

Современные автоматизированные системы управления движением судов

Лекция №7

Тема: «Измерители напряжений на корпусе судна».

Учебные вопросы и распределение времени:

Вступление.....	5 мин.
1. Механическое напряжения и методы его измерения.....	15 мин.
2. Резисторные измерители напряжений.....	30 мин.
3. Волоконно-оптические тензометры.....	25 мин.
Выводы и ответы на вопросы.....	5 мин.

Учебная и воспитательная цель:

«Формирование у студентов целостного представления о современных автоматизированных системах управления движением судов»

Учебная литература:

1. Алексишин В.Г., Козырь Л.А., Короткий Т.Р. Международные и национальные стандарты безопасности мореплавания. - Одесса: «Латстар», 2002.-257с.
2. Золотов В.В., Фрейдзон И.Р. Управляющие комплексы сложных корабельных систем.-Л.: «Судостроение», 1986.-232с.
3. Вагущенко Л.Л. Интегрированные системы ходового мостика. - Одесса: «Латстар», 2003.-170с.
4. Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л., Заичко С.И. Бортовые автоматизированные системы контроля мореходности. - Одесса: «Фенікс», 2005.-272с.
5. Вагущенко Л.Л. Судовые навигационно-информационные системы. - Одесса: «Латстар», 2004.-302с.

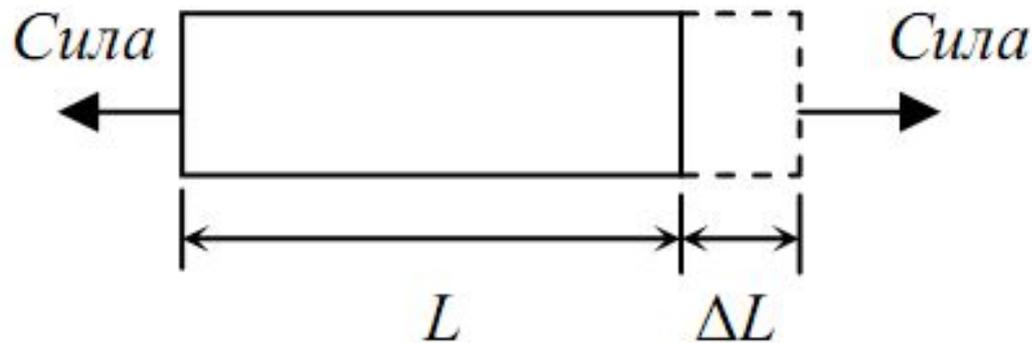
Механическое напряжения и методы его измерения

Под механическим напряжением понимается возникающая при деформации тела упругая сила, приходящаяся на единицу площади его сечения.

Достаточно большое число деформаций сводится к растяжению (сжатию). При растяжении тела напряжение считается положительным, а при сжатии - отрицательным. Мерой растяжения (сжатия) тел считается величина, называемая относительной продольной деформацией:

$$\varepsilon = \Delta L / L .$$

Она показывает относительное изменение длины тела, вызванное нагрузкой.



Механическое напряжения и методы его измерения

Напряжение при упругой продольной деформации, согласно закону Гука пропорционально ε . Поэтому используется и в качестве меры напряжения тела, единица которой называется стрейн (strain). Один стрейн - это напряжение, вызывающее растяжение ΔL , равное длине тела L .



$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \text{Strain}$$

Разрыв твердых тел наступает при деформациях, значительно меньше одного стрейна.

Поэтому напряжения твердых тел обычно выражают

в микрострейнах

$$(\mu\varepsilon = \varepsilon \cdot 10^{-6})$$

в миллистрейнах

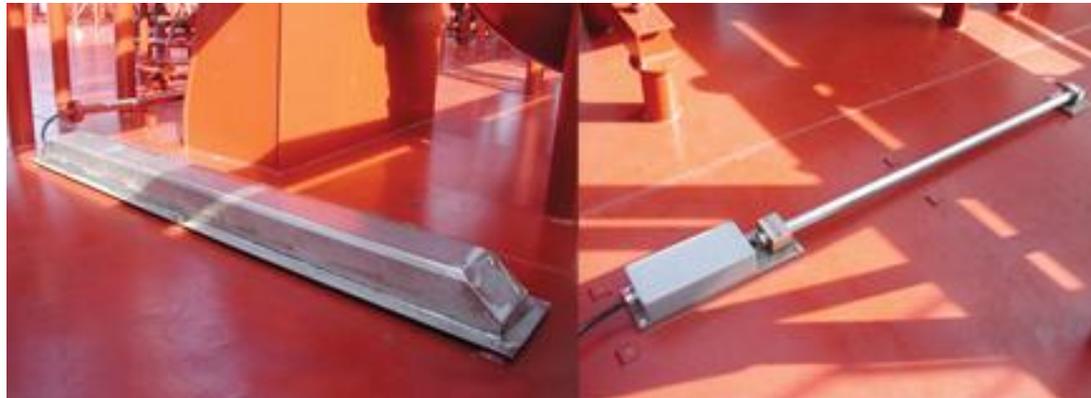
$$(m\varepsilon = \varepsilon \cdot 10^{-3})$$

