

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ЗАТЯЖКИ МЕМБРАНЫ ОПТОВОЛОКОННОГО ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ НА ЕЕ ГЕОМЕТРИЮ

Худяков И.В.

Херсонское мореходное училище рыбной промышленности,

Алексеев А.В.

Херсонская государственная морская академия

Рассматривается влияние величины силы затяжки на геометрию деформации мембраны амплитудного оптоволоконного датчика давления отражательного типа. Исследование проводилось методом конечных элементов, являющимся одним из основных инструментов, применяемых для моделирования датчиков и их элементов, в программном комплексе SolidWorks. Исследовано, как величина силы затяжки мембраны влияет на оптический зазор, который в свою очередь, влияет на основные характеристики датчика, такие, как: шумы, чувствительность, линейность характеристики и т. д. Установлено, что увеличение силы затяжки приводит к появлению нелинейности характеристик датчика в начальном диапазоне измерения, при этом с увеличением затяжки нелинейность усиливается. Это означает, что затяжку необходимо изменять в сторону уменьшения, однако, не нарушая герметичности датчика. Наиболее целесообразно с точки зрения получения линейной характеристики, для снятия сигнала – область, прилегающая к центру мембраны. В данной статье установлен характер нелинейности изменения оптического зазора, в зависимости от затяжки, что позволяет производить корректировку характеристик датчика.

Ключевые слова: метод конечных элементов, амплитудный оптоволоконный датчик давления отражательного типа, мембрана, величина силы затяжки.

Актуальность проблемы. В амплитудных оптоволоконных датчиках давления (ОВДД) отражательного типа в качестве упругого чувствительного элемента (ЧЭ) применяются мембраны. К упругим ЧЭ предъявляются высокие требования по комплексу физических параметров: при сохранении стабильности упругих характеристик – малый гистерезис, малые остаточные деформации, малые температурные погрешности, циклическая прочность, геометрическая и коррозионная стойкости. Физические параметры упругих ЧЭ в основном определяются их материалами [1, 2].

Однако даже удачный выбор материалов не всегда позволяет получить требуемые характеристики ЧЭ ОВДД, т.к. в значительной степени эти характеристики определяются технологическим процессом изготовления данного прибора.

Несоответствие характеристик упругих ЧЭ можно разделить на:

- связанные с несовершенством упругих свойств материала;
- температурные, связанные с изменением величины модуля продольной упругости, линейных размеров, а также определяемые наличием градиента температур между измерительной точкой упругого элемента и местом заделки в корпус прибора;
- конструктивные, обусловленные формой ЧЭ и способом заделки в корпус прибора [3].

В рамках данного исследования рассматривается влияние конструктивных характеристик, а именно – силы затяжки мембраны при различном давлении измеряемой среды.

Цель данной статьи – определить влияние силы затяжки на деформации мембраны, изготовленной из прецизионного сплава 36НХТЮ, ОВДД отражательного типа и ее влияние на величину оптического зазора.

Анализ литературных источников. При изготовлении мембран, используемых в качестве упругого ЧЭ ОВДД отражательного типа, все шире применяются прецизионные сплавы, для которых имеются хорошие технологии обработки поверхности и формирования трехмерных структур. В литературе недостаточно сведений о проектировании ОВДД, в частности о технологическом процессе изготовления данного прибора.

Приводимые данные по конструктивным характеристикам носят оценочный характер (например, форма ЧЭ и способ заделки в корпус, влияние величины затяжки мембраны на оптический зазор) [3]. Выбор затяжки мембраны не связан с нелинейностью ее преобразовательной характеристики или метрологическими характеристиками датчика в целом. В имеющихся публикациях основное внимание уделяется форме мембран [4].

Решение проблемы. В рамках данного исследования был рассмотрен амплитудный ОВДД отражательного типа, предел намерений которого составляет от 0 до 30 МПа. Моделирование осуществлялось методом конечных элементов в среде SolidWorks. Метод конечных элементов является одним из основных инструментов, применяемых для моделирования датчиков и их элементов [5–7].

Первый этап моделирования – построение объемной геометрической модели конструкции ОВДД. Второй этап – исследование статических характеристик. Завершающим этапом моделирования является непосредственное проведение расчетов и получение результатов.

Объемная модель конструкции датчика была разработана в пакете SolidWorks. Предварительно были созданы отдельные элементы конструкции датчика, а затем с помощью сопряжений они были объединены в сборку.

Конструкция датчика (рис. 1) состоит из нескольких частей. Через соединительный канал корпуса датчика (4) рабочее тело воздействует на мембрану (7), размещенную в корпусе (4), который имеет резьбовое соединение для крепления втулки (5) для прижима мембраны. Для стабилизации температурного режима датчика предусмотрена полость циркуляции охлаждающей жидкости в рубашке (6). В световой головке (2) располагается оптоволоконный жгут, по которому к мембране подводится световой сигнал от полупроводникового светоизлучателя и снимается отраженный сигнал с помощью светоприемника, которые так же расположены в световой головке (2).

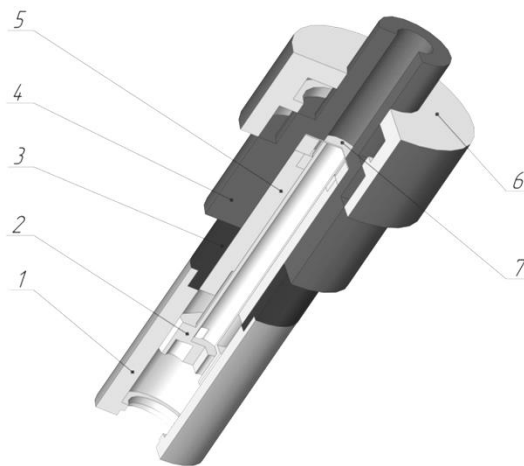


Рис. 1 – Трехмерная модель амплитудного ОВДД отражательного типа: 1 – кожух; 2 – световая головка; 3 – стакан; 4 – корпус; 5 – втулка; 6 – рубашка; 7 – мембрана

Для элементов сборки были заданы характеристики материалов. В расчете использовались справочные механические характеристики материалов. На границах элементов сборки заданы контактные условия, а на сами элементы «наложена» конечно-элементная сетка.

Последний предпроцессорный шаг построения модели – это наложение граничных условий. Так как модель рассчитывалась в симметричной постановке, закрепление на плоскость симметрии производилось таким образом, чтобы предотвратить перемещение ее точек по нормали и вращение вокруг осей, отличных от нормали.

Результатами исследования полученной модели являются оценки величины и формы прогиба мембраны при различных значениях силы затяжки и изменения измеряемого давления ОВДД.

Оценка геометрии прогиба мембраны при условии изменения силы затяжки и постоянного давления. С использованием полученной модели ОВДД, максимально приближенного к реальной конструкции, были проведены расчеты в программном комплексе SolidWorks. В результате были оценены величины прогиба мембраны для различных величин затяжки 4, 5, 6, 7, 8кН при дискретно изменяющемся давлении измеряемой среды в пределах 0...30 МПа с шагом 5МПа. Результаты исследования для каждого значения давления идентичные, на рис. 2 представлены результаты для давления 5 МПа.

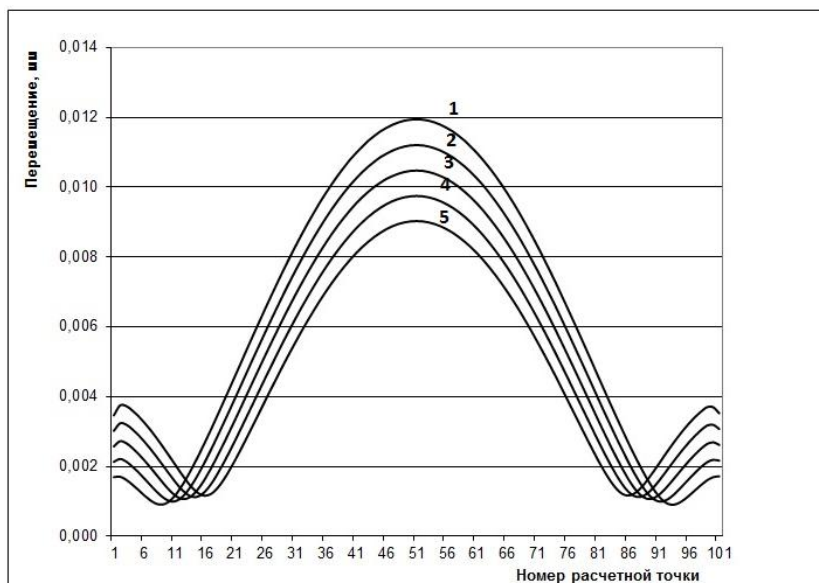


Рис. 2 – Эпюры напряженно деформированного состояния мембраны при различных силах затяжки, при постоянном давлении 5 МПа: 1 – 4кН; 2 – 5кН; 3 – 6кН; 4 – 7кН; 5 – 8кН

Для расчетных точек 5, 25, 51, что соответствует численному значению 0,495 мм, 2,475 мм, 5,049 мм от края защемленной части мембраны, оценена линейность функции изменения прогиба мембраны различной затяжки при условии постоянного давления. Результаты исследования также идентичны. На рис. 3 они представлены для расчетной точки 51, расположенной в центре мембраны.

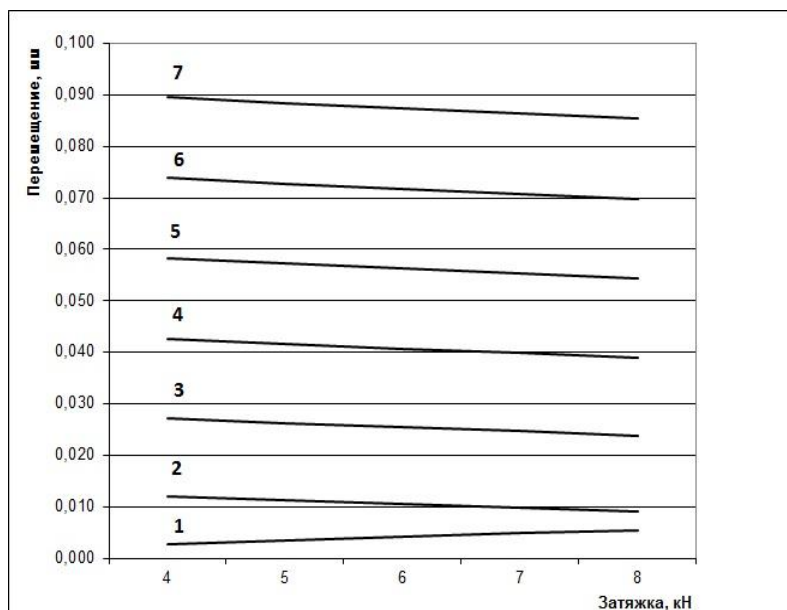


Рис. 3 – Прогиб мембраны для различных величин ее затяжки при постоянном давлении: 1 – 0 МПа; 2 – 5 МПа; 3 – 10 МПа; 4 – 15 МПа; 5 – 20 МПа; 6 – 25 МПа; 7 – 30 МПа

При отсутствии давления увеличение силы затяжки приводит к увеличению оптического зазора. Однако уже при давлении 5 МПа и выше изменение оптического зазора приобретает линейный характер, что можно объяснить ликвидацией прогиба по краям мембраны, возникающего вследствие напряженного состояния материала.

В результате затяжка приводит к нелинейности изменения оптического зазора в начале диапазона измерения давления. Чем больше затяжка, тем больше диапазон нелинейности.

Оценка геометрии прогиба мембраны при условии изменения давления и постоянной силы затяжки. Кроме исследования влияния затяжки, в программном комплексе SolidWorks производилась оценка прогиба мембраны для различных величин давления 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 МПа при дискретно изменяющейся силе затяжки 4...8 кН с шагом 1 кН. Результаты исследования для каждого значения затяжки идентичные, на рис. 4 представлены результаты для затяжки 4 кН.

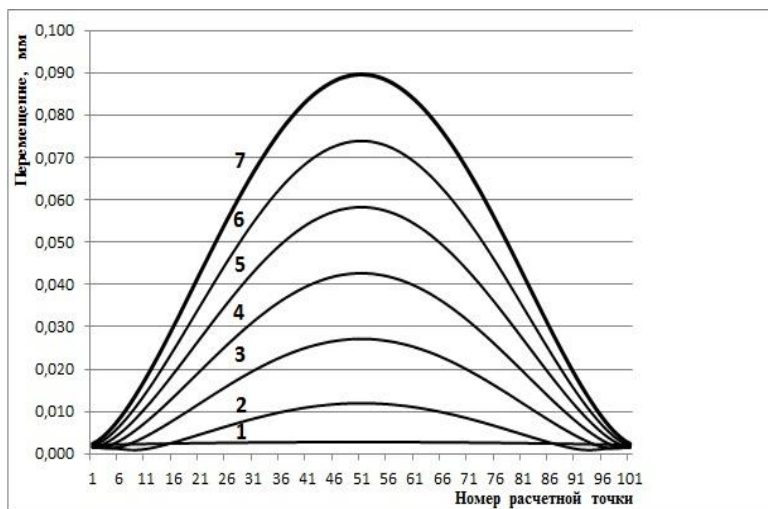


Рис. 4 – Эпюры напряженно деформированного состояния мембраны различного давления 0; 5; 10; 15; 20; 25; 30 Мпа, при постоянной затяжке 4 кН: **1** – 0 МПа; **2** – 5 МПа; **3** – 10 МПа; **4** – 15 МПа; **5** – 20 МПа; **6** – 25 МПа; **7** – 30 МПа

