

УДК.:624.078

СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ТРМЭ

ОРМОНБЕКОВ Т.О., БЕГАЛИЕВ У.Т.

acort@rambler.ru;

begaliev@istc.kg

1 – Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Кыргызская Республика, г. Бишкек

2 – Международный университет инновационных технологий, Кыргызская Республика, г. Бишкек

ORMONBEKOV T.O., BEGALIEV U.T.

acort@rambler.ru;

begaliev@istc.kg

1 – Kyrgyz State Technical University named by I. Razzakov, Kyrgyz Republic, Bishkek,;

2 – International University for Innovation Technologies, Kyrgyz Republic, Bishkek

Рассмотрены разные геометрические формы тонкослойных резинометаллических элементов. Определены основные параметры элементов, их соотношения, зависимости и формулы их расчета.

Для сейсмоизоляции сооружений предлагаем тонкослойные резинометаллические элементы (ТРМЭ) – устройства, распределяющие горизонтальную нагрузку на все опоры и обеспечивающие более надежную защиту мостов, зданий и сооружений при сейсмическом колебании.

В отличие от жесткого крепления опор сооружения, ТРМЭ снижают вибрацию при землетрясении путем повышения циклического периода колебаний сооружения (рис.1).

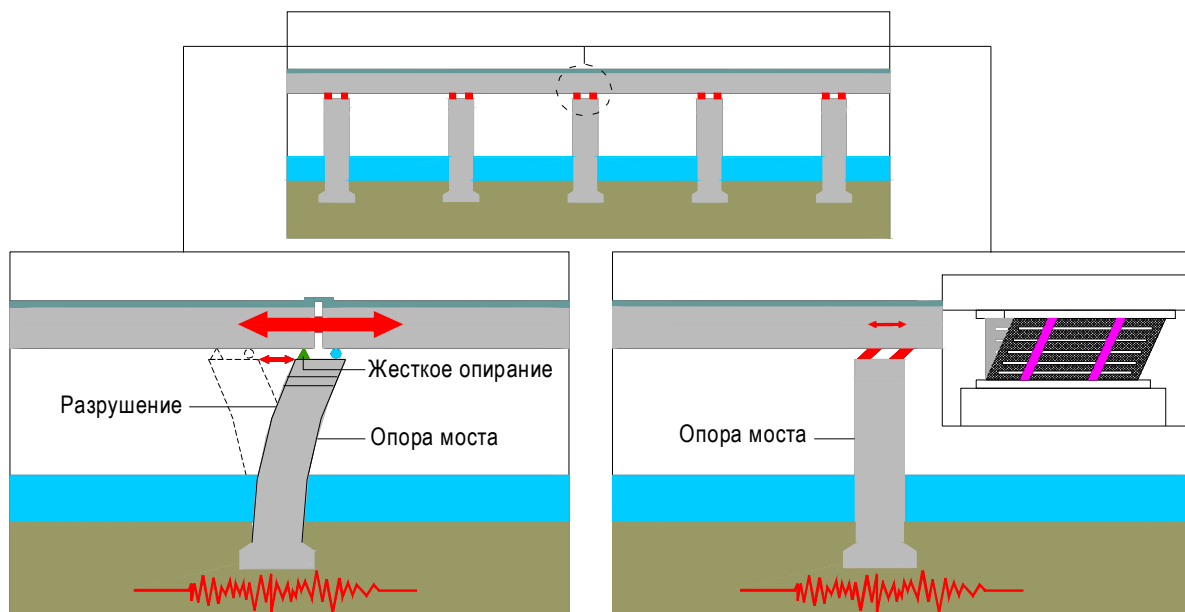


Рис.1 Схема поведения обычного моста и системой сейсмоизоляции

Для одновременного сокращения вибрации и шума, передаваемого от транспорта, и для повышении комфорта при вождении возросла актуальность нового

метода строительства. При бесстыковом методе строительства обычные прогоны мостов стыкуются вместе для образования многопролетного сооружения. ТРМЭ поглощают колебания опор за счет термического растяжения, распределяют и понижают силы, действующие на опоры при сейсмическом воздействии, а также уменьшают возникающие деформации.

