tipa. V.S. Nikolaev, V.A. Avrorov, V.V. Volkov: Izvestiya vuzov «Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti» № 22009, Ivanovskaya gosudarstvennaya tekstil'naya akademiya, pp. 83–86
- [6] Nikolaev, V.S. Modelirovanie napryazhenii i deformatsii chuvstvitel'nogo elementa s ispol'zovaniem metoda konechnykh elementov. V. S. Nikolaev, N. N. Korotkova: Nauchno-metodicheskii zhurnal «XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus»: Nauchnoe periodicheskoe izdanie. Seriya: Tekhnicheskie nauki. Pishchevye proizvodstva.–Penza: Izd-vo Penz. gos. tekhnol. akad., Vypusk № 06 (10), 2013, pp. 88–93.
- [7] Avtomatizirovannaya obrabotka informatsii v sistemakh upravleniya tekhnologicheskikh protsessov. Monografiya/ D.I. Proshin, I.A. Proshin, R.D. Proshina – Penza: Izd-vo Penz. gos. tekhnol. akad., 2012. – 380 s.