

## УПРУГОПЛАСТИЧЕСКАЯ РАБОТА ВЫКЛЮЧАЮЩИХСЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ БАЛОК В СИСТЕМЕ «ЖЕЛЕЗОБЕТОННАЯ СВАЯ В ТРУБЕ»

**С.ГАИПОВ, соискатель**  
(ЦИСС ЦНИИСК им.В.А.Кучеренко, Москва)

Представлены результаты исследования зависимости «восстанавливающая сила – перемещение» для выключающихся связей из металлических балок. Эта зависимость необходима для определения параметров упругой и неупругой стадий, а также предельного прогиба балки.

Ключевые слова: выключающиеся связи, металлические балки, сейсмическая реакция, свая в трубе.



В этой работе представлено исследование зависимости «восстанавливающая сила — перемещение» для выключающихся элементов из металлических балок. Это исследование необходимо для определения параметров упругой и неупругой стадий, а также определения предельного прогиба, при котором элементы выключаются [1, 2].

Металлические балки крепятся в системе как показано на рис. 1. Пример расположения выключающихся элементов из металлических балок под фундаментом здания показан на рис. 2.

Расчетные формулы запрограммированы в среде Microsoft Excel, что позволяет исследовать и рассчитывать зависимость «восстанавливающая сила — перемещение» выключающихся элементов из металлических балок с другими исходными данными.

Расчетная схема металлических балок показана на рис.3.

Задавая нагрузки  $P$  на каждом  $i$ -ом шаге определяем максимальный изгибающий момент  $M$  и прогиб  $f$  по формулам:

$$M = PL_{оп} \quad (1)$$

$$f_i = \frac{P_i L_{оп}^2}{24 E_i I} (3 \frac{L^2}{L_{оп}^2} - 4) \quad (2)$$

Расчет изгибаемых элементов с использованием пластических свойств стали, исходя из предположения, что весь материал сечения течет под воздействием нормальных напряжений  $\sigma$ , вызванных изгибом, возможен только при касательных напряжениях  $\tau$  не более  $0,3R_y$  ( $R_y$  — предел текучести стали балки) в месте наибольшего изгибающего момента. При большем значении  $\tau$  поперечная сила оказывает заметное влияние на несущую способность изгибаемого элемента, которое должно быть учтено расчетом. При наличии касательных напряжений, согласно принятому в [3] условию перехода материала из упругого состояния в пластическое, текучесть проявляется когда пределу текучести равняется приведенное напряжение  $\sigma_{пр}$ , а не только нормальное напряжение  $\sigma$ . Очевидно, что текучесть может появиться не только в крайних фибрах сечения, но и у нейтральной оси, когда касательные напряжения достигают

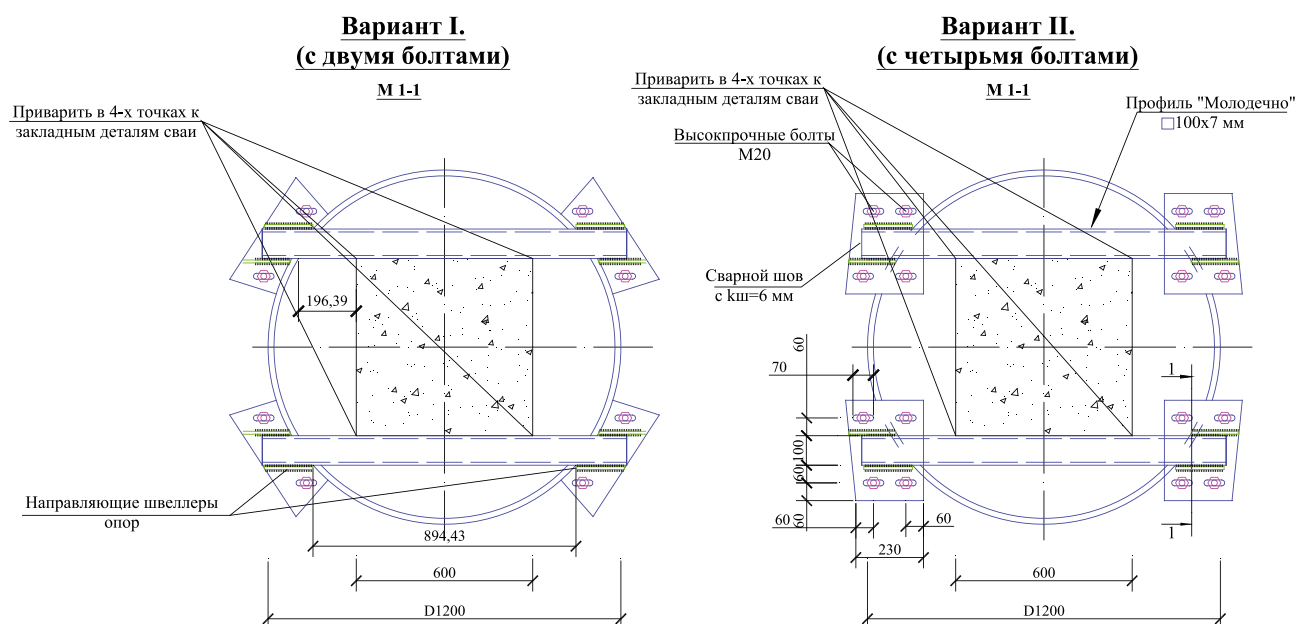


Рис.1. Варианты креплений выключающихся элементов из металлических балок к железобетонным сваям и обсадным трубам

Вариант расположения свай с шагом 2,2 м под фундаментной плитой размером 20х20 м.

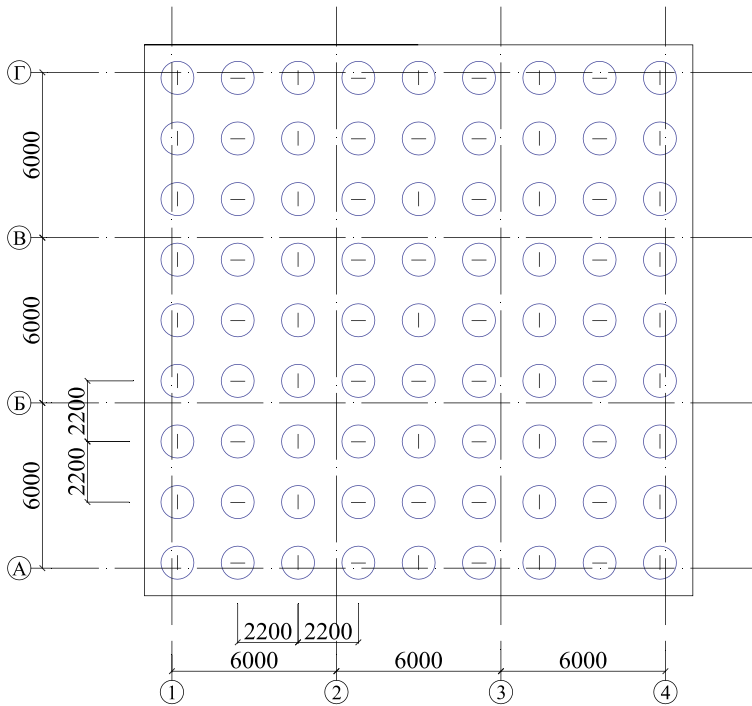


Рис.2. Пример расположения и направления работы выключающихся элементов. Направления работы выключающихся элементов показаны линиями

значения предела текучести  $\tau=R_s$ . При очень больших значениях поперечной силы течение материала у нейтральной оси может наступить даже раньше, чем в крайних фибрах, что также может привести к исчерпанию расчетной несущей способности изгибаемого элемента.

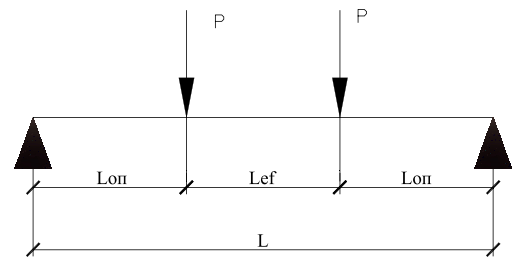


Рис.3. Расчетная схема металлических балок

Нормальные  $\sigma$ , касательные  $\tau$  и приведенные  $\sigma_{np}$  напряжения определяем по формулам [3, 4]:

$$\text{при } \sigma < R_y \quad \sigma = M / (\varphi_b \cdot W_x), \tag{3}$$

$$\text{при } \sigma \geq R_y \quad \sigma = R_y, \tag{4}$$

$$\text{при } \tau < R_s \quad \tau = Q \cdot S_x / I_x \cdot t, \tag{5}$$

$$\text{при } \tau \geq R_s \quad \tau = R_s, \tag{6}$$

$$\text{при } \sigma_{np} < 1,15 \cdot R_y \quad \sigma_{np} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}, \tag{7}$$

$$\text{при } \sigma_{np} \geq 1,15 \cdot R_y \quad \sigma_{np} = 1,15 \cdot R_y, \tag{8}$$

