

УЧЕТ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТЫХ СТАЛЬНЫХ СТЕРЖНЕЙ ПРИ РАСЧЕТЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

Купченко Ю.В., к.т.н., доцент,
Сингаевский П.М., к.т.н., доцент,
Одесская государственная академия строительства и архитектуры
steelconpro@gmail.com

Аннотация. В статье авторы исследуют вопрос действительной работы центрально-сжатых стальных стержней составного таврового сечения из двух уголков ферм покрытий и перекрытий с гибкостью $\lambda > 60$ при расчете на устойчивость. Действительная работа элемента конструкции учитывается коэффициентом условий работы. В то же время, непосредственно при расчете исследуемых стержней коэффициент устойчивости, согласно действующим нормам, определяется учитывая работу элемента конструкции в реальных условиях, где существуют начальные искривления стержней, связанные с разными факторами. Т.е. величины коэффициентов устойчивости и условий работы рассматриваемых стержней одновременно учитывают особенности реальной конструкции. А это может приводить к неоправданному запасу устойчивости центрально-сжатых стержней ферм и к повышению металлоемкости конструкции.

Ключевые слова: центрально-сжатые стальные стержни, фермы, гибкость, коэффициент условий работы, устойчивость, начальные искривления, коэффициент устойчивости.

ВРАХУВАННЯ ДІЙСНОЇ РОБОТИ ЦЕНТРАЛЬНО-СТИСНУТИХ СТАЛЕВИХ СТЕРЖНІВ ПРИ РОЗРАХУНКУ НА СТІЙКІСТЬ

Купченко Ю.В., к.т.н., доцент,
Сінгаївський П.М., к.т.н., доцент,
Одеська державна академія будівництва та архітектури
steelconpro@gmail.com

Анотація. У статті автори досліджують питання дійсної роботи центрально-стиснутих сталевих стержнів складеного таврового перерізу з двох кутиків ферм покриттів і перекриттів з гнучкістю $\lambda > 60$ при розрахунку на стійкість. Дійсна робота елементу конструкції враховується коефіцієнтом умов роботи. В той же час, безпосередньо при розрахунку досліджуваних стержнів коефіцієнт стійкості, згідно з діючими нормами, визначається враховуючи роботу елементу конструкції в дійсних умовах, де існують початкові викривлення стержнів, пов'язані з різними чинниками. Тобто величини коефіцієнтів стійкості і умов роботи даних стержнів одночасно враховують особливості реальної конструкції. А це може приводити до необґрунтованого запасу стійкості центрально-стиснутих стержнів ферм і до підвищення металоємності конструкції.

Ключові слова: центрально-стиснуті сталеві стержні, ферми, гнучкість, коефіцієнт умов роботи, стійкість, початкові викривлення, коефіцієнт стійкості.

ACCOUNTING OF CENTRALLY-COMPRESSED STEEL RODS ACTUAL WORK AT STABILITY CALCULATION

Kupchenko Y.V., PhD., Associate Professor,

Abstract. In the article, the authors investigate the actual work of coverings trusses centrally compressed steel T-section rods composed from two angles at stability calculating. Flexibility of these rods takes the value $\lambda > 60$. The actual work of the structural element is taken into account by the working conditions coefficient. At the same time, according to the current norms, the stability coefficient is determined directly in the calculation of the investigated rods, taking into account the work of the structural element under real conditions, where there are initial curvatures of the rods associated with different factors. In this way, it is not an ideal centrally compressed rod that is considered, but an eccentric-compressed with small eccentricity. But, the working conditions coefficient also takes into account this unfavorable circumstance, which was not directly reflected in calculations before, and now it is taken into account by determining the values of the stability coefficient with allowance for the initial curvatures of the compressed element. The values of the stability and working conditions coefficients of the considered rods simultaneously take into account the features of the real design and the initial imperfections of the rods. And this can lead to an unjustified stability reserve of the centrally compressed rods of the trusses and to an increase of structure's metal capacity. The use of the stability coefficient, determined at stability calculating of the centrally compressed steel rods of the trusses, leads to a stability reserve up to 13.06% due to the re-registration of the initial curvatures of the rod, which have already been taken into account by the working conditions coefficient ($\gamma_c = 0.8$).

Keywords: centrally-compressed steel rods, truss, flexibility, coefficient of terms of work, stability, initial curvatures, stability coefficient.

Введение. Рациональное использование, обеспечение надежности и долговечности стальных конструкций при эксплуатации являются одними из наиболее важных задач в области строительства. В условиях развития рыночной экономики проблемы экономии металла, снижение затрат на строительство стали основными в этой области. Теория и практика создания стальных строительных конструкций неразрывно связана с разработкой и совершенствованием методов их расчета и проектирования, активно влияющих на эффективность конечного результата. Поэтому исследование действительной работы элементов стержневых конструкций является актуальной задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. В действующих нормах проектирования стальных конструкций [1], в отличие от предшествующих норм [2], при расчете на устойчивость центрально-сжатых стальных стержней составного таврового сечения из двух уголков стропильных ферм с гибкостью $\lambda > 60$ учет начальных искривлений стержней, несовершенств связанных с разными факторами происходит и при определении коэффициента устойчивости и назначением величины коэффициента условий работы. Исследования такого двойного учета начальных несовершенств были выполнены в работе [3] для стержней из обычной малоуглеродистой стали.

Целью работы является исследование действительной работы центрально-сжатых стальных стержней ферм покрытий и перекрытий таврового сечения из двух уголков из стали повышенной прочности с гибкостью $\lambda > 60$ при расчете на устойчивость.

Результаты исследований. Особенности действительной работы стали, элементов конструкций и их соединений, имеющие систематический характер, но не отражаемые непосредственно в расчетах, учитываются коэффициентами условий работы γ_c . Их значения определяют на основе теоретических и экспериментальных исследований действительной работы конструкции в условиях эксплуатации.

В таблице 1 приведен установленный в п. 5.4.1 [1] коэффициент условий работы $\gamma_c = 0.8$ (такая же величина коэффициента в предшествующих нормах – п.4, [2]), который введен с целью учета в конструкциях ферм фактических значений начальных искривлений сжатых

составных элементов таврового сечения из уголков (рис. 1), где в связи с несимметричным расположением швов при приварке соединительных прокладок между уголками начальные искривления превышают учитываемые в расчетах.

Таблица 1 – Значения коэффициента условий работы γ_c

Элементы конструкций	Коэффициент условий работы
Сжатые основные элементы (кроме опорных) решетки составного таврового сечения из двух уголков в сварных фермах покрытий и перекрытий при расчете на устойчивость указанных элементов с гибкостью $\lambda > 60$	0.80



Рис. 1. Фермы с элементами из парных уголков

Расчет на устойчивость центрально-сжатых элементов сплошного сечения выполняется по формуле ([1], п. 8.1.3):

$$\frac{N \cdot \gamma_n}{\varphi \cdot A \cdot R_y \cdot \gamma_c} \leq 1, \quad (1)$$

где φ – коэффициент устойчивости при центральном сжатии, значение которого при величине условной гибкости $\bar{\lambda} \geq 0.4$ необходимо определять по формуле:

$$\varphi = \frac{0.5}{\bar{\lambda}^2} \cdot \left(\delta - \sqrt{\delta^2 - 39.48 \cdot \bar{\lambda}^2} \right). \quad (2)$$

Значение коэффициента δ находится как:

$$\delta = 9.87 \cdot (1 - \alpha + \beta \cdot \bar{\lambda}) + \bar{\lambda}^2, \quad (3)$$

где α и β – коэффициенты, характеризующие начальные искривления и остаточные напряжения.

При этом величины коэффициента устойчивости φ , найденные по формуле (2) принимаются не более $7.6/\bar{\lambda}^2$ для стержней из парных уголков при значениях условной гибкости более 5.8.

То есть, коэффициент устойчивости φ определяется в настоящих нормах [1] с учетом того, что в реальных конструкциях существуют начальные искривления стержней, связанные с разными факторами (погибь проката, недостатки изготовления и монтажа), т.е. рассматривается не идеальный центрально-сжатый стержень, а внецентренно-сжатый, имеющий небольшие эксцентриситеты. Но ведь и коэффициент условий работы учитывает это неблагоприятное обстоятельство, которое раньше [2] не отражалось в расчетах прямым путем, а теперь учитывается определением значений коэффициента устойчивости с учетом начальных искривлений сжатого элемента. Это может приводить к неоправданному запасу устойчивости центрально-сжатых стержней ферм и, в свою очередь, к повышению металлоемкости конструкции.

