

ПОДАТЛИВОСТЬ КРУГОВОГО КОНСОЛЬНОГО БРУСА**Муллин Б.С.,** *зр. МШ-411**Научный руководитель – Жданов А.А., к.т.н., доцент,
(кафедра Машиностроения, ОГАСА)*

Аннотация. Упругий элемент датчика давления сыпучих материалов в виде симметрично размещенных по окружности $n \geq 3$ одинаковых консольных брусьев, упруго соединяющих корпус датчика с воспринимающей давление сыпучего материала площадкой датчика использован в [1]. Такая конструкция датчика позволяет при одинаковых габаритах выполнять регулировку чувствительности датчика изменением длины деформируемой части упругого элемента (УЭ) датчика угловым смещением сечения передачи нагрузки на УЭ от воспринимающей площадки. В данной работе получены конечные формулы для вычисления податливости УЭ, используя которые можно регулировать чувствительность датчика и таким образом обеспечивать равнозначность измерения давления сыпучего материала на ограждающие конструкции хранилищ сыпучих материалов, на подпорные стенки, что важно, особенно для исследований на моделях.

Актуальность. Наличие методик расчета УЭ датчиков давления сыпучих материалов позволяет обоснованно назначать параметры датчиков. В настоящее время отсутствуют руководящие материалы по расчету УЭ датчиков с регулируемой податливостью. Выполненное исследование ликвидирует отмеченный пробел.

Основной текст. В датчике [1] каждый из круговых $n \geq 3$ консольных брусьев одним концом жестко соединен с корпусом датчика, а другим концом также жестко соединен с воспринимающей площадкой датчика, при этом место соединения с воспринимающей площадкой датчика можно в процессе регулировки чувствительности изменять. Расчетная схема УЭ выбрана в виде части плоского кругового бруса, жестко защемленного с обоих концов (рис. 1). При этом одно концевое сечение «В» неподвижно, а другое – «А» нагружено силой P , направленной перпендикулярно плоскости бруса, и не имеет возможности поворота относительно оси симметрии поперечного сечения бруса z и оси бруса x , но имеет возможность поступательного смещения вдоль оси y (рис. 1 а, б). Размеры УЭ (рис. 1 а) реальных датчиков давления, использованных в [2],

позволяют в расчетах пренебречь деформациями сдвига и учесть только деформации изгиба и кручения. Для расчета податливости УЭ

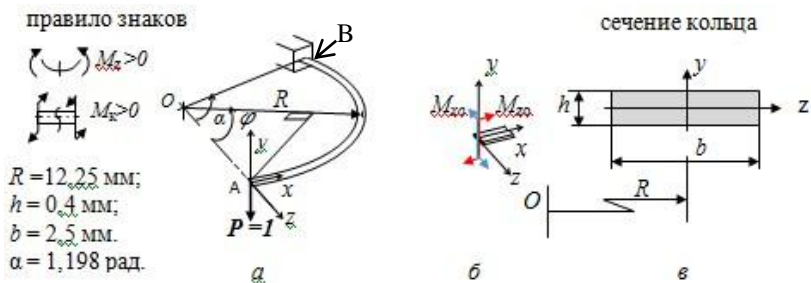


Рис. 1. Расчетная схема кольцевого упругого элемента датчика

датчика последовательно реализуем следующие процедуры:

1. Определение линейного и угловых перемещений не закрепленного от поворотов и кручения сечения «А», вызванных силой P , действующей перпендикулярно к плоскости УЭ (рис. 1 а).
2. Определение величин моментов M_{z0} и M_{x0} , приложенных к УЭ в сечении «А» и компенсирующих угловые перемещения сечения «А» от действия силы P (рис. 1 б).
3. Определение линейного перемещения сечения «А» по направлению действия силы P от действия найденных в п.2 моментов M_{z0} и M_{x0} .
4. Определение податливости датчика как суммарного перемещения сечения «А» УЭ от действия силы P и моментов M_{z0} и M_{x0} .

Выполняя последовательно процедуры 1-4, получим.

1. Определим искомое перемещение Δ_A , как произведение силы P на удельное перемещение δ_{11} , которое найдем, вычислив интеграл Максвелла-Мора:

$$\Delta_A = P \cdot \delta_{11} = P \cdot \left\{ \int_0^\alpha \frac{M_{z1}(\varphi) \cdot M_{z1}(\varphi) R d\varphi}{E J_z} + \int_0^\alpha \frac{M_{k1}(\varphi) \cdot M_{k1}(\varphi) R d\varphi}{G J_k} \right\} =$$

$$= \frac{P \cdot R^3}{E J_z} \cdot \int_0^\alpha \sin^2 \varphi d\varphi + \frac{P \cdot R^3}{G J_k} \cdot \int_0^\alpha (1 - \cos \varphi)^2 d\varphi. \quad (1)$$

Графики функций $M_{z1}(\varphi)$ и $M_{k1}(\varphi)$ в (1) приведены на рис. 2.

Проинтегрировав (1), получим

$$\Delta_A(\varphi) = \frac{P \cdot R^3}{E J_z} \left(\frac{\varphi}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\varphi \right)_0^{1,198} + \frac{P \cdot R^3}{G J_k} \left(\varphi - 2 \sin \varphi + \frac{\varphi}{2} + \frac{1}{4} \sin 2\varphi \right)_0^{1,198} \quad (2)$$

где R – радиус оси УЭ; E – модуль Юнга материала УЭ; J_z – осевой момент инерции поперечного сечения УЭ; φ – угловая координата

деформируемой части УЭ; G – модуль сдвига материала УЭ; J_k –

момент инерции при кручении поперечного сечения УЭ; 1,198 – радианная мера полной длины деформируемой части УЭ датчика.

Первое слагаемое в (2) определяет вклад в перемещение сечения «А» деформации изгиба, а второе – деформации кручения УЭ.

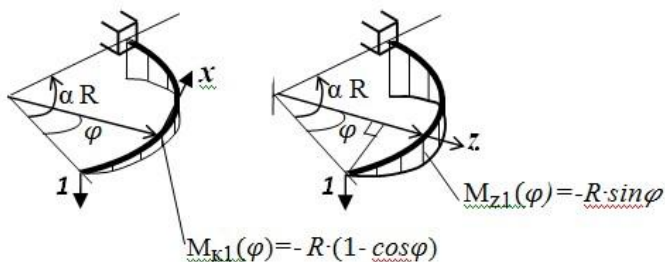


Рис. 2. Графики функций единичных моментов $M_{z1}(\varphi)$ и $M_{k1}(\varphi)$

На рис. 3 приведен график изменения податливости датчика с параметрами УЭ, приведенными на рис. 1 и с возможностью поворотов нагруженного силой $P = 1\text{ Н}$ сечения «А» относительно осей z и x .

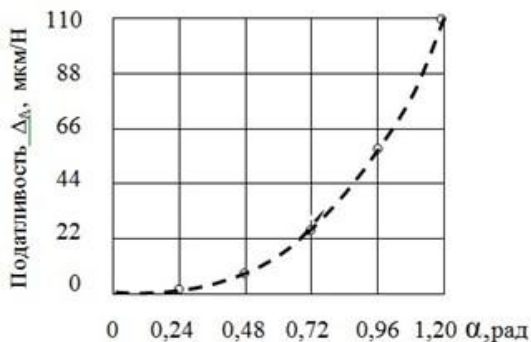


Рис. 3. Податливость датчика в зависимости от длины деформируемой части упругого элемента α

С увеличением длины деформируемой части УЭ податливость возрастает нелинейно, при этом вклад деформации изгиба является определяющим, вклад же деформации кручения является добавкой, составляющей до 15% от значения максимальной податливости, что подтверждает необходимость учета в расчетах податливости датчика и деформации кручения УЭ.

Под действием силы P сечение «А» поворачивается относительно осей z и x . Реальное соединение УЭ с воспринимающей площадкой датчика исключает эти повороты и в сечении «А» УЭ возникнут изгибающий момент относительно оси z и скручивающий момент относительно оси x , существенно уменьшающие величину податливости датчика.

2. Угол закручивания ϑ_{x0P} сечения «А» от действия силы P найдем из интеграла Максвелла-Мора:

$$\begin{aligned}\vartheta_{x0P} &= \int_0^\alpha \frac{M_{zP}(\varphi) \cdot M_{zx01}(\varphi) R d\varphi}{EJ_z} + \int_0^\alpha \frac{M_{кP}(\varphi) \cdot M_{кx01}(\varphi) R d\varphi}{GJ_k} = \\ &= \frac{P \cdot R^2}{EJ_z} \int_0^\alpha \sin^2 \varphi d\varphi - \frac{P \cdot R^2}{GJ_k} \int_0^\alpha (1 - \cos \varphi) \cos \varphi d\varphi = \\ &= \frac{P \cdot R^2}{EJ_z} \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\alpha \right) + \frac{P \cdot R^2}{GJ_k} \left(\frac{\alpha}{2} - \sin \alpha + \frac{1}{4} \sin 2\alpha \right).\end{aligned}\quad (3)$$

Под действием силы P сечение «А» УЭ поворачивается по часовой стрелке, а момент M_{x0} , препятствующий этому повороту, направлен в противоположную сторону.

