

Солодов Н.В., канд. техн. наук, проф.,  
Пириев Юнис Селим-оглы, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## РАСЧЕТНАЯ ДЛИНА ПОДКРАНОВЫХ ВЕТВЕЙ СКВОЗНЫХ СТАЛЬНЫХ КОЛОНН ИЗ ПЛОСКОСТИ РАМЫ

solodov\_niko\_v@mail.ru

В статье предложена уточненная расчетная схема подкрановой ветви стальной колонны и получены формулы для вычисления коэффициента ее расчетной длины из плоскости рамы. При этом учитывается два фактора действительной работы: переменность продольного усилия и поддерживающее влияние смежной ветви.

**Ключевые слова:** колонна, устойчивость, коэффициент расчетной длины, подкрановая ветвь.

В расчетах устойчивости сжатых стержней при определении их гибкости необходимо знать коэффициент расчетной длины  $\mu$ . Для простых случаев расчетных схем значения  $\mu$  имеются в справочниках проектировщика. Однако, для некоторых элементов конструкций справочные данные отсутствуют, т.к. их расчетные схемы, составленные с учетом нескольких факторов действительной работы, оказываются достаточно сложными, чтобы получить аналитические выражения  $P_{кр}$  и  $\mu$  в замкнутом виде.

Примерами таких элементов конструкций могут служить сжатые пояса ферм. Их расчетная схема для оценки устойчивости может предусматривать изменение усилия пояса по длине и упругую поддержку со стороны примыкающих раскосов. Задача устойчивости для этого случая решена Ясинским Ф.С. [1].

Отметим, что по традиционной методике [2] принято оценивать устойчивость из плоскости фермы не всего пояса, а его отдельных участков между точками закрепления от смещения из плоскости.

К подобному виду можно привести расчетные схемы сжатых поясов арок сквозного сечения [3], железнодорожного рельса при расчете на температурное удлинение, ветвей подкрановых частей сквозных стальных колонн и т.п.

В работе [4] для оценки устойчивости подкрановой ветви из плоскости решетки колонны принята расчетная схема, показанная на рис. 1.

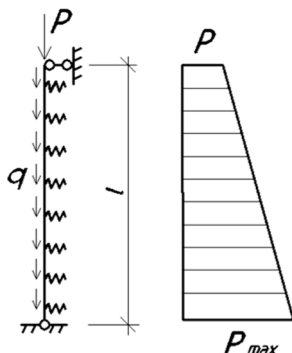


Рис. 1. Расчетная схема ветви из плоскости решетки

Из решения задачи устойчивости получено выражение для критической силы:

$$P_{кр} = \frac{2\pi^2 EI}{l^2} \cdot \frac{(1 + \frac{\beta l^4}{\pi^4 EI})}{(2 + \alpha)}, \quad (1)$$

а, исходя из него – выражение для коэффициента

$$\mu = \sqrt{c(2 + \alpha) / 2(c + k)}, \quad (2)$$

где:  $\alpha$  – коэффициент переменности эпюры продольного усилия ветви;  $c$  – коэффициент, учитывающий влияние продольного усилия менее нагруженной ветви  $N$  на ее поддерживающие свойства;  $k$  – коэффициент, учитывающий влