

Конструкция опорного столика таврового сечения распределительного пояса стены в грунте

Е.А. Муравьева, А.В. Манько

Московский государственный строительный университет

Аннотация: Для крепления вертикальных стен котлованов не всегда возможно использовать анкерные конструкции. Чаще всего приходится использовать распорные конструкции из труб. Для перераспределения усилий от распорных конструкций и грунта необходимо использовать специальный распределительный пояс, состоящий из двутавровых балок. В данной статье представлены результаты исследования вариантов конструкций и конструирования опорного столика для распорных конструкций стен в грунте (вертикальных стен крепления бортов котлована).

Ключевые слова: распределительные пояс, балка двутавровая, опорная конструкция, столик, котлован, распорные конструкции, тавр, стена в грунте.

Современное подземное строительство в крупных городах не мыслимо без вертикального крепления стен котлована в связи с отсутствием достаточных площадей для устройства котлована с бортами с естественным уклоном [1].

Стена в грунте представляет собой конструкцию, состоящую из: металлических труб, буросекущихся свай, монолитной или сборной траншейной стены в грунте. Это наиболее часто встречаемые конструкции вертикального крепления стен котлованов.

Для устойчивости вертикального крепления необходима распорная или анкерная системы. Анкера не всегда можно применять в тесной городской застройке. Порой анкерами можно «выдернуть» из-под здания основание – изменить сложившееся напряженно-деформированное состояние в массиве и разрушить окружающую застройку [2]. Поэтому чаще всего применяют распорные конструкции: подкосы и раскосы из прямошовных сварных труб. Но независимо от вида распорной конструкции необходимо устанавливать распределительные пояса.

Распределительный пояс необходим для распределения нагрузок от активного давления грунта через трубы на подпорные конструкции или

пионерный фундамент. В распределительный пояс упираются трубы раскосов и подкосов. Распределительные пояса изготавливаются из двутавровых балок.

Двутавровые балки, или как их сейчас называют - просто балки, изготавливают в соответствии с ГОСТ 19425-74 (балки двутавровые), ГОСТ 8239-89 (двутавры стальные горячекатаные), СТО АСЧМ 20-93 (двутавры с параллельными гранями полок). При этом балки двутавровые имеют специальное исполнение для подвесных путей. Балки по СТО 20-93 делятся на: нормальные двутавры с параллельными гранями полок, широкополочные двутавры (используемые чаще всего в качестве подкрановых путей порталных кранов) и колонные двутавры [3]. В настоящее время чаще всего применяется двутавровая балка с параллельными полками номеров 40Б1, 40Б2, 45Б1, 45Б2. В соответствии с СТО АСЧМ 20-93 «Балки двутавровые с параллельными гранями полок» размеры которых приведены в таблице 1.

Таблица № 1

Технические характеристики балок

№ балки	Размеры, мм				Масса 1м, кг
	h	b	s	t	
40Б1	396	199	7,0	11,0	56,6
40Б2	400	200	8,0	13,0	66,0
45Б1	446	199	8,0	12,0	66,2
45Б2	450	200	9,0	14,0	76,0

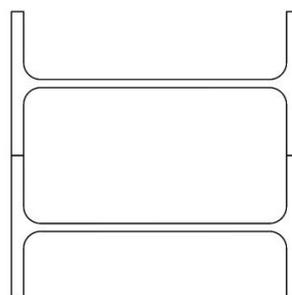


Рис. 1. – Схема распределительного пояса из сдвоенной балки

При использовании балки в качестве пояса применяют сдвоенные балки, по могут быть использованы и до пяти балок, уложенные на полки

вертикально. Пример пояса сдвоенной балки, установленной в рабочем положении показан на рис.1.

Для установки распределительного пояса существует конструкция, которая называется опорный столик. Опорный столик сваривается из листового металла толщиной, достаточной для того, чтобы выдержать вес распределительной балки чаще всего из двутавров №№ 40 и 45, расположенных от двух до пяти рядов (как указано на рис.1). Если пояс будет из балки меньшего размера, то в качестве опорного столика можно использовать сварную конструкцию из уголков [4]. Размер опорного столика подбирается в зависимости от нагрузки (веса) пояса. Типовая конструкция опорного столика, распределительного пояса и ограждения котлована представлены на рис.2.

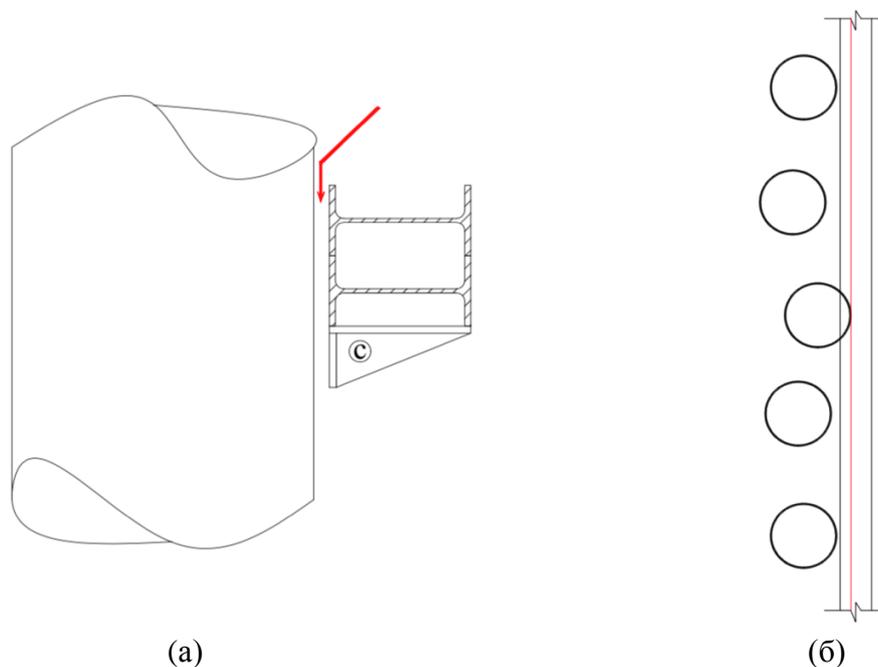


Рис. 2. – Схема распределительного пояса из сдвоенной балки: (а) вид сбоку на узел крепления опорного столика с поясом к ограждению котлована, (б) план устройства распределительного пояса.

На рис.2а литерой «с» обозначен опорный столик, сваренный из металлического листа. Также на данном рисунке красной стрелкой показан

технологический зазор, который неизбежно получается при устройстве ограждения котлована из металлических труб в связи с тем, что бурение лидерных скважин (или без такового) и монтаж ограждения котлована (завинчиванием, задавливанием, вибропогружением) происходит без направляющих в виде форшахты или гильз [5, 6]. На рис.2б показан план монтажа пояса, из которого лучше видно, из-за чего получается этот зазор. Черным цветом обозначено проектное, а красным цветом фактическое положение распределительного пояса. Для ликвидации этого технологического зазора на стройплощадках применяют следующее. Из металлического листа вырезаются пластины по размеру монтажной площадки и надставляют столько пластин по толщине, сколько не хватает для устройства распределительного пояса по проекту (по прямой линии). При увеличении количества листов пропорционально увеличивается общий вес столика, что негативно может сказаться на общей устойчивости распределительного пояса. К тому же такая установка опорного столика - весьма трудоемкий процесс, который сказывается на стоимости опорного столика и его монтажа, и продолжительности работ. В связи с этим авторы предлагают свой вариант опорного столика.

Первоначально определим опорные реакции [7, 8] в распределительном поясе, который представляется в виде балки на двух опорах (рис.3).

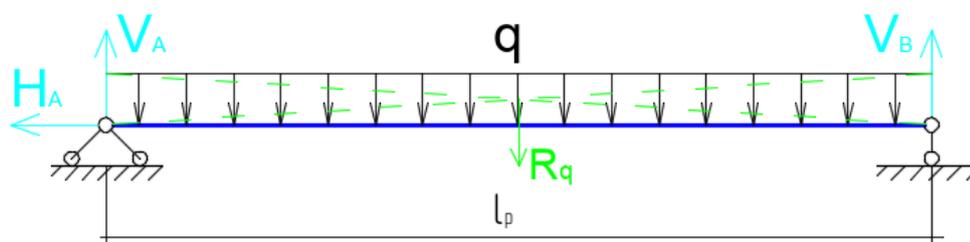


Рис. 3. – Схема расчета распределительного пояса

На рисунке одна опора шарнирно-неподвижная, обозначенная на схеме литерой А, другая шарнирно-подвижная, обозначенная на схеме литерой В.

Следовательно, необходимо найти горизонтальную H_A и вертикальные V_A и V_B реакции опор.