где  $\varphi_b$  — коэффициент определяемый согласно п.5.15 [3],

$S_x, W_x, I_x, t$  — статический момент, момент сопротивления, момент инерции и толщина стенок поперечного сечения балок соответственно,

$R_y, R_s$  — расчетные сопротивления растяжению и сдвигу по пределу текучести,

$Q$  — поперечная сила, в данной расчетной схеме  $Q = P$ .

Предельная относительная деформация  $[\varepsilon]$  принята согласно ГОСТ 27772-88\* равной 26%. Начальный модуль упругости стали принят равным 2100 т/см<sup>2</sup>. Относительные деформации в процентах  $\varepsilon$  на  $i$ -ом шаге вычисляем

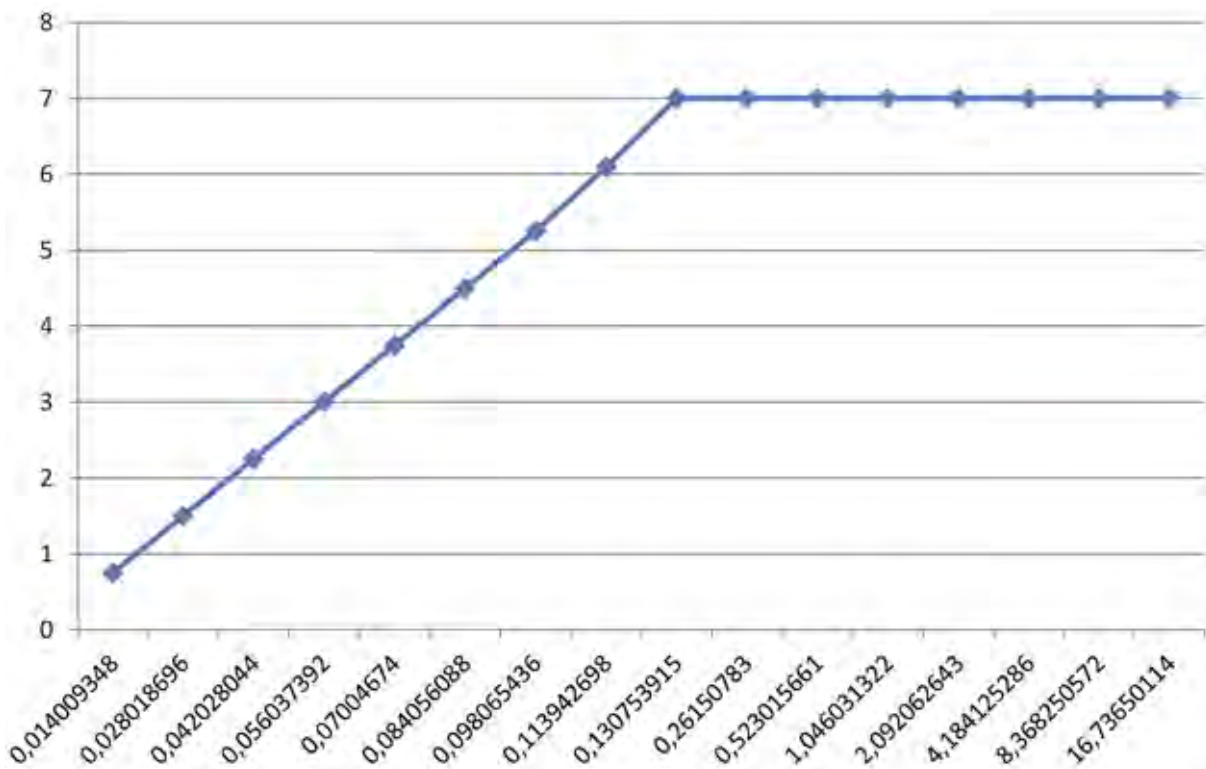


Рис.4. Расчетная зависимость «восстанавливающая сила – перемещение»

Таблица 1.

Расчет выключающихся элементов из металлических балок (СНиП II-23-81\*. Стальные конструкции)

x — горизонтальная ось поперечного сечения балки

Прокат	$I_x$ [см <sup>4</sup> ]	$I_t$ [см <sup>4</sup> ]	$E_y$ [Т/см <sup>2</sup> ]	$R_y$ [Т/см <sup>2</sup> ]	$L_{эф}$ [см]	$h_r$ [см]	$\alpha$	$\psi$	$\phi$	$M_{пр}$ [Т·см]	$W_x$ [см <sup>3</sup> ]	$\sigma_y$ [Т/см]	[26]			прив.	
													$\varepsilon_y$ [%]	$P_{пр}$ [Т]	$f_{пр}$ [см]		$\tau_{пр}$ [Т/см <sup>2</sup> ]
□100x7	373.9	585.5	2100	2.4	60	10	86.81	6.809	165.4919	15	74.8	0.2005348	0.01438	0.75	0.01401	0.130382	0.3020148
ГОСТ			2100	$R_s$					$\phi b$	30	$W_{ант}$ [см <sup>3</sup> ]	0.4010695	0.02876	1.5	0.02802	0.260765	0.6040296
30245-2003			2100	1.4					1	45	97.24	0.6016043	0.04314	2.25	0.04203	0.391147	0.9060444
ГОСТ			2100							60		0.802139	0.05753	3	0.05604	0.52153	1.2080592
27772-88*			2100							75		1.0026738	0.07191	3.75	0.07005	0.651912	1.510074
			2100							90		1.2032086	0.08629	4.5	0.08406	0.782295	1.8120888
			2100							105		1.4037433	0.10067	5.25	0.09807	0.912677	2.1141036
			2100							122		1.631016	0.11697	6.1	0.11394	1.060444	2.4563871
			2100							140		1.8716578	0.22857	7	0.13075	1.216903	2.8188049
			1050							140		1.8716578	0.45714	7	0.26151	1.216903	2.8188049
			525							140		1.8716578	0.91429	7	0.52302	1.216903	2.8188049
			262.5							140		1.8716578	1.82857	7	1.04603	1.216903	2.8188049
			131.25							140		1.8716578	3.65714	7	2.09206	1.216903	2.8188049
			65.625							140		1.8716578	7.31429	7	4.18413	1.216903	2.8188049
			32.8125							140		1.8716578	14.6286	7	8.36825	1.216903	2.8188049
			16.40625							140		1.8716578	29.2571	7	16.7365	1.216903	2.8188049

по формулам:

при  $\sigma_i < R_y$  или  $\sigma_{при} < 1,15 \cdot R_y \cdot \varepsilon_i = [\sigma_{при} / E_y] \cdot 100\%$ , (9)  
 при  $\sigma_i \geq R_y$  или  $\sigma_{при} \geq 1,15 \cdot R_y \cdot \varepsilon_i = [R_y / (E_y / 2)] \cdot 100\%$ . (10)

Расчеты произведены шаговым методом по секущим модулям. Секущие модули приняты в пластической стадии деформирования с коэффициентом изменения равным 0,5 на каждом шаге. Расчет продолжается до тех пор, пока не достигается предельная относительная деформация  $[\varepsilon] = 26\%$ . При достижении предела текучести нагрузка не увеличивается, а остается постоянной до стадии разрушения, так как именно реакция (восстанавливающая сила) балки не может быть больше силы, соответствующей пределу текучести. Расчет металлической балки на односторонние статические нагрузки до разрушения приведен в табл.1. Полученная расчетная зависимость «восстанавливающая сила — перемещение» показана на рис.4.

**Литература**

1. Айзенберг Я.М. Сейсмоизолирующие адаптивные фундаментные системы. // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1992. №6. С.22-25.
2. Айзенберг Я.М., Гаипов С. Упругопластическая работа железобетонной сваи в системе «свая в трубе» при сейсмических воздействиях. // Сейсмостойкое строительство и безопасность сооружений. 2012. №2. С.25-30.
3. СНиП II-23-81\*. Стальные конструкции. Нормы проектирования.
4. Металлические конструкции. Под общей ред. проф. Е.И. Беленя. — М.: Стройиздат. 1976. 600 с.

Материалы хранятся в ЦИСС ЦНИИСК им.В.А. Кучеренко по адресу: 109428, Москва, ул.2-я Институтская, д.6, корп.37. Тел/факс: (499) 174-70-64. E-mail: serd-78@mail.ru.