Устройства контроля вибрации и сейсмоизоляции могут действовать без сбоя и регистрировать все виды колебаний, позволяют избежать провисания большепролетных перекрытий под их собственным весом или небольших растяжений/сжатий конструкции при перепаде температуры, снижают напряжения в конструкциях, обеспечивают сопротивление колебанию и распределяют горизонтальные силы по всем поддерживающим узлам.

ТРМЭ – упругий анизотропный элемент из чередующихся тонких слоев резины (или другого эластомера) и металла (жесткого пластика), собранный в пакет из двух и более слоев, имеющий повышенную нагрузочную способность (более 30МПа) в нормальном к слою направлении и высшую податливость (50...200% относительной деформации) в поперечном направлении (рис.2).

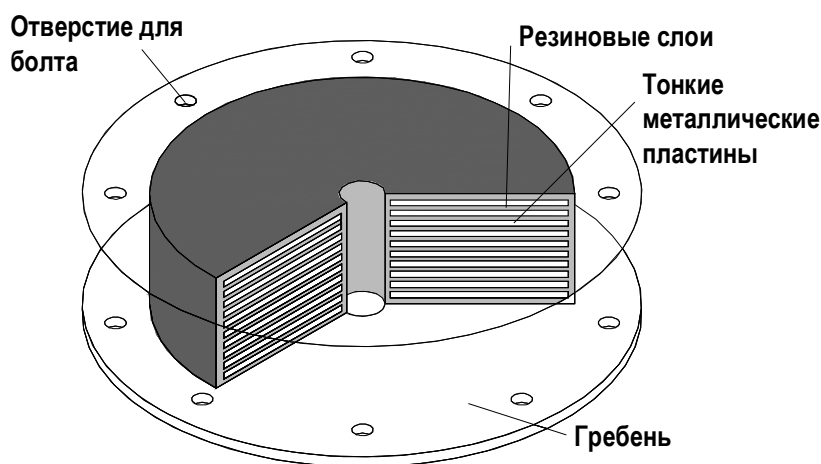


Рис.2 Тонкослойный резинометаллический элемент

По сравнению с другими эластомерными конструкциями ТРМЭ имеют ряд преимуществ:

- малое отношение жесткостей на сдвиг и сжатие – $10^{-4} - 10^{-3}$;
- способность выдерживать нагрузки более 200МПа;
- простота обслуживания – отсутствие необходимости смазки, невозможность заклинивания даже при частичной поломке;
- уменьшение уровня вибраций и шума, улучшение динамики машин, обеспечиваемое свойствами резины и отсутствием зазоров, а также компенсацией различных перекосов и неточностей соединения в узлах машин;
- возможность работы в условиях сильной загрязненности, запыленности, абразивной среды, что особенно важно для машин горнодобывающей промышленности, гусеничной техники;
- снижение сейсмического воздействия на здания и сооружения;
- меньшие размерность, вес и стоимость.

На практике применяются ТРМЭ различной формы: плоские, цилиндрические, конические, сферические и другие.

Рассмотрим основные типы ТРМЭ на рис.3 [1-3, 5, 6].

Блоки резинометаллические. Конструкционное оформление элементов сдвига резинометаллических опор зданий и сооружений на их основе может быть различными

и определяется такими факторами, как назначение изделия и его силовая характеристика, режим работы, требования к долговечности и надежности и т.д.

В ряде случаев элементы сдвига помещают под углом. При действии продольной силы они испытывают одновременно деформации сжатия и сдвига.

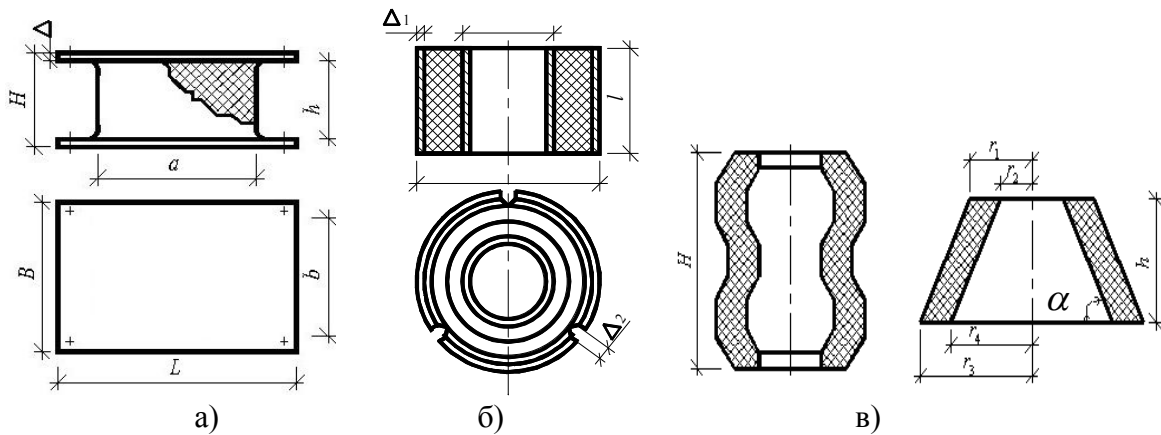


Рис.3. а – блок резинометаллический;
б – шарнир резинометаллический; в – амортизатор

Для элемента со сторонами $a \times b \times h$ (см. рис.3,а) при малых деформациях сжатия связь между силой P и перемещением Δ представляется в виде

$$\frac{P}{EF \frac{\Delta}{h}} = \beta (\gamma_1 \gamma_2^2); \quad \gamma_1 = \frac{a}{h}; \quad \gamma_2 = \frac{b}{h}, \quad (1)$$

где $F = a \times b$ – площадь поперечного сечения резинометаллического блока; E – модуль упругости резины; β – коэффициент, характеризующий увеличение жесткости за счет закрепления торцов детали. Соотношения для величины β получены различными исследованиями [6]. Наиболее удобно определять эту величину по формуле С.И. Дымникова [2]:

$$\beta = 1 + \frac{1}{3} \gamma_2^2 - \frac{(2 + \gamma_2^2)^2}{3(4 + \gamma_1^2 + \gamma_2^2)}. \quad (2)$$

При $\gamma_1 = \gamma_2$, т.е. для элемента с квадратным основанием $\beta = \frac{2}{3} + \frac{1}{6} \gamma_1^2$. При $\gamma_1 < 1$ и $\gamma_2 < 1$ жесткость элемента C можно определять без учета влияния закрепления торцов детали. Для рассматриваемого случая $C = \frac{EF}{h}$.

При сдвиге рассматриваемого элемента в условиях малых и средних деформаций ($\Delta/h < 0,5$) жесткость можно определить как

$$C = \frac{GF}{h}. \quad (3)$$

где G - модуль сдвига резины.

Если элемент работает на сдвиг со сжатием и сжимающая сила P направлена под углом α , то перемещение Δ и жесткость могут быть определены по формулам

$$\Delta = \frac{Ph}{2F(E \sin^2 \alpha + G \cos^2 \alpha)}; \quad (4)$$

$$C = \frac{2F(E \sin^2 \alpha + G \cos^2 \alpha)}{h}. \quad (5)$$

Цилиндры резинометаллические. При расчете сплошного цилиндра радиусом r и высотой h с закрепленными торцами в случае малых деформаций и осевого сжатия можно пользоваться следующей формулой:

$$P = \beta_2 EF \Delta / h, \quad (6)$$

где Δ - перемещение; β_2 - коэффициент, зависящий от безразмерного параметра $\gamma_1 = r/h$. Для определения β_2 можно использовать выражения, полученные В.Л. Бидерманом [1]:

$$\beta_2 = \frac{1}{1 - \frac{\gamma_1}{\sqrt{6}} \operatorname{tg} \frac{\sqrt{6}}{\gamma_1}};$$

Пейном [6]

$$\beta_2 = 1 + 0,413\gamma_1^2; \quad (7)$$

Э.Э. Лавенделом [4]

$$\beta_2 = 0,667 + 0,5\gamma_1^2;$$

или С.И. Дымниковым

$$\beta_2 = 1 + \frac{\pi^2}{24} \gamma_1^2.$$

При сдвиге цилиндрического элемента жесткость можно найти из выражения $C = GF/h$. Если сжимающая сила направлена под углом α к элементу и последний испытывает одновременную деформацию сжатия и сдвига, то перемещение и жесткость можно найти по следующим формулам [6]:

$$\Delta = \frac{Ph(E \sin^2 \alpha + G \cos^2 \alpha)}{FGE}; \quad (8)$$

$$C = \frac{GEF}{h(E \sin^2 \alpha + G \cos^2 \alpha)}. \quad (9)$$

Шарниры резинометаллические. Резинометаллические шарниры (рис.3,б) могут работать на коаксиальное скручивание, осевой сдвиг и радиальную нагрузку. При малых и средних деформациях формулы для перемещения и жесткости будут иметь следующий вид [1]:
при коаксиальном кручении

$$\varphi = \frac{M}{4\pi Gl} \cdot \frac{r_2^2 - r_1^2}{r_1^2 - r_2^2}, \quad C = \frac{4\pi Gl r_1^2 - r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}; \quad (10)$$

при осевом сдвиге

$$\Delta = \frac{P}{2\pi Gl} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}, \quad C = \frac{2\pi Gl}{\ln \frac{r_2}{r_1}}; \quad (11)$$

при радиальной нагрузке и отношении $r_2 / r_1 \leq 2$, характерных для рассматриваемых резинометаллических шарнир:

$$\Delta = \frac{P}{4\pi Gl} \beta_1; \quad \beta_1 \cong \frac{8}{3} \left(\frac{r_2 - r_1}{r_2 + r_1} \right)^3, \quad (12)$$

$$C = \frac{3\pi Gl}{2 \left(\frac{r_2 - r_1}{r_2 + r_1} \right)^3} \quad \text{где } G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (13)$$

Здесь r_1 и r_2 – соответственно внутренний и наружный радиусы резинового элемента шарнира; l – длина шарнира; M – внешний момент; φ – угол закручивания; G – модуль сдвига резины, μ – коэффициент Пуассона, определяющий сжимаемость резин, для несжимаемых равен 0,1.

Амортизатор. Приближенный расчет такого элемента был выполнен [3] в предположении, что геометрическую форму его можно моделировать последовательным соединением четырех полых усеченных конусов высотой h радиусами r_1, r_2, r_3, r_4 (рис.3,в) и углом наклона образующей α .

В этом случае осевая жесткость и перемещение можно определить по формулам:

$$C = \frac{2\pi E \beta (r_3 - r_4)(r_3 - r_1)}{H \ln \frac{r_3 - r_4}{(r_4 + r_3) - 2(r_3 - r_1)}}; \quad (14)$$

$$\Delta = \frac{2PH \ln \frac{r_3 + r_4}{(r_3 + r_4) - 2(r_3 - r_1)}}{\beta \pi E (r_3 - r_4)(r_3 - r_1)}. \quad (15)$$

здесь β – коэффициент ужесточения за счет эффекта торцов, $\beta = 2,1$.

Таким образом, получены формулы определения основных параметров тонкослойных резинометаллических элементов разной формы для их дальнейшего использования в отдельных примерах.

Список литературы

1. Работнов Ю.Н.. Наследственная механика твердых тел. –Мо., «Наука», 1977г.
2. Потураев В.Н., Дырда В.И. Резиновые детали машин. – М.: Машиноведение, 1977. – 216с.

3. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. –М., Физматгиз, 1967. – 630с.
4. Лавендел Э.Э. Расчет резинотехнических изделий. – М.: Машиностроение, 1976. – 232с.
5. Ормонбеков Т.О. Применение тонкослойных резинометаллических элементов (ТРМЭ) в сейсмозащите зданий, сооружений и инженерного оборудования. – Бишкек: Илим, 1996. – 25с.
6. Gret A.N., Lindley P.B. The compression of bonded rubber blocks // Proc. Inst. Mech. Eng. - 1989. - Vol. 173, №3. - P. 111-122.