Первым шагом необходимо определить равнодействующую распределенной нагрузки R_q [кН], расположенную на расстоянии $0.5 \cdot l_p$ от любой из опор. Возьмем максимальное расстояние между опор 1.25м. В связи с тем, что, как было сказано ране, в основном в качестве распределительного пояса используют сдвоенную двутавровую балку, то в формулу (1) введена цифра 2, которая отвечает за это:

$$R_q = q2l_p \quad (1)$$

Напишем уравнения равновесия для плоской системы сил (2):

$$\begin{aligned} \square F_x &= 0 \\ \square F_y &= 0 \\ \square M_{()} &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Далее необходимо последовательно собирать уравнения. Сначала для оси X .

$$\begin{aligned} \dot{\hat{a}} F_x &= 0 \\ -H_A &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Теперь для оси Y .

$$\begin{aligned} \dot{\hat{a}} F_y &= 0 \\ V_A - R_q + V_B &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Также необходимо рассчитать момент относительно точки A .

$$\begin{aligned} \dot{\hat{a}} M_A &= 0 \\ R_q \times 0.625 - V_B \times 1.25 &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Рассмотрим в качестве примера расчет двутавровой балки № 40Б1.

$$R_q = 0.55 \times 2 \times 1.25 = 1.375$$

$$V_A = R_q - V_B = 1.375 - 0.6875 = 0.6875$$

$$V_B = \frac{1.375 \times 0.625}{1.25} = 0.6875 \quad (6)$$

Следовательно, опорные реакции (нагрузка на опору) от сдвоенного распределительного пояса составляет 0.69 кН или 70.11 кг. Результаты для других наиболее часто используемых балок представлены в таблице 2.

Таблица № 2

Результаты расчета опорных реакций распределительного пояса

№ балки	R_q , кН	$V_A = V_B$, кН	$V_A = V_B$, кгс
40Б1	1.375	0.6875	70.11
40Б2	1.618	0.809	82.5
45Б1	1.623	0.812	82.8
45Б2	1.863	0.932	95.0

Качество опорного столика во многом зависит от квалификации мастера, который данный столик будет сваривать из листового металла, поэтому в качестве опорного столика предлагается следующая конструкция: берется двутавр, из которого сделан пояс необходимой длины, и из него вырезается подобие таврового сечения. Длина такого таврового сечения зависит от расстояния от оси распределительного пояса до трубы шпунта. Схема предлагаемого опорного столика представлена на рис. 4.

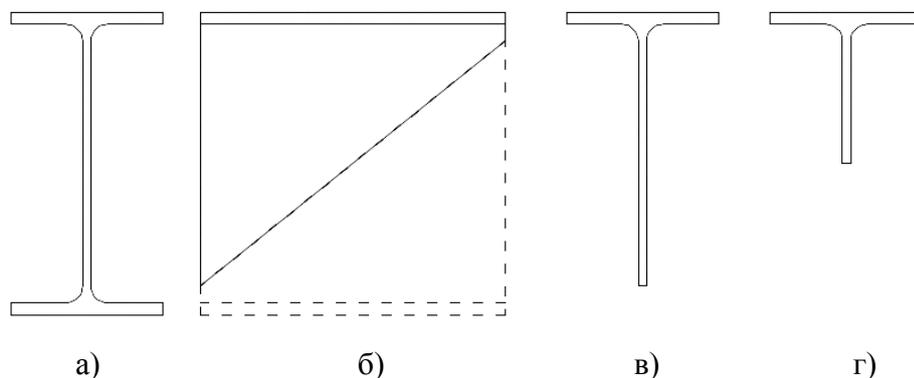


Рис. 4. – Схема устройства опорного столика из двутавра: а) поперечный разрез исходного двутавра; б) план раскроя двутавра в

продольном направлении; в) поперечный разрез полученного тавра; г) тавровое сечение столика при разрезке двутавра пополам.

Разрезка двутавра на два опорных столика таврового сечения осуществляется по диагонали – по стенке балки (рис.4б). В отличие от стандартного деления двутавра на тавры (рис.4г), когда стенка балки режется посередине, косой рез будет сложнее сделать. На рисунке условно показан столик при идеальных условиях, когда труба шпунта стоит строго в проектном месте. Такой же рез можно сделать, и когда столик необходимо будет сделать иной длины. Но при стандартном тавре уменьшается длина сварного шва, которым столик приваривают к трубе шпунта. Рассчитаем для примера сварное соединение таврового столика (рис. 4г) из двутавра №40Б1 разрезанного вдоль пополам. Данная конструкция будет со сварными угловыми швами, работающими на срез (отрыв), при этом расчет сварного соединения ведем для ручной дуговой сварки по ГОСТ 5264-80 [9].

Исходные данные для расчета: $N = 0.07 \cdot 10^3$ кг, $l_w = 595$ мм, $k_f = 6.0$ мм, $\beta_f = 0.70$, $\beta_z = 1.00$, $\gamma_{wz} = 1.00$, $\gamma_{wf} = 1.00$, $\gamma_{wm} = 1.25$, марка стали элемента С235, электрод Э42 по ГОСТ 9467-75*.

По табл. 1 ГОСТ 9467-75* для электрода Э42 $R_{wun} = 42$ кг/мм². Согласно СП 16.13330.2017 (актуализированная редакция СНиП II-23-81*) $R_{wf} = 0.55 \cdot R_{wun} / \gamma_{wm} = 0.55 \cdot 42 / 1.25 = 18.48$ кг/мм².

Проверка прочности по металлу шва и по границе сплавления определяется по формуле (7):

$$R = \frac{N}{b_{(f-z)} k_f l_w} \quad (7)$$

В результате расчета прочность по металлу шва будет:

$$R = \frac{0.07 \times 10^3}{0.70 \times 6 \times 595} = 0.03 \text{ £ } R_{wf} g_{wf} g_c = 18.48 \times 1 \times 0.75 = 13.86 \text{ кг/мм}^2 \quad (8)$$

А по границе сплавления будет:

$$R = \frac{0.07 \times 10^3}{0.70 \times 6 \times 595} = 0.03 \text{ £ } R_{wf} g_{wf} g_c = 18.48 \times 1 \times 0.75 = 13.86 \text{ кг/мм}^2 \quad (9)$$

Следовательно, прочность по металлу шва и границе сплавления достаточна. Таким образом, прочность обеспечена [10]. Тавровое сечение, как показано на рис. 4б, рекомендовано к применению в связи с тем, что длина сварного шва у такого сечения будет больше, а следовательно, это нивелируют ошибки при сварке – например непровары. К тому же изготовление опорного столика из двутавра избавит от ошибок конструирования опорного столика из листового металла.

Литература

1. Кузнецов М.В., Маринченко Е.В., Пушкарев М.Д. Проектирование ограждения котлована жилого дома в условиях плотной городской застройки в г. Ростове-на-Дону // Инженерный вестник Дона. 2018. № 2. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_156_Kuznecov.pdf_2c212b1649.pdf.
2. Осмачкин А. Применение грунтовых анкеров для укрепления строительных конструкций // Инженерная защита. 2014. № 5. С. 68-75.
3. Справочник по металлопрокату / Сталепромышленная компания. Уфа: АДИ-Пресс, 2004. 96 с.
4. Суздалов П.И., Бычков Н.А., Курина С.Д., Музыкантская Л.Б. Руководство по подбору сечений элементов строительных стальных конструкций. Часть 3. М.: ЦНИИПСК им. Н. П. Мельникова, 1988. 75 с.
5. Макаров Ю.А. Основы строительного проектирования. М.: МГТУ им. Баумана, 2016. 214с.
6. Yun B. Underground Engineering planning, Design, Construction and Operation of the Underground Space. London: Elsevier, 2019. 270p.
7. Варданян Г.С., Андреев В.И., Атаров Н.М., Горшков А.А. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности. М.: АСВ. 1995. 568с.

8. Bansal R.K. Strength of Materials. New Dehli: Laxmi Publications, LTD. 2022. 1160p.

9. Майстренко А.В. Расчет силовых нагрузок конструкций при испытаниях на отрыв // Инженерный вестник Дона. 2013. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2097.

10. Вернези Н.Л. Метод оценки прочности металла неразрушающим способом с использованием априорной информации // Инженерный вестник Дона. 2013. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1898.

References

1. Kuznecov M.V., Marinchenko E.V., Pushkarev M.D. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. № 2. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_156_Kuznecov.pdf_2c212b1649.pdf.

2. Osmachkin A. Inzhenernaja zashhita. 2014. № 5. pp. 68-75.

3. Spravochnik po metalloprokatu [Rolled Metal Guide]. Ufa: ADI-Press. 2004. 96 p.

4. Suzdalov P.I., Bychkov N.A., Kurina S.D., Muzykantskaja L.B. Rukovodstvo po podboru sechenij jelementov stroitel'nyh stal'nyh konstrukcij. Ch 3. [Guidelines for the selection of cross-sections of elements of building steel structures. Part 3]. M.: CNIIPSK im. Mel'nikova, 1988. 75 p.

5. Makarov Ju.A. Osnovy stroitel'nogo proektirovanija. [Fundamentals of structural design]. M.: MGTU im. Baumana, 2016. 214 p.

6. Yun B. Underground Engineering planning, Design, Construction and Operation of the Underground Space. London: Elsevier, 2019. 270p.

7. Vardanjan G.S., Andreev V.I., Atarov N.M., Gorshkov A.A. Soprotivlenie materialov s osnovami teorii uprugosti i plastichnosti. [Resistance of Materials with Fundamentals of Elasticity and Plasticity Theory]. M.: ASV. 1995. 568 p.

8. Bansal R.K. Strength of Materials. New Dehli: Laxmi Publications, LTD. 2022. 1160p.



9. Majstrenko A.V. Inzhenernyj vestnik Dona. №4. URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2097.

10. Vernezi N.L. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №3. URL:
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1898.