

УДК 621.317.799

**Разработка тензометрического датчика силы
с оптимизированной конструкцией**

М. В. Белов

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
г. Москва, Россия,
e-mail: mksmbel@yandex.ru*

**Development of a strain gauge force sensor
with an optimized design**

M. V. Belov

*National Research University «MIET»,
Moscow, Russia
e-mail: mksmbel@yandex.ru*

Аннотация: В статье представлен анализ тензометрического датчика силы с оптимизированной конструкцией. В работе выполнено моделирование и теоретические расчеты, направленные на повышение точности измерений. Проведен патентный поиск для оценки уровня технической конкуренции. Результаты позволяют сделать вывод о перспективности разработанной конструкции.

Ключевые слова: конструктив, мониторинг, деформация, датчик

Abstract: The article presents an analysis of a strain gauge force sensor with an optimized design. The work includes modeling and theoretical calculations aimed at improving the accuracy of measurements. A patent search was conducted to assess the level of technical competition. The results allow us to conclude that the developed design is promising.

Keywords: construct, monitoring, deformation, sensor

Тензометрический датчик силы - устройство, которое под воздействием приложенной силы подвергается линейной деформации. На соответствующих местах этого тела приклеены чувствительные

элементы - тензометры. Тензометр, представляет собой резистивный элемент, электрическое сопротивление которого изменяется в результате механической деформации.

Существует несколько типов конструкций тензометрических датчиков:

1. Консольные тензодатчики: предназначены для использования в весах и при взвешивании контейнеров.

2. Цилиндрические тензодатчики: применяются в вагонных, бункерных и автомобильных весах, способны измерять массы до 100 тонн.

3. Мембранные тензодатчики: используются в системах контроля и высокоточных измерительных устройствах, обеспечивая чувствительность к небольшим деформациям.

4. S-образные тензодатчики: идеально подходят для измерения поднимаемых грузов, обеспечивая высокую точность и стабильность.

5. Колонные тензодатчики: устанавливаются в оборудовании с большой массой, что позволяет эффективно измерять большие нагрузки.

Анализ конструкций тензометрических датчиков силы, а также патентный поиск показали следующие недостатки:

1. Вибрационные помехи – в патентах US 10,345,678 B2 (2021) и RU 2756894 C1 (2022) отмечается, что механические колебания приводят к искажению сигнала на 5–15% [1, 2].

2. Ограниченный диапазон деформаций – конструкции с жестким корпусом (патент CN 110823435 A, 2019) обеспечивают точность только при малых деформациях (<0.5%) [3].

3. Высокая стоимость прецизионных компонентов – в патенте JP 2020-125678 (2020) подчеркивается необходимость использования дорогостоящих материалов (например, кремниевых тензорезисторов) для достижения погрешности <0.1% [4].

Для устранения указанных недостатков необходимо разработать новую конструкцию, которая будет обладать следующими ключевыми характеристиками и преимуществами:

1. Вибрационная устойчивость – позволит обеспечить надежность конструкции, долговечность электрических соединений на печатной плате, и самое главное – точность измерений.

2. Простота установки – позволит обеспечить легкость закрепления тензометрического датчика, воспроизводимость результатов

3. Конструкция должна обеспечивать высокую прочность и пластичность для защиты от механических повреждений. Кроме этого

необходимо предусмотреть наличие двух и более диапазонов деформации.

На основе ранее изложенных требований был разработан тензометрический датчик силы с оптимизированной конструкцией.

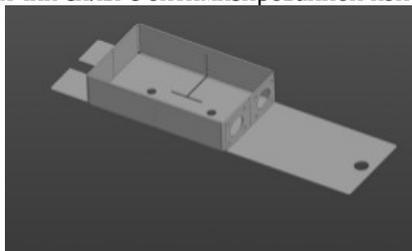


Рис. 1. Корпус тензометрического датчика силы

Корпус устройства спроектирован с учетом требований к миниатюризации и снижению массо-габаритных характеристик. Также для повышения точности измерений были спроектированы переходные монтажные пластины

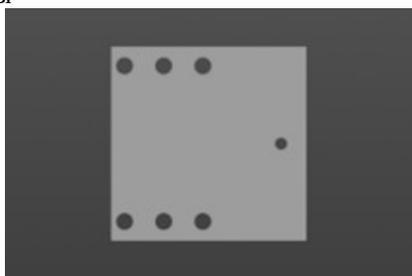


Рис. 2. Переходная монтажная пластина

Выбор способа закрепления влияет на величину упругой деформации. В САПР SolidWorks. Получены следующие результаты:

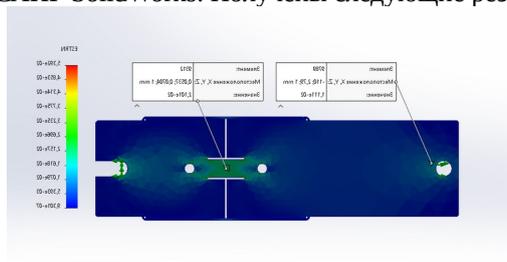


Рис. 3. Закрепление без монтажных пластин

Наибольшая величина деформации достигается именно в этом случае закрепления.

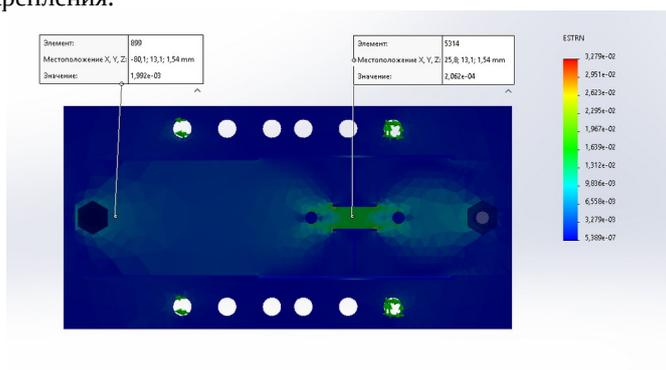


Рис. 4. Закрепление в крайних отверстиях монтажных пластин
Деформация стала в два раза меньше, чем на Рис.3.

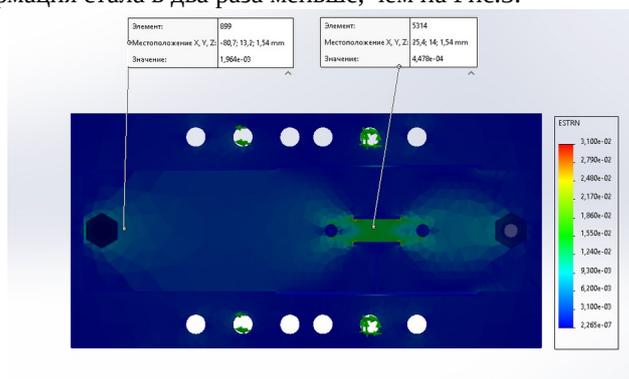


Рис. 5. Закрепление в центральных отверстиях монтажных пластин
Деформация стала в два раза меньше, чем на Рис.4.

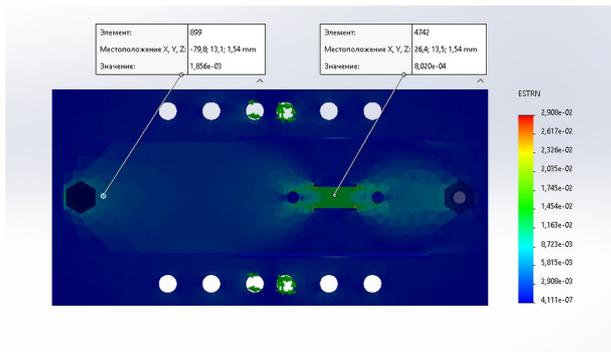


Рис. 6. Закрепление в ближних отверстиях монтажных пластин
Деформация стала более чем в пять раз меньше, чем на Рис.3.

Для подтверждения результатов моделирования были проведены теоретические расчёты на допустимое изменение длины чувствительной части датчика.

Таблица 1

Исходные данные

Максимальная деформация	ϵ	2000	мкм/м
Модуль Юнга(сталь 45)	E	200	Гпа
длина тензодатчика	L	2,33	8 571

Расчет граничного напряжения:

$$\delta = E \cdot \epsilon = 200 \cdot 10^9 \cdot 0,002 = 400 \text{ Мпа} \quad (1)$$

Допустимое изменение длины:

$$\Delta L = L_0 \cdot \epsilon = 0,174 \cdot 0,002 = 348 \text{ мкм/м} \quad (2)$$

Соотношение между деформациями:

$$\epsilon_2 = k \cdot 2L_1 = 2k \cdot L_1 = 2\epsilon_1 \quad (3)$$

Таким образом, если одна пластина в два раза длиннее другой, то при одинаковой нагрузке деформация длинной пластины будет в два раза больше, чем у короткой. Именно благодаря этому мы получили следующие диапазоны деформаций: 300, 600, 1100 и 1600 мкм/м. в зависимости от способа закрепления.

Практическая значимость данной работы состоит в решении актуальных задач, связанных с точным исследованием, контролем и мониторингом состояния несущих конструкций. Разработанный датчик сможет быть интегрирован в существующие системы автоматизированного мониторинга, что обеспечит возможность непрерывного отслеживания состояния конструкций в реальном времени. Это, в свою очередь, позволит не только своевременно выявлять потенциальные дефекты, но и оптимизировать процессы эксплуатации и обслуживания зданий и сооружений.

Библиографический список

1. Honeywell International Inc. Механизм для повышения вибрационной устойчивости нагрузочной ячейки / М. Дж. Маккарти, Дж. Р. Макгиннис. — США, патент № 10,345,678 В2, 2021.
2. Иванов А.А., Петров В.В. / Датчик силы с демпфирующим элементом / патент РФ № 2756894 С1. — 2022..
3. Li Wei, Zhang Ming. / Высоко жёсткий тензорезистивный датчик / патент CN 110823435 А. — 2019.
4. Murata Manufacturing Co., Ltd. / Low-cost precision strain gauge / patent JP 2020-125678. — Japan, 2020.