Угол поворота сечения «А» ϑ_{z0P} от действия силы P определим из выражения:

$$\begin{aligned}\vartheta_{z0P} &= \int_0^\alpha \frac{M_{zP}(\varphi) \cdot M_{zz01}(\varphi) R d\varphi}{EJ_z} + \int_0^\alpha \frac{M_{кP}(\varphi) \cdot M_{кz01}(\varphi) R d\varphi}{GJ_k} = \\ &= -\frac{P \cdot R^2}{EJ_z} \int_0^\alpha \sin \varphi \cos \varphi d\varphi - \frac{P \cdot R^2}{GJ_k} \int_0^\alpha (1 - \cos \varphi) \sin \varphi d\varphi = \\ &= \frac{P \cdot R^2}{EJ_z} \frac{1}{4} \cos 2\varphi \Big|_0^\alpha + \frac{P \cdot R^2}{GJ_k} \left(\cos \varphi - \frac{1}{4} \cos 2\varphi \right) \Big|_0^\alpha.\end{aligned}\quad (4)$$

Функции единичных моментов $M_{x01}(\varphi)$ и M_{z01} в произвольном сечении с координатой φ в выражениях (3) и (4) определены как проекции векторов соответствующих единичных моментов на оси x , z и имеют вид

$$M_{zx01}(\varphi) = 1 \cdot \sin \varphi, \quad M_{кz01}(\varphi) = 1 \cdot \cos \varphi - \text{ в выражении (3),}$$

$$M_{zz01}(\varphi) = 1 \cdot \cos \varphi, \quad M_{кz01}(\varphi) = 1 \cdot \sin \varphi - \text{ в выражении (4).}$$

3.4. Определив аналогично выше изложенному углы закручивания и поворота сечения «А» от действия моментов M_{x0} и M_{z0} , из равенства нулю суммы соответствующих углов поворота от силы P и моментов M_{x0} и M_{z0} , находим величины этих моментов, и далее определяем результирующее перемещение сечения «А» как суммарное от действие силы P и моментов M_{x0} и M_{z0} . Это и будет искомое значение податливости датчика. Опустив промежуточные выкладки, окончательную формулу для вычисления податливости УЭ датчика получим в виде:

$$\begin{aligned} \Delta_A = & P \cdot R^3 \left(\frac{\frac{\alpha}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\alpha}{EJ_z} + \frac{1,5\alpha - 2\sin\alpha + \frac{1}{4} \sin 2\alpha}{GJ_\kappa} \right) + \\ & + M_{x0} \cdot R^2 \cdot \left(\frac{-\frac{\alpha}{2} + \frac{1}{4} \sin 2\alpha}{EJ_z} + \frac{\sin\alpha - \frac{\alpha}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\alpha}{GJ_\kappa} \right) + \\ & + M_{z0} \cdot R^2 \cdot \left(\frac{\frac{1}{4}(\cos 2\alpha - 1)}{EJ_z} + \frac{\cos\alpha - \frac{3}{4} - \frac{1}{4} \cos 2\alpha}{GJ_\kappa} \right). \end{aligned} \quad (5)$$

Варьируя в (5) угол α в пределах от нуля до 1,198 рад. можно построить график податливости датчика давления сыпучих материалов, по которому можно подобрать оптимальную податливость, обеспечивающую требуемую точность измерения давления сыпучего материала.

Выводы и результаты:

1. Выполнен анализ работы упругого элемента датчика давления сыпучих материалов в виде части кольцевого бруса, жестко защемленного по концам, при этом один конец неподвижен, а другой имеет возможность перемещаться из плоскости кольцевого УЭ датчика. Установлено, что определяющий вклад в перемещение воспринимающей давление сыпучего материала площадки датчика вносят изгибные деформации и деформации кручения УЭ датчика.

2. Получены расчетные формулы, по которым достаточно просто вычислять податливость датчика в функции угла передачи нагрузки от давления сыпучего материала на упругий элемент и, таким образом, настраивать датчик на оптимальную податливость.

3. Датчик с регулируемой податливостью позволяет обходиться одним типоразмером УЭ датчика для измерения переменных давлений сыпучего материала, что упрощает и удешевляет проведение исследования давления сыпучих материалов, в частности, на стенки моделей хранилищ сыпучих материалов.

Литература:

1. Патент на винахід 18327 Україна, МПК 5 G01L7/02. Датчик тиску сипучих матеріалів. Жданов О.О.; заявник і власник патенту Жданов О.О. № 4693384/SU; заявл. 19.05.89; опубл. 25.12.97. Бюл. №6.

2. Жданов А.А., Никуляк А.И., Бойко В.П. Давление зернистого сыпучего материала на стены многоволновых зернохранилищ. Современные технологии перерабатывающих предприятий. 1991. С. 101-105.