

## Несущая способность и живучесть шарнирного узла крепления балок к колоннам на 2-х болтах

*А.А. Решетников, Д.А. Леонова, В.Ю. Корнет*

*Донской государственной технической университет*

**Аннотация:** В данной работе предлагается актуализировать значения несущей способности шарнирного узла крепления балок к колоннам на 2-х болтах. Проведен сравнительный анализ несущей способности узла представленной в серии 2.440-2 выпуск 1 и посчитанной по современным строительным нормам. Получено пять расчетных формул для пяти возможных предельных состояний узла. Представлена таблица с значениями предельных сил, воспринимаемых соединением. Приведен возможный вариант усовершенствования узла, путем включения в работу опорного столика.

**Ключевые слова:** несущая способность, металлические конструкции, шарнирный узел, конструктивное решение, соединение элементов, предельное состояние.

При проектировании стальных конструкций довольно часто возникает необходимость конструктивного решения для соединения одних элементов с другими. Так при проектировании многоэтажных каркасных зданий, рабочих площадок производственных зданий и прочих объектов имеет место узел шарнирного крепления балок либо к колоннам, либо к другим балкам [1-3]. При этом для выбора конструктивного решения данного узла часто используется серия 2.440-2 выпуск 1 [4]. Несмотря на то, что данная серия была выпущена в 1989 году за авторством таких известных институтов, как ЦНИИ Проектстальконструкция, ГПИ Ленпроектстальконструкция и ВНИПИ Промстальконструкция, на сегодняшний день она обоснованно имеет все права на популярность и доверие в среде проектировщиков.

Однако с момента разработки серии строительные нормы претерпели неоднократные изменения, что повлекло за собой изменение значений некоторых коэффициентов, расчетных сопротивлений для определенных марок стали, расчетных формул и прочее.

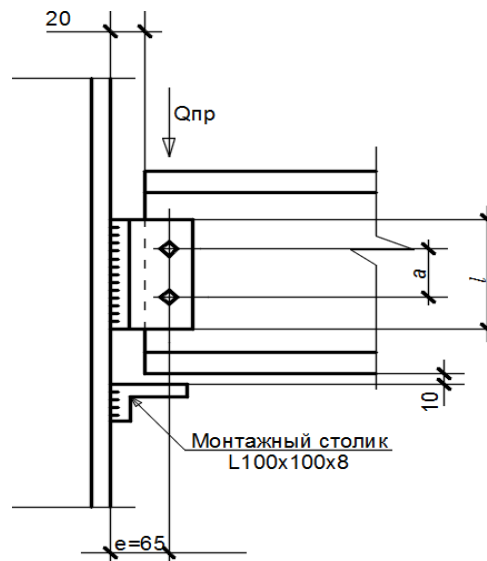


Рис. 1. – Шарнирный узел крепления балок к колоннам на 2-х болтах

В данной работе предлагается актуализировать значения несущей способности шарнирного узла крепления балок к колоннам на 2-х болтах (рис. 1), как наиболее часто используемого.

При вычислении несущей способности узла использовались следующие предельные состояния и расчетные формулы [5].

1. Несущая способность сварного шва крепления уголка к колонне.

Из предположения заводского исполнения сварных швов проволокой Св-08А под флюсом, а также принятой марки стали С245 для конструкций из прокатных профилей имеем следующие расчетные параметры по СП 16.13330.2017.

$$R_{wf} = 180 \text{ МПа}, \quad R_{un} = 370 \text{ МПа}, \quad R_{wz} = 0,45R_{un} = 166,5 \text{ МПа};$$
$$\beta_f = 0,9, \quad \beta_z = 1,05.$$

Так как,

$$\frac{\beta_f R_{wf}}{\beta_z R_{wz}} = \frac{0,9 \cdot 180}{1,05 \cdot 166,5} = 0,93 < 1,$$

то расчетное сечение необходимо проверять на условный срез по металлу шва.

Согласно п. 14.1.19 СП 64.13330.2017 при одновременном действии в сварном соединении с угловыми швами поперечной силы  $Q$  и изгибающего момента  $M$  должно выполняться условие:

$$\frac{\tau_f}{R_{wf}\gamma_c} \leq 1,$$
$$\tau_f = \sqrt{\tau_Q^2 + \tau_M^2}.$$

Учитывая, что в такой конфигурации узла работает в основном сварной шов по обушку уголка, а шов по перу идет в запас прочности, подставим в формулу равнодействующего касательного напряжения значения для  $\tau_Q, \tau_M$  и приравняем его несущей способности:

$$\sqrt{\left(\frac{Q_{np}}{l_w \cdot k_f \cdot \beta_f}\right)^2 + \left(\frac{Q_{np} \cdot e \cdot 6}{l_w^2 \cdot k_f \cdot \beta_f}\right)^2} = R_{wf} \cdot \gamma_c.$$

Выразим из полученного уравнения предельную нагрузку и обозначим через  $Q_{np(1)}$ :

$$Q_{np(1)} = \frac{R_{wf} \cdot \gamma_c}{\sqrt{\left(\frac{1}{l_w \cdot k_f \cdot \beta_f}\right)^2 + \left(\frac{e \cdot 6}{l_w^2 \cdot k_f \cdot \beta_f}\right)^2}}.$$

## 2. Несущая способность болтового соединения.

В серии [4] для указанного узла приняты болты нормальной точности диаметром  $d = 20$  мм. Расчетное усилие, которое может быть воспринято одним болтом, определяется по формулам:

на срез  $N_{bs} = R_{bs} \cdot A_b \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c;$

на смятие  $N_{bp} = R_{bp} \cdot d \cdot \Sigma t \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c.$

Несущая способность соединения без учета действия изгибающего момента на болты будет равна:

$$Q_{\text{пр}(2)} = n \cdot N_{b,\text{min}}.$$

Согласно п. 14.2.12 СП 64.13330.2017 при одновременном действии на болтовое соединение силы  $Q_{\text{пр}}$  и момента  $M = Q_{\text{пр}} \cdot e$ , действующих в одной плоскости и вызывающих сдвиг соединяемых элементов болты следует проверять на равнодействующее усилие [6,7]. В этом случае несущая способность соединения будет равна:

$$Q_{\text{пр}(3)} = \frac{N_{b,\text{min}}}{\sqrt{\left(\frac{1}{n}\right)^2 + \left(\frac{e}{W_{\sigma}}\right)^2}},$$

$$W_{\sigma} = \frac{1}{y_n} \sum y_i^2,$$

$y_n$  – расстояние между осями крайних болтов,

$y_i$  – между промежуточными.

3. Несущая способность стенки балки, работающей на срез в опорном сечении.

Согласно п. 8.2.1 СП 64.13330.2017 предельная сила, воспринимаемая стенкой балки равна:

$$Q_{\text{пр}(4)} = \frac{I_x \cdot t_w \cdot R_s \cdot \gamma_c}{S_x}.$$

4. Несущая способность стенки уголка на срез.

Предельное состояние в работе соединения может наступить от потери прочности уголка при срезе:

$$\frac{Q_{\text{пр}}}{l \cdot t \cdot R_s \cdot \gamma_c} \leq 1,$$

тогда предельная нагрузка, которую может воспринять перо уголка будет равна:

$$Q_{np(5)} = l \cdot t \cdot R_s \cdot \gamma_c.$$

Таким образом, получено пять расчетных формул для пяти возможных предельных состояний узла. Значения предельных сил, воспринимаемых соединением, сведены в таблицу 1. При сравнении значений из столбца 12 с аналогичными значениями в серии [4] заметны различия, как в большую, так и в меньшую сторону.

Таблица 1

Геометрические характеристики и несущая способность шарнирного узла крепления балок к колоннам на 2-х болтах

Профиль балки	Мин толщина стенки балки $t_{wp}$	Уголок			$k_f$	$Q_{np1}$	$Q_{np2}$	$Q_{np3}$	$Q_{np4}$	$Q_{np5}$	$Q_{np.min}$	$Q_{np6}$	$Q_{np7}$	
		Сеч.	$l_w$	$a$		Болты М20, класс прочности 5,8								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
	(мм)		(м)	(мм)	(мм)	(кН)	(кН)	(кН)	(кН)	(кН)	(кН)	(кН)	(кН)	
∟16 Б1	4	100x100x8	0,11	50	8	38,79	115,8	14,93	77,19	133	14,93	31,23	31,77	
∟18 Б1	4,3		0,13	60	7	46,72	115,8	20,35	93,60	155,2	20,35	31,23	32,31	
∟20 Б1	5,6		0,14		9	69,12	115,8	20,35	136,7	166,3	20,35	31,23	32,76	
∟23 Б1	5,4		0,16	80	9	88,74	115,8	31,83	152,3	188,5	31,83	31,23	33,50	
[ 24	5,6					9	88,74	115,8	31,83	138,1	188,5	31,83	31,23	32,76
∟26 Б1	5,8		6	0,20	120		88,91	115,8	53,31	183,2	232,9	53,31	59,14	78,24
∟30 Б1	5,8						88,91	115,8	53,31	212	232,9	53,31	59,14	79,56
∟35 Б1	6,2						88,91	115,8	53,31	263,1	232,9	53,31	59,14	80,85
∟40 Б1	7			0,24	160		122,5	115,8	69,79	335,1	277,2	69,79	72,59	98,90
∟45 Б1	7,8						122,5	115,8	69,79	421,7	277,2	69,79	72,59	99,75
∟50 Б1	8,8					122,5	115,8	69,79	526,9	277,2	69,79	72,59	100,86	

На рис. 1 видно, что монтажный столик после использования по назначению в дальнейшей работе соединения не участвует. При этом в указанной серии [4] имеется узел, в котором учитывается совместная работа указанных в данном узле элементов и опорного столика.

В данной работе предлагается использовать опорный столик (рис. 2) как дополнительный элемент «живучести» соединения [8], т.е. в качестве запасного несущего фактора, у которого несущая способность должна быть не ниже, чем у основного соединения. Предполагается включение в работу опорного столика после исчерпания несущей способности основного соединения [9,10].

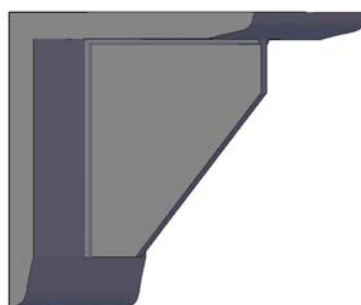


Рис. 2. – Опорный столик с ребром жесткости

В столбцах 13, 14 таблицы 1 указаны значения несущей способности опорного столика по его предельным состояниям: потеря несущей способности уголка при изгибе, потеря несущей способности двух сварных швов его крепления к колонне.

Несущая способность для двух сварных швов:

$$Q_{\text{пр}(6)} = \frac{R_{wf} \cdot \gamma_c}{\sqrt{\left(\frac{1}{2l_w \cdot k_f \cdot \beta_t}\right)^2 + \left(\frac{e \cdot 6}{2l_w^2 \cdot k_f \cdot \beta_t}\right)^2}}$$

Несущая способность уголка при изгибе:

$$Q_{\text{пр}(7)} = \frac{I_{xc} \cdot R_y \cdot \gamma_c}{e \cdot Y_{ц.т.}}$$

## Литература

1. Мандриков А.П. Примеры расчета металлических конструкций: Учебное пособие для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 431с.
  2. Скачков С. В., Луптаков Р.И. Использование требований и норм для расчета на прогрессирующее обрушение / Инженерный вестник Дона, 2017, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4159](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4159)
  3. Металлические конструкции: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / Кудишин Ю.И., Беленя Е.И., Игнатьева В.С. и др.; Под общ. ред. Ю.И. Кудишина.– 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 688с.
  4. Серия 2.440-2 «Узлы стальных конструкций производственных зданий промышленных предприятий» Выпуск 1 «Шарнирные узлы балочных клеток и рамные узлы примыканий ригелей к колоннам»: Чертежи КМ. – ЦНИИПСК им. Мельникова, - 1989 – 81с.
  5. Металлические конструкции. В 3 т. Т.1. Элементы стальных конструкций: Учебное пособие для строит. Вузов / Горев В.В., Уваров Б.Ю., Филиппов В.В. и др.; Под ред. В.В. Горева. – М.: Высш. шк., 1997. – 527с.
  6. Горев В.В., Уваров Б.Ю., Филиппов В.В. и др. Металлические конструкции. В 3т. Т.1. Элементы конструкций: Учеб. для строит. вузов - М., Высш. шк., - 2004. – 551 с.
  7. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика: Учеб. для строит. спец. Вузов. - М., Высш. шк., - 1986. – 607 с.
  8. Н.Л. Вернези Метод оценки прочности металла неразрушающим способом с использованием априорной информации / Инженерный вестник Дона, 2017, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1898](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1898)
  9. Hickman A.R. Carriers cut back coverage for construction defects / American Agent & Broker. 2003. V. 75. № 7. p. 24.
-

10. W.J. DeCoursey / Statistics and Probability for Engineering Applications With Microsoft® Excel. – 2003 – 400 p. – Elsevier Science (USA).

### References

1. Mandrikov A.P. Primery rascheta metallicheskih konstrukcij: Uchebnoe posobie dlja tehnikumov [Examples of calculation of metal structures: Textbook for technical schools]. 2-e izd., pererab. i dop. M. Strojizdat, 1991. 431p.

2. Skachkov S. V., Luptakov R.I. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4159](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4159)

3. Kudishin Ju.I., Belenja E.I., Ignat'eva V.S. i dr.; Pod obshh. red. Ju.I. Kudishina. Metallicheskie konstrukcii: Uchebnik dlja stud. vyssh. ucheb. zavedenij [Metal Constructions: A Textbook for Stud. supreme. training. establishments] 8-e izd., pererab. i dop. M. Izdatel'skij centr «Akademija», 2006. 688 p.

4. Serija 2.440-2 «Uzly stal'nyh konstrukcij proizvodstvennyh zdaniy promyshlennyh predpriyatij» Vypusk 1 «Sharnirnye uzly balochnyh kletok i ramnye uzly primykaniy rigelej k kolonnam» Chertezhi KM. CNIIPSK im. Mel'nikova, 1989. 81p.

5. Gorev V.V., Uvarov B.Ju., Filippov V.V. i dr.; Pod red. V.V. Goreva. Metallicheskie konstrukcii. V 3 t. T.1. Jelementy stal'nyh konstrukcij: Uchebnoe posobie dlja stroit. vuzov [Metal constructions. In 3 vol. T.1. Elements of steel structures: A manual for builds. universities]. M. Vyssh. shk., 1997. 527 p.

6. Gorev V.V., Uvarov B.Ju., Filippov V.V. i dr. Metallicheskie konstrukcii. V 3t. T.1. Jelementy konstrukcij: Ucheb. dlja stroit. vuzov [Metal constructions. In 3T. T.1. Elements of constructions: Proc. for builds. Universities] M., Vyssh. shk., 2004. 551 p.

7. Darkov A.V., Shaposhnikov N.N. Stroitel'naja mehanika: Ucheb. dlja stroit. spec. vuzov [Construction mechanics: Proc. for builds. specialist. universities] M., Vyssh. shk., 1986. 607 p.





8. N.L. Vernezi, Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №2.  
URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1898](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1898)
9. Hickman A.R. Carriers cut back coverage for construction defects. American Agent & Broker. 2003. V. 75. № 7. p. 24.
10. W.J. DeCoursey Statistics and Probability for Engineering Applications With Microsoft® Excel. 2003. 400 p. Elsevier Science (USA).