По аналогии с первым расчетом строим график изменения оптического зазора от величины затяжки для расчетных точек 5;25;51. Данный график представлен на рис. 5, где верхние линии семейств соответствуют затяжке 4 кН.

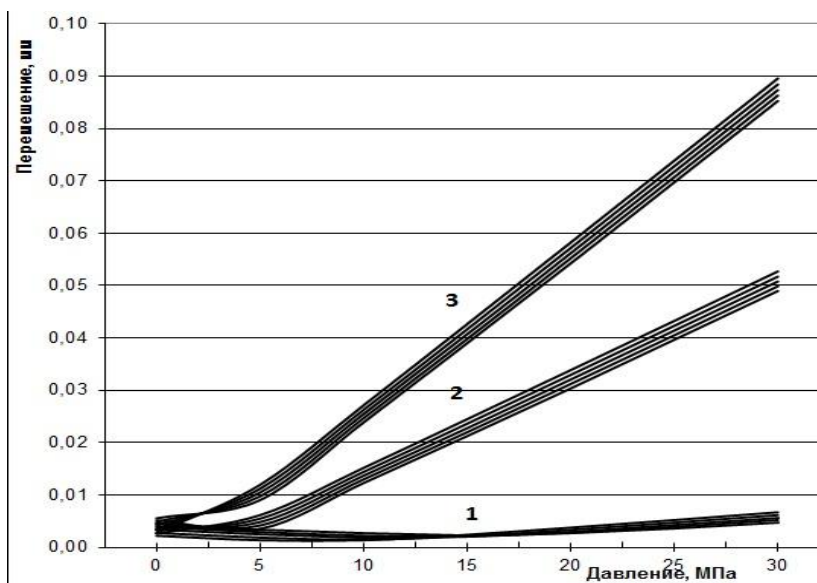


Рис. 5 – График изменения оптического зазора от величины затяжки для расчетных точек 5; 25; 51: **1** – семейство кривых для расчетной точки 1; **2** – семейство кривых для расчетной точки 25; **3** – семейство кривых для расчетной точки 51

Из графика на рис. 5 видно, что изменение оптического зазора в окрестностях расчетной точки 5 (0,495 мм) носит нелинейный характер, что можно объяснить наличием в этой зоне (по периферии мембраны) напряженного состояния, возникающего вследствие затяжки мембраны.

В окрестностях точек 25 (2,475 мм) и 51 (5,049 мм) наличие деформированного состояния приводит к тому, что в диапазоне измерения давления от 0 МПа до 5 МПа для точки 51 и от 0 МПа до 8 МПа для точки 25 изменение оптического зазора носит не линейный характер. Причем величина нелинейности усиливается с увеличением силы затяжки мембраны.

Одна из основных задач, которая решается при проектировании мембраны, – получить ее упругую характеристику максимально близкой к линейной. Очевидно, чем меньше нелинейность, тем проще и дешевле регистрирующая электронная часть датчика, обрабатывающая сигнал.

Исходя из проведенного исследования, следует, что затяжку необходимо изменять в сторону уменьшения, однако, не нарушая герметичности датчика. Возможно применение ЧЭ в виде стакана, однако это очень сложно с точки зрения технологического процесса изготовления. Такой ЧЭ будет дорогостоящий. Либо возможно применять ЧЭ в виде мембраны и тарировать затяжку различными способами (прецизионное прилегание плоскостей, применение высокотемпературного герметика и т.д.)

Выводы. В результате исследования установлено:

- увеличение силы затяжки приводит к появлению нелинейности характеристик датчика в начальном диапазоне измерения, при этом с увеличением затяжки нелинейность усиливается;
- установлен характер нелинейности изменения оптического зазора в зависимости от затяжки, что позволяет производить корректировку характеристик датчика;
- наиболее целесообразным, с точки зрения получения линейной характеристики, для снятия сигнала – область, прилегающая к центру мембраны;
- затяжку необходимо изменять в сторону уменьшения, однако не нарушая герметичности датчика;
- при нулевом давлении величина прогиба мембраны в диапазоне затяжки от 4 кН до 8 кН, для расчетной точки 51, меняется от 0,0028 мм до 0,0057 мм.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тайманов Р. Е. Метрологический самоконтроль датчиков / Р. Е. Тайманов, К.В. Сапожникова // Датчики и системы. – 2011. – № 2. – С. 58-66.
2. ГОСТ Р 8.673-2009 ГСИ. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Основные термины и определения.
3. Henry M. P. The Self-Validating Sensor: Rationale, Definitions and Examples / M. P. Henry, D. W. Clarke // Control Engineering Practice. – 1993. – Vol. 1, no. 4. – P. 585-610.
4. Xiao Z. Diaphragm deflection of silicon interferometer structures used as pressure sensors / Xiao Z., Engstrom O., Vidovic N. // Sensors and Actuators A. – 1997. – no. 58. – p. 99.
5. Богуш М. В. Анализ функции преобразования пьезоэлектрических датчиков давления методом конечных элементов / М. В. Богуш, Э. М. Пикалев // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 2. – С. 74-84.
6. Козлов А. И. Моделирование тензопреобразователей давления на основе структур КНС. Одномембранные преобразователи / А. И. Козлов, А. В. Пирогов, В. М. Стучебников // Датчики и системы. – 2008. – № 1. – С. 6-11.
7. Козлов А. И. Моделирование тензопреобразователей давления на основе структур КНС. Двухмембранные преобразователи / А. И. Козлов, А. В. Пирогов, В. М. Стучебников // Датчики и системы. – 2009. – № 8. – С. 50-53.

Худяков І.В., Алексєєв О.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВЕЛИЧИНИ ЗАТЯГУВАННЯ МЕМБРАНИ ОПТОВОЛОКОННОГО ДАТЧИКА ТИСКУ НА ЇЇ ГЕОМЕТРІЮ

Розглядається вплив величини сили затягування на геометрію деформації мембрани амплітудного оптоволоконного датчика тиску відбивного типу. Дослідження проводилося методом кінцевих елементів, що є одним з основних інструментів, вживаних для моделювання датчиків і їх елементів, в програмному комплексі SolidWorks. Досліджено, як величина сили затягування мембрани впливає на оптичний зазор, який, у свою чергу, впливає на основні характеристики датчика, такі як: шуми, чутливість, лінійність характеристики і так далі. Встановлено, що збільшення сили затягування призводить до появи нелінійності характеристик датчика в початковому діапазоні виміру, при цьому із збільшенням затягування нелінійність посилюється. Це означає, що затягування необхідно змінювати у бік зменшення, проте не порушуючи герметичності датчика. Найбільш доцільно, з погляду здобуття лінійної характеристики, для зняття сигналу – область, прилегла до центру мембрани. У даній статті встановлений характер нелінійності зміни оптичного зазору, залежно від затягування, що дозволяє виробляти коректування характеристик датчика.

Ключові слова: метод кінцевих елементів, амплітудний оптоволоконний датчик тиску відбивного типу, мембрана, величина сили затягування.

Hudyakov I.V., Alekseev A.V. STUDY OF THE EFFECT OF TIGHTENING VALUES OF FIBER OPTIC PRESSURE SENSOR MEMBRANE ON ITS GEOMETRY

Effect of the tightening force on the geometry of membrane deformation of the amplitude fiber optic pressure sensor of the reflective type is considered. The study was conducted using finite element method, which is one of the main tools for simulating sensors and their elements in the software package SolidWorks. The influence of the magnitude of tightening force of membrane on the optical gate was investigated; which in turn affects the basic characteristics of the sensor such as noise, sensitivity, linearity and so on. It was discovered that increase in the tightening force leads to the appearance of non-linearity of sensor characteristics in the initial measuring range; high tightening increases non-linearity. This means that the tightness must be changed to decrease, however, without compromising sensor impermeability. The area adjacent to the center of membrane is regarded to be the most appropriate for the signal measuring, in terms of getting a linear characteristic. This article ascertains the nature of the nonlinear changes in the optical gate as a function of tightening; it allows to adjust the characteristics of the sensor.

Keywords: finite element method, amplitude fiber-optic pressure sensor of the reflective type, membrane, value of tightening force.

© Худяков І.В., Алексєєв О.В.

Статтю прийнято
до редакції 25.09.14