

#09, сентябрь 2015

УДК 681.2.084

Исследование и конструирование измерительного модуля струнного датчика

Маврин Е.М., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Информационные Системы и Телекоммуникации»*

Научный руководитель: Буцев А.А., доцент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Элементы приборных устройств»*

bauman@bmstu.ru

Описание датчика

Струнный датчик силы разработан для мониторинга состояния скважин, насыпей, трубопроводов, колодцев, шахт, туннелей, фундаментов и дорожных конструкций. Показаниями датчика является частота колебания струны датчика. Максимальная нагрузка на датчик составляет 400 кН.

Принцип работы и устройство датчика

Струнный датчик – датчик, основанный на принципе зависимости частоты колебаний струны от степени ее натяжения посредством внешней силы. Частота колебаний струны пропорциональна силе, воздействующей на датчик. Сами же колебания возникают благодаря возбудителю и считывателю колебаний (далее – ВСК). Также ВСК преобразует частоту колебаний струны в электрический сигнал, который впоследствии усиливается и обрабатывается.

На рисунке 1 представлена схема струнного датчика. Параллельно упругому элементу (2) в виде балки круглого сечения из нержавеющей и немагнитной стали закреплена четырьмя винтами из титана струна прямоугольного сечения (1), сделанная из вольфрама. Эту конструкцию защищает корпус (3) из нержавеющей стали с лыской для установки ВСК и элементами для уменьшения влияния жесткости корпуса на показания датчика. На краях установлены бобышки(4) из нержавеющей стали для закрепления датчика. Корпус и бобышки привариваются непосредственно к упругому элементу.

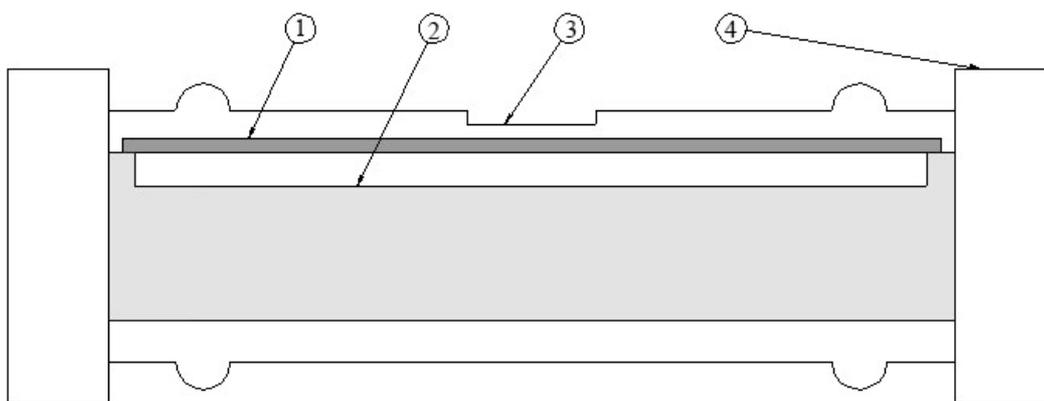


Рис. 1. Схема струнного датчика

Расчет элементов датчика

Упругий элемент изготовлен из стали AISI1020. Характеристики материала представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики стали AISI1020

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	2×10^{11}	Н/м ²
Коэффициент Пуассона	0.29	Неприемлемо
Модуль сдвига	7.7×10^{10}	Н/м ²
Массовая плотность	7900	кг/м ³
Предел прочности при растяжении	420507000	Н/м ²
Предел текучести	351571000	Н/м ²
Коэффициент теплового расширения	150000	1/К
Удельная теплоемкость	420	Дж/(кг*К)

Размеры стержня меняются в зависимости от величины приложенной силы. Если до нагружения стержня его длинна была l , то после нагружения она станет равной $l + \Delta l$. Величину Δl называют абсолютным удлинением стержня. Будем считать, что Δl связано только с напряжением, возникающим в стержне, и не превосходит 1 мм.



Рис. 2. Нагруженный упругий элемент

Нагрузим стержень только силой P . На рисунке 2 представлена симуляция нагрузки в САПР Solidworks. Мы видим, что напряженное состояние является однородным и все участки растянутого стержня находятся в одинаковых условиях. Деформация ε по оси стержня остается одной и той же, равной своему среднему значению по l :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}. \quad (1)$$

В пределах малых удлинений для подавляющего большинства материалов справедлив закон Гука:

$$\delta = E \times \varepsilon, \quad (2)$$

где E – модуль упругости первого рода, а δ – нормальное напряжение в поперечном сечении, которое равно:

$$\delta = P \times S. \quad (3)$$

Так как мы будем рассчитывать балку круглого сечения, то площадь S будет равна:

$$S = \pi \times R^2 \quad (4)$$

Из формул (1) – (4) получаем, что абсолютное удлинение стержня равно:

$$\Delta l = \frac{l \times P}{E \times \pi \times R^2} \quad (5)$$

Исходя из уравнения (4) и исходных данных получаем параметры l и R : $l = 100$ мм, $R = 12$ мм. При этом получаем, что абсолютное удлинение стержня не превышает 5 мм. Теоретические расчеты подтверждают исследования в САПР Solidworks, представленные на рисунках 3 и 4.

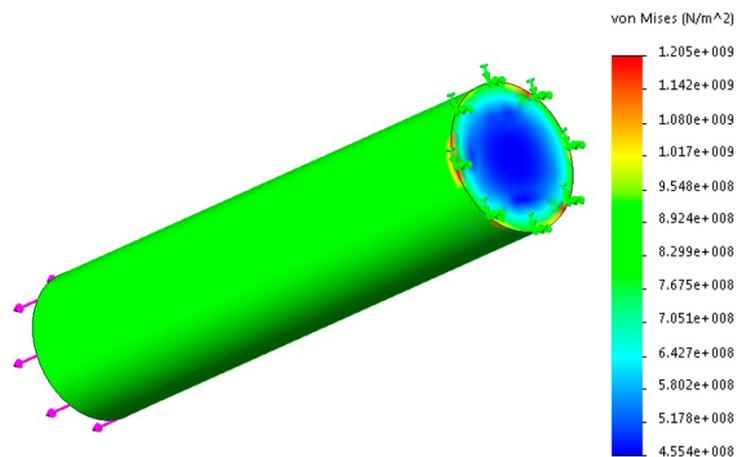


Рис. 3. Статический анализ узлового напряжения балки

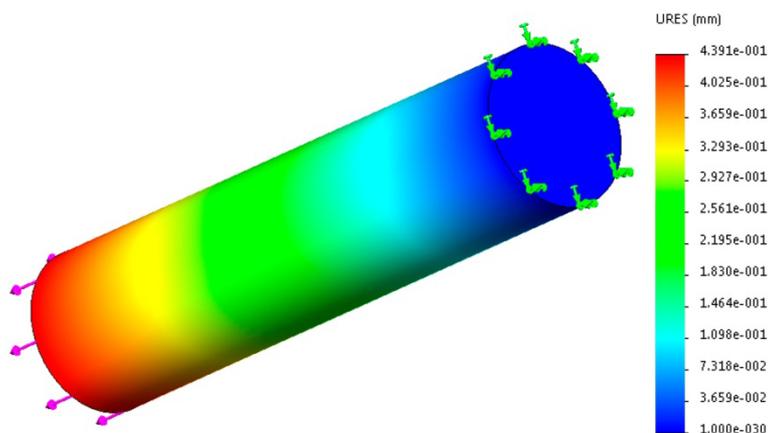


Рис. 4. Статическое перемещение балки

Струна датчика изготовлена из вольфрама. Характеристики материала представлены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристики вольфрама

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	1.24×10^{11}	Н/м ²
Коэффициент Пуассона	0.28	Неприемлемо
Модуль сдвига	1.6×10^{11}	Н/м ²
Массовая плотность	19000	кг/м ³
Предел прочности при растяжении	31×10^7	Н/м ²
Коэффициент теплового расширения	4500000	1/К
Удельная теплоемкость	130	Дж/(кг*К)

Расчет струны также производим по закону Гука, но, в отличие от предыдущих расчетов, площадь струны будет находиться по следующей формуле:

$$S = a \times b. \quad (4)$$

Это связано с тем, что струна имеет прямоугольное сечение, что упрощает закрепление к балке. В формуле (4) a и b – ширина и толщина струны соответственно.

Нам уже известно, что абсолютное удлинение упругого элемента не превосходит 5 мм. Так как струна присоединена к балке параллельно, то абсолютное удлинение струны также меньше 5 мм.

Воспользовавшись формулами (1) – (3) и (6), найдем ширину струны и её толщину: $a = 2$ мм, $b = 0.5$ мм. Теоретические расчеты подтверждают исследования в САПР Solidworks, представленные на рисунках 5 и 6. В расчетах участвует модернизированная балка, с дополнительными элементами для крепления струны, корпуса и бобышек.

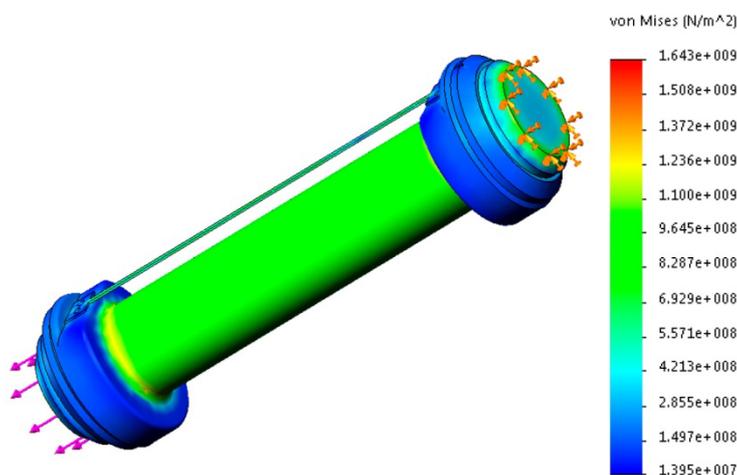


Рис. 5. Статический анализ узлового напряжения балки и струны

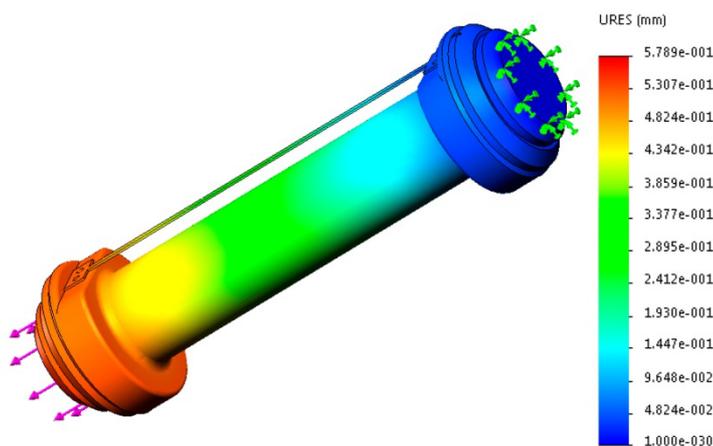


Рис. 6. Статическое перемещение балки и струны

Корпус и бобышки изготовлены из металла AISI316. Характеристики материала представлены в таблице 3.

Таблица 3

Характеристики стали AISI316

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	2×10^{11}	Н/м ²
Коэффициент Пуассона	0.27	Неприемлемо
Предел прочности при растяжении	580000000	Н/м ²
Предел текучести	17236893	Н/м ²
Коэффициент теплового расширения	160000	1/К
Массовая плотность	8000	кг/м ³

Расчет собранного датчика производился в САПР Solidworks. Расчеты всего датчика представлены на рисунках 7 и 8.

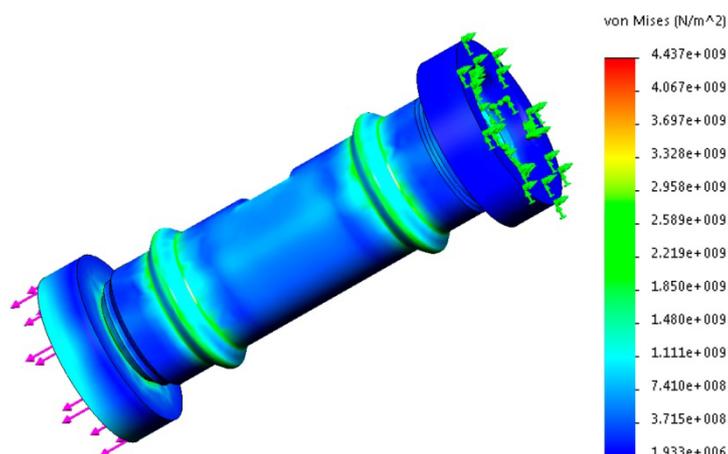


Рис. 7. Статический анализ узлового напряжения струнного датчика

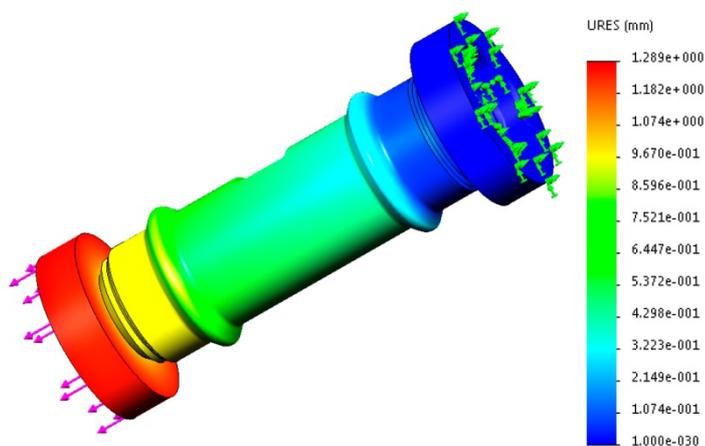


Рис. 8. Статическое перемещение струнного датчика

Выходная характеристика

Частота колебания струны пропорциональна напряжению, возникающему посредством внешней силы. На рисунке 9 представлен график зависимости частоты колебания струны от силы, действующей непосредственно на струну, то есть после преобразования внешней силы упругим элементом. График построен по следующей функции:

$$f = \frac{1}{2 \times l} \times \sqrt{\frac{F}{\rho \times S}}, \quad (7)$$

где f – частота колебаний, l – длина струны, F – сила натяжения струны, ρ – плотность материала струны, S – площадь поперечного сечения струны.

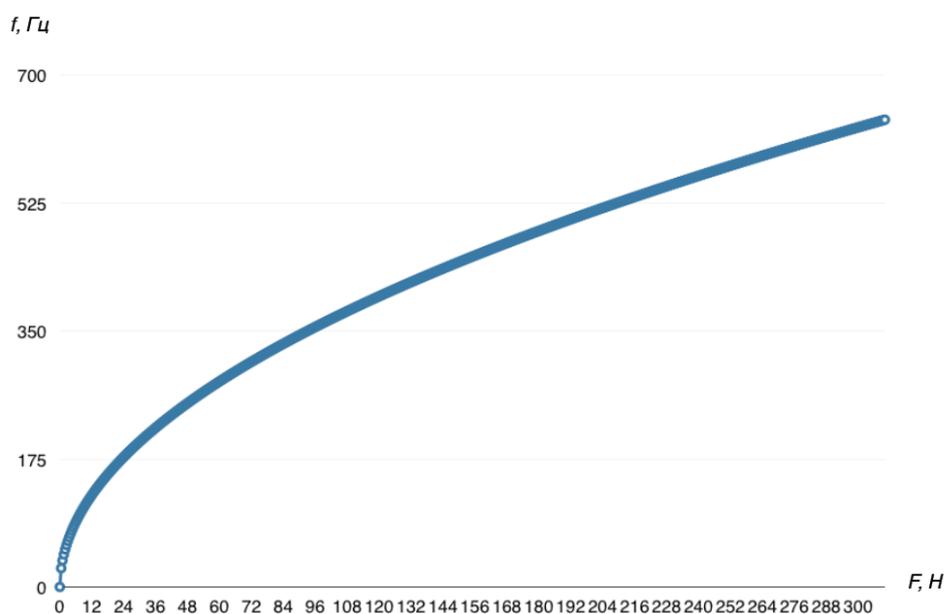


Рис. 9. График зависимости частоты колебания струны от силы, действующей на струну

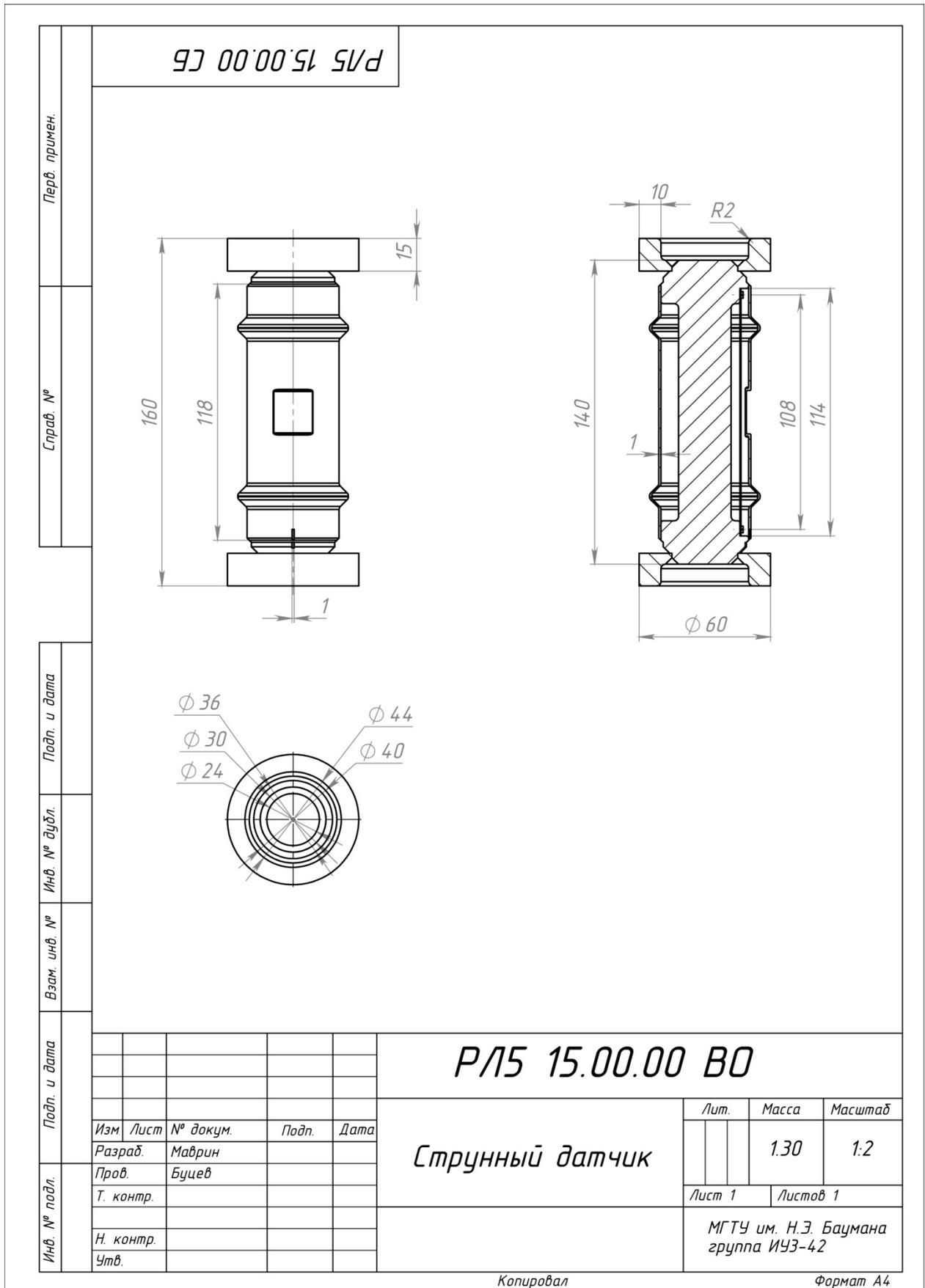
Вывод

По результатам расчетов был сконструирован, вычерчен и протестирован с помощью программного комплекса САПР Solidworks струнный датчик силы. На чертежах представлена сборка струнного датчика. Датчик полностью удовлетворяет начальным требованиям.

Список литературы

1. Пономарев С.Д., Андреева Л.Е. Расчет упругих элементов машин и приборов. М.: Машиностроение, 1980. 326 с.

2. Потапцев И.С., Нарыкова Н.И., Перминова Е.А., Буцев А.А. Разработка конструкторской документации при курсовом проектировании. В 2 ч. Ч. 1. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. 78 с.
3. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: учебник для вузов. 10-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. 592 с.



Копировал

Формат А4