Механическое напряжения и методы его измерения

Напряжения тел измеряются тензometрами. Они могут быть электрическими, и волоконно-оптическими. Ограничений на тип тензometров, используемых в системах оценки мореходности, не накладывает. Главное, чтобы они имели характеристики, соответствующие целям решаемых СОМ задач, и были пригодны для эксплуатации в морских условиях.

Измерители напряжений элементов судового корпуса должны иметь точность не хуже 5 $\mu\epsilon$ и быть способными работать в частотном диапазоне 0-5 Гц.

Погрешности этих приборов, вызванные суточным изменением температур окружающей среды и груза, подлежат корректировке. Рекомендуется, чтобы датчики деформаций, вызываемых общим продольным изгибом судна, имели длинную основу с целью уменьшения влияния локальных эффектов на результаты измерений.



Резисторные измерители напряжений

Традиционными датчиками механических напряжений являются **устройства, основанные на свойстве проводников и полупроводников менять свое сопротивление при деформациях** сжатия и растяжения. Эти приборы называются **тензорезисторами** (от лат. *tensus* — напряженный плюс резистор).

Явление изменения сопротивления материала под действием сил сжатия и растяжения было открыто, еще в 1856 г. английским лордом Кельвиным. Как известно, **сопротивление проводника R пропорционально его длине L и обратно пропорционально площади поперечного сечения S :**

$$R = k_{\rho} L / S ;$$

где k_{ρ} - коэффициент пропорциональности.

Таким образом, если **проводник** под действием сил **растягивается**, его **длина** становится **больше**, а **площадь поперечного сечения уменьшается**. Это приводит к **росту его сопротивления**. Когда проводник сжимается, картина обратная. Длина проводника уменьшается, а его **диаметр** становится **больше**. **Сопротивление** проводника **снижается**.

Резисторные измерители напряжений

В настоящее время для измерения линейных деформаций в упругой зоне применяются **проволочные, фольговые и другие тензорезисторы**. Они измеряют статические и динамические деформации с частотами изменения до десятков килогерц.

Главной характеристикой датчика напряжений является коэффициент тензочувствительности:

$$F = \frac{\Delta R / R}{\Delta L / L} = \frac{\Delta R / R}{\varepsilon}$$

Здесь ΔR — изменение сопротивления R проводника при изменении его длины L на величину ΔL . Коэффициент F определяется свойствами материала, из которого изготовлен датчик.

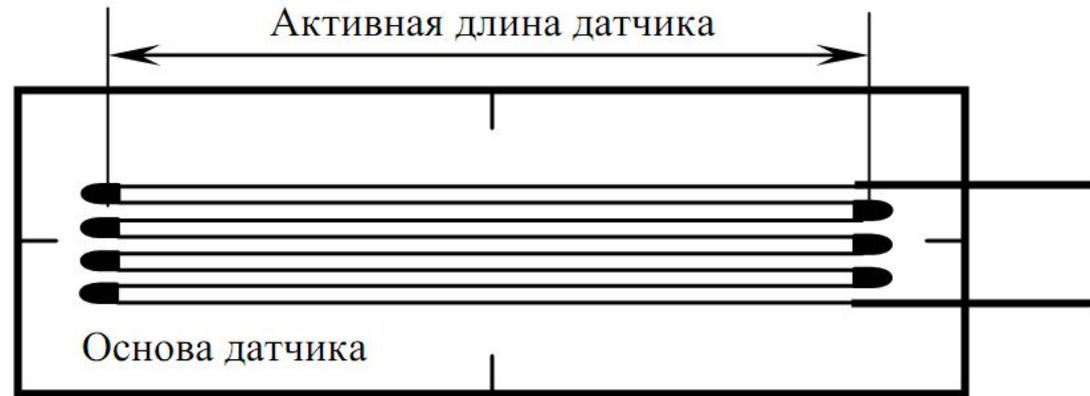
На величину F влияют температура и ток. Чем больше ток, тем выше чувствительность прибора.

Однако использовать можно лишь ток ограниченной величины, так как с его увеличением растет нагрев тензодатчика. **При превышении определенной температуры показания прибора становятся нестабильными.** Для обеспечения высокой точности тензорезисторных измерений требуются специальные меры: **экранирование, стабилизация режимов, корректировка и компенсация погрешностей.**

Резисторные измерители напряжений

Снижение уровня погрешностей в датчиках напряжений выполняется конструктивно либо аналитически. При увеличении длины L проводника чувствительность тензодатчика улучшается. Поэтому он изготавливается в виде гребенки.

Гребенчатая структура тензорезистора (металлической проволоки или фольги) maximизирует его длину, подверженную натяжению в продольном направлении.



Гребенка устанавливается на специальной основе и защищается кожухом. Основа прикрепляется к конструкции (палубе, стрингеру и др.), напряжение которой измеряется.

Для типичных датчиков механических напряжений, а сопротивление равно 120, 350 или 1000 Ом. Такие тензоизмерители имеют разрешающую способность порядка 1-микрострэйна. На практике напряжения металлических конструкций редко превышают несколько миллестрэйнов. Поэтому требуется измерять очень малые изменения сопротивления (0,12 Ом).

Резисторные измерители напряжений

На судах для измерения деформаций палубы, при общем продольном изгибе применяются электрические датчики напряжений с длинной (**LBSG** - long base strain gauge) и короткой (**SBSG** - short base strain gauge) основой. Длина LBSG может быть от 150 до 240 см, а SBSG — от 8 до 13 см.

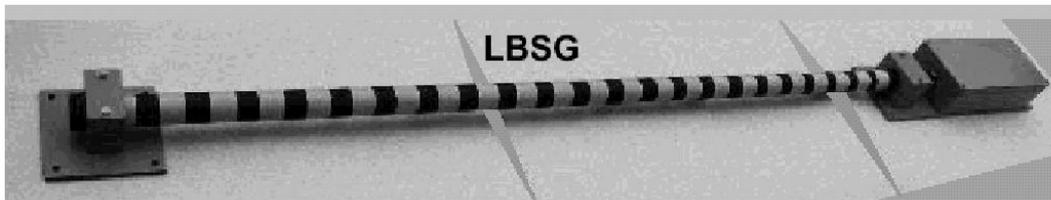
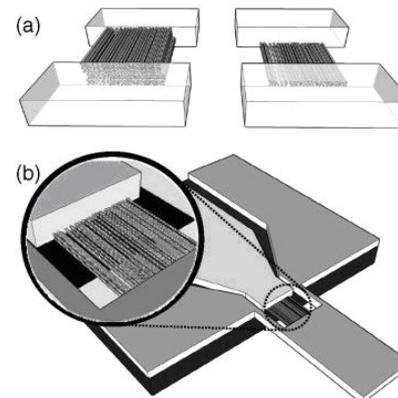


Таблица – Характеристики датчиков напряжений

	SBSG	LBSG
Разрешение	5 $\mu\epsilon$	5 $\mu\epsilon$
Диапазон частот	0 ... 150 Hz	0 ... 5 Hz
Диапазон линейности	+/- 1000 $\mu\epsilon$	+/- 2000 $\mu\epsilon$
Макс. размер	130 mm	2420 mm
Питание	12 ... 24 V	12 ... 24 V
Температурный диапазон	-25 ⁰ C ... +70 ⁰ C	-25 ⁰ C ... +70 ⁰ C



Резисторные измерители напряжений

Тензометры, устанавливаемые на палубе, должны быть защищены от заливания. На рис. представлен пример закрепления **LBSG** на судне. Слева показан защитный кожух.



Волоконно-оптические тензометры

Волоконно-оптические тензодатчики перед электрическими измерителями механических напряжений имеют следующие преимущества: **небольшие размеры, малый вес, высокое быстродействие, неподверженность коррозии, невосприимчивость к электромагнитным помехам.** Кроме того, одно волокно может содержать несколько тензометров. Волоконно-оптические устройства **не нуждаются, в громоздких защитных кожухах.** Они могут быть **прикреплены к поверхности материала, встроены в конструкции** и позволяют измерять растяжения, сжатия материалов, температуру, ударные нагрузки.



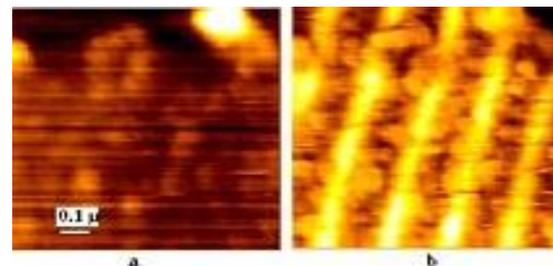
Волоконно-оптические тензометры

Датчики основанные на решетке Брэггов.

Волоконная брэгговская решетка (FBG – fiber Brag grating) представляет собой оптический элемент (наноструктуру), основанный на периодическом изменении показателя преломления сердцевины или оболочки волокна, который отражает свет определенной длины волны.

Она названа в честь Генри и Лоуренса Бреггов, которые установили, что периодические структуры (кристаллы) могут отражать волны определенной длины.

Если на сердцевину оптоволокна экспонировать интенсивное излучение ультрафиолетового лазера в точках, отстоящих друг от друга на 400 нм, можно сформировать периодическую структуру полос с чередующимися показателем преломления. **Волокно с продольной вариацией показателя преломления и называется Брегговской решеткой.**

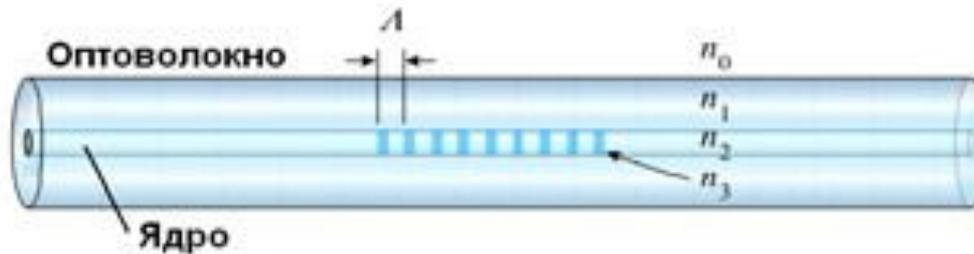


Волоконно-оптические тензометры

Датчики основанные на решетке Брэггов.

Каждая полоса решетки отражает малую часть излучения. Для длины волны в два раза большей, чем период решетки отраженные лучи складываются по фазе. В результате появляется отраженный световой сигнал с очень узкой спектральной полосой.

Отраженная решеткой длина волны называется Брегговской. Для всех остальных длин волн решетка прозрачна.

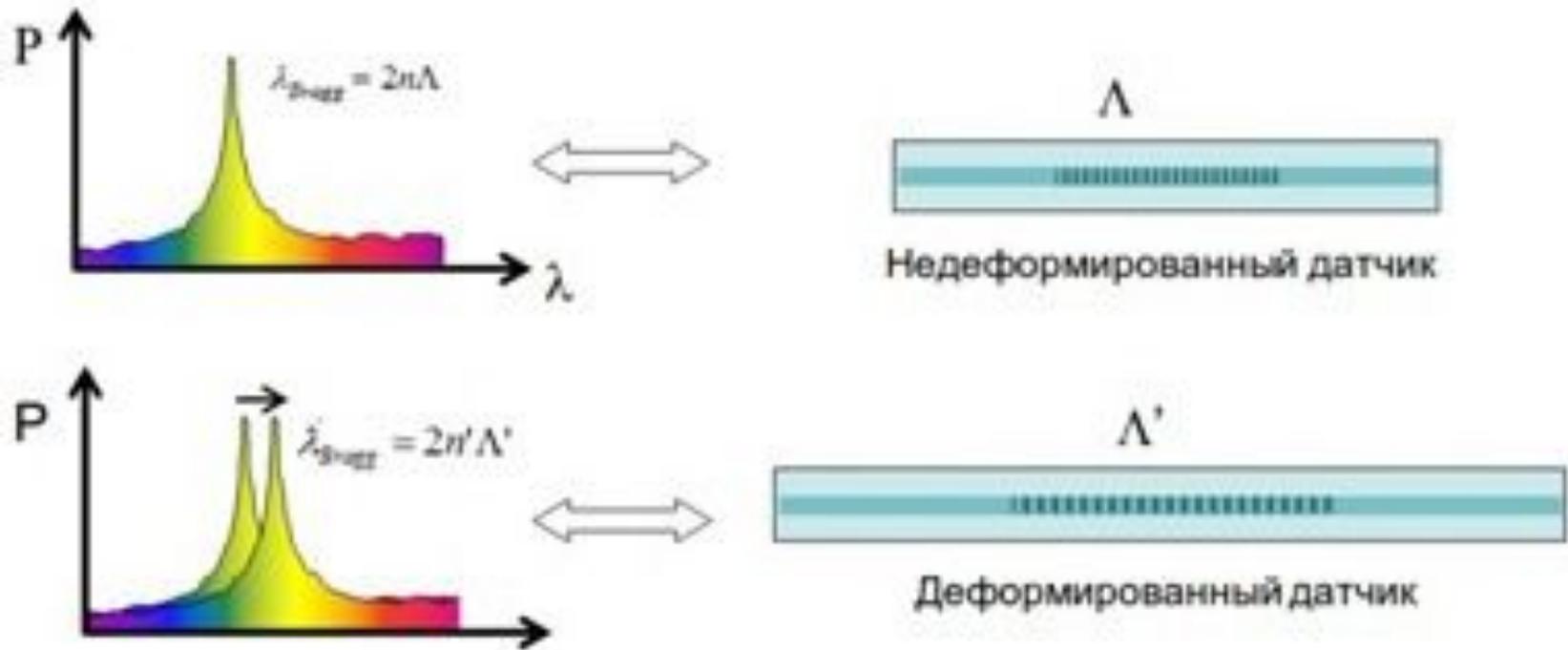


Брегговская длина волны определяется расстоянием между точками экспонирования и показателем преломления материала середины световода. Она зависит от температуры и натяжения волокна. При нагревании или изменении натяжения волокна показатель преломления и расстояние между элементами решетки изменяется, и от нее отражаются волны другой длины.

Волоконно-оптические тензометры

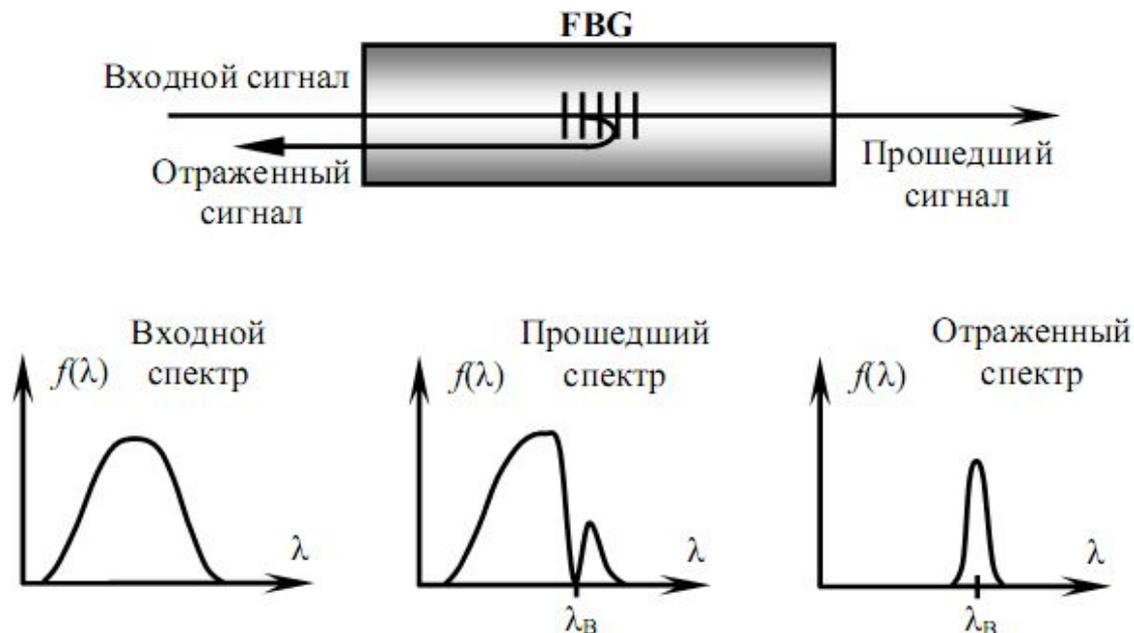
Датчики основанные на решетке Брэггов.

В данных волоконно-оптических датчиках измеряемой величине (температуре или механическому напряжению) соответствует смещение брегговской длины волны.



Волоконно-оптические тензометры

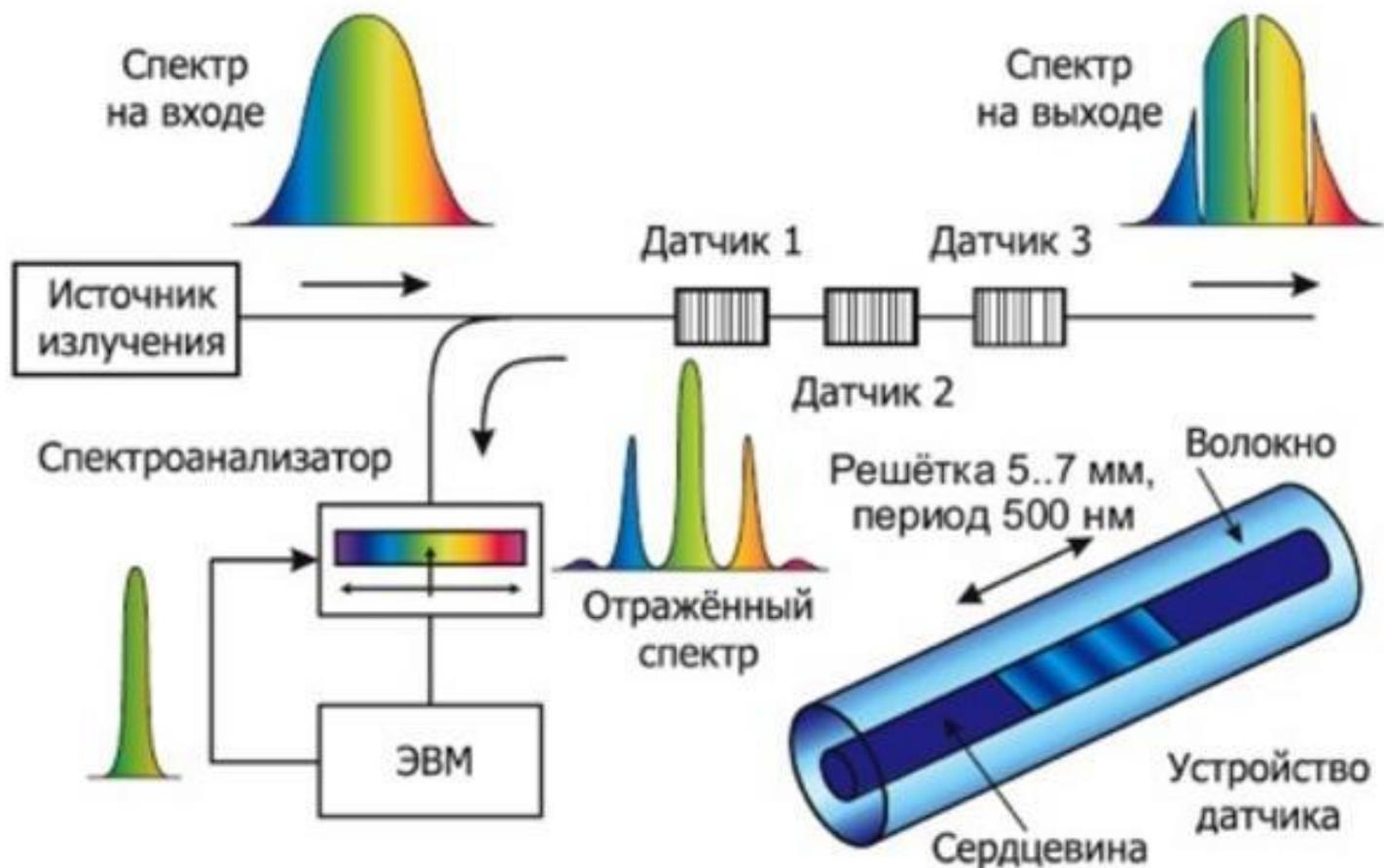
Данный датчик включает источник света (лазер), чувствительный элемент (решетку Брэггов), систему регистрации (спектрометр) и процессор. Система регистрации преобразует смещение длины волны, отраженной брэгговской решеткой, в электрический сигнал.



Использование длины волны света в качестве информационного параметра делает датчик нечувствительным к долговременным дрейфам параметров источника и приемника излучения, а также к случайным затуханиям оптической мощности в волокне.

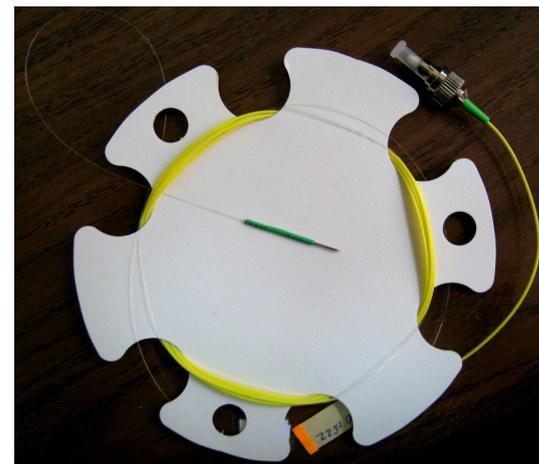
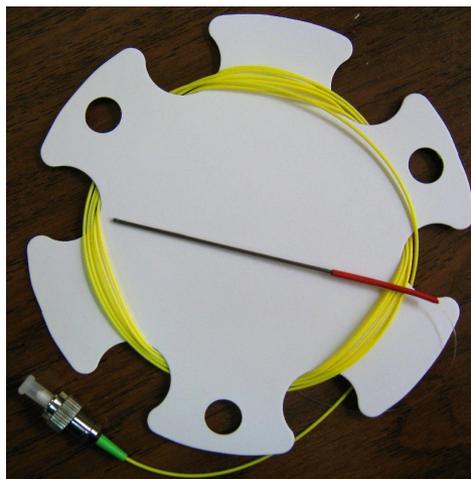
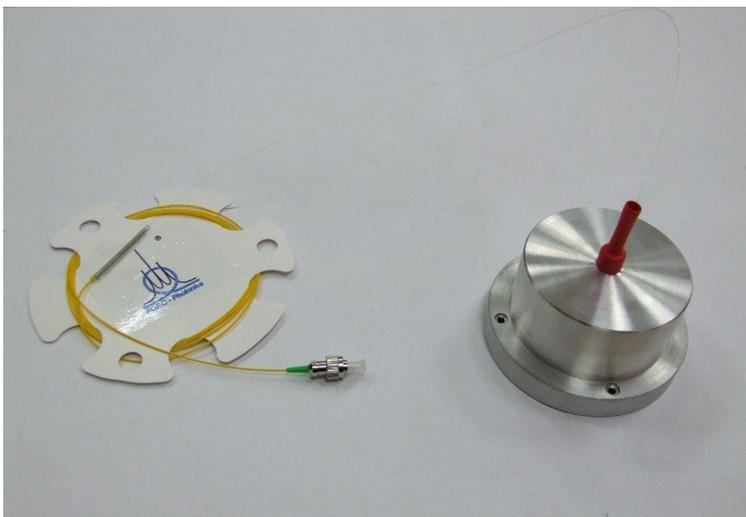
Волоконно-оптические тензометры

На одно волокно может быть нанесено множество решеток Брэггов, каждая из которых дает отклик на собственной длине волны. В этом случае вместо точечного датчика получается распределенная система регистрации с мультиплексированием по длине волны.



Волоконно-оптические тензометры

Волоконно-оптические датчики имеют малые размеры, высокую точность измерений (порядка 1-го микрострейна), очень большой срок работы, не требуют обслуживания.

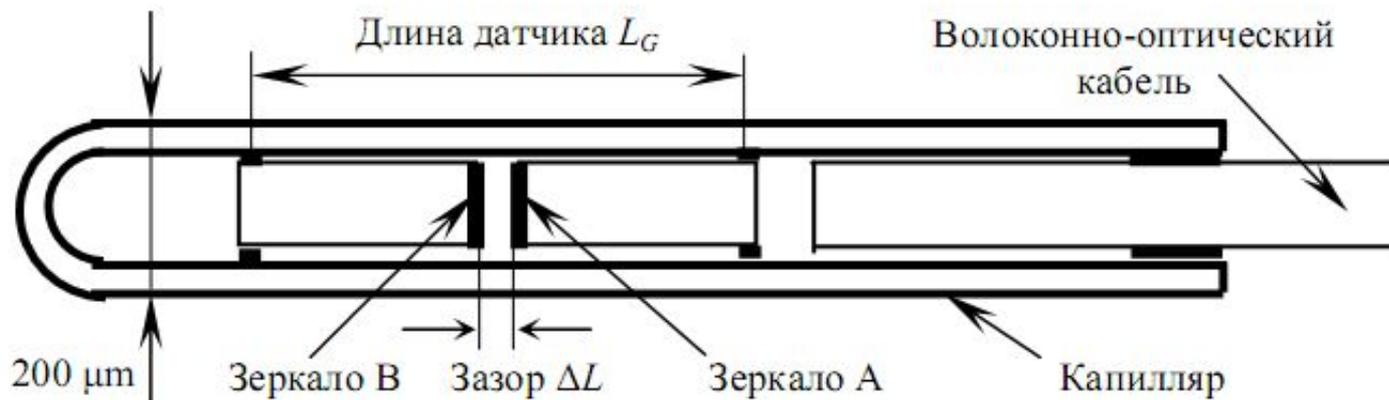


На судне они могут использоваться для мониторинга нагрузок в разных местах корпуса. Устанавливаемые на палубе датчики предназначены для регистрации нагрузок при общем продольном изгибе и кручении. Тензометры, закрепленные на конструкциях корпуса в форпике, служат источником данных о силе ударов волн и направлении, откуда они приходят. Тензодатчики в балластных танках могут измерять локальное давление воды на корпус в местах установки на днищевых конструкциях.

Волоконно-оптические тензометры

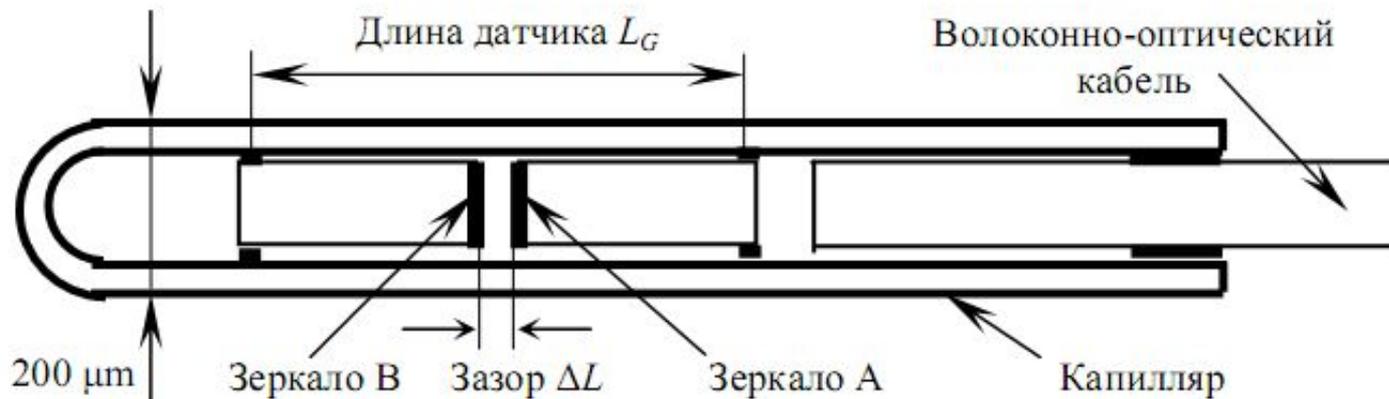
Датчики основанные на технологии Фэбри-Перота

В датчиках на основе технологии Фэбри-Перота вместо лазера используется источник белого света, а для получения результатов измерений применяется интерферометр.



Чувствительное устройство волоконно-оптического тензометра Фэбри-Перота включает два полупрозрачных зеркала А и В, которые закреплены на обращенных друг к другу концах двух отрезков волоконно-оптического кабеля. Эти отрезки волокна запаяны на внешних концах в специальном капилляре. Зазор между зеркалами называется длиной полости Фэбри-Перота. Расстояние между точками припайки отрезков волокна называется длиной датчика. Это расстояние определяет диапазон измерений и чувствительность прибора.

Волоконно-оптические тензометры



По оптическому кабелю подается белый свет. Часть его отражается от полупрозрачного зеркала А, а оставшаяся часть проходит на зеркало В и отражается от него. **Разность фаз отраженных от зеркал световых волн пропорциональна величине зазора между зеркалами.** Она измеряется интерферометром. Когда капилляр прикреплен к конструкции, то при ее сжатии или растяжении величина зазора между зеркалами меняется, что позволяет по показаниям датчика определить величину напряжения.

$$\varepsilon = \Delta L / L_G.$$

Преобразование оптического сигнала в электрический выполняется специальным интерферометром.