В приведенных таблицах 2, 3 представлены значения коэффициента устойчивости для различных значений гибкостей центрально-сжатых стальных стержней выполненных из стали повышенной прочности (с граничными минимальным и максимальным расчетными сопротивлениями стали фасонного проката соответственно 325 МПа и 380 МПа, ГОСТ 27772-2015), определенные по действующим [1] и предшествующим [2] нормам, при этом значение коэффициента условий работы в рассматриваемых нормативных документах одинаково ($\gamma_c = 0.8$).

Таблица 2 – Значения коэффициента устойчивости φ для стержней из стали с расчетным сопротивлением 325 МПа

Гибкость λ	Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Коэффициент устойчивости φ (ДБН В.2.6 – 98:2014)	Коэффициент устойчивости φ (СНиП II-23-81*)	Расхождение, %
60	2.383	0.675	0.764	– 11.65
70	2.780	0.602	0.683	– 11.86
80	3.178	0.530	0.598	– 11.37
90	3.575	0.464	0.517	– 10.25
100	3.972	0.405	0.443	– 8.58
110	4.369	0.355	0.376	– 5.56
120	4.766	0.311	0.317	– 1.89
130	5.164	0.275	0.272	+ 1.10
140	5.561	0.243	0.237	+ 2.53
150	5.958	0.214	0.208	+ 2.88
160	6.355	0.188	0.185	+ 1.62
170	6.752	0.166	0.165	+ 0.61
180	7.150	0.149	0.148	+ 0.68

Согласно результатов, приведенных в таблицах 2 и 3, использование коэффициента устойчивости, определенного по [1], при расчете на устойчивость центрально-сжатых стальных стержней ферм приводит к запасу устойчивости до 13.06 % за счет повторного учета начальных искривлений стержня, которые уже были учтены коэффициентом условий работы ($\gamma_c = 0.8$).

Выводы и перспективы дальнейших исследований:

1. При расчете на устойчивость стержней составного таврового сечения из двух уголков ферм покрытий и перекрытий с гибкостью элементов $\lambda > 60$ влияние начальных искривлений элементов учитывается дважды – значениями и коэффициента условий работы $\gamma_c = 0.8$ и коэффициента устойчивости φ .

Таблица 3 – Значения коэффициента устойчивости φ для стержней из стали с расчетным сопротивлением 380 МПа

Гибкость λ	Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Коэффициент устойчивости φ (ДБН В.2.6 – 98:2014)	Коэффициент устойчивости φ (СНиП II-23-81*)	Расхождение, %
60	2.577	0.639	0.735	– 13.06
70	3.006	0.562	0.639	– 12.05
80	3.436	0.486	0.549	– 11.48
90	3.865	0.421	0.465	– 9.46
100	4.295	0.364	0.389	– 6.43
110	4.724	0.316	0.332	– 1.86
120	5.154	0.275	0.274	+ 0.36
130	5.583	0.241	0.235	+ 2.55
140	6.013	0.210	0.205	+ 2.44
150	6.442	0.183	0.180	+ 1.67
160	6.872	0.161	0.160	+ 0.63
170	7.301	0.143	0.143	0
180	7.731	0.127	0.129	+ 1.55

2. Двойной учет начальных несовершенств элемента приводит к запасу устойчивости сжатых стальных стержней ферм до 11.86 %, выполненных из стали с расчетным сопротивлением 325 МПа, и до 13.06 %, выполненных из стали с расчетным сопротивлением 380 МПа. Наиболее существенные различия в значениях коэффициентов устойчивости для гибкостей в пределах 60...100.

3. Запас устойчивости, вызываемый двойным учетом начальных несовершенств, увеличивается по мере возрастания прочности стали фасонного проката, от 10.9 % для малоуглеродистых сталей [3] и до 13.06 % для сталей повышенной прочности.

4. Метод расчета строительных конструкций по предельным состояниям, реализованный в национальных и европейских нормах, постоянно развивается. Усовершенствованию этой методики способствует и расчет стальных конструкций по эксплуатационной пригодности с последующим уточнением значения коэффициента условий работы исследуемых стержней.

Литература

1. Сталеві конструкції. Норми проектування. ДБН В.2.6 – 198:2014. – К.: Мінрегіон України, 2014. – 199 с.
2. Стальные конструкции. Нормы проектирования. СНиП II-23-81*. – М.: Госстрой СССР, 1991. – 96 с.
3. Купченко Ю.В. Учет условий работы центрально-сжатых стальных стержней / Ю.В. Купченко // Сборник научных материалов Международных академических чтений «Безопасность строительного фонда. Проблемы и решения». – Курск: Курский государственный университет, 2016. – С. 82-85.

Стаття надійшла 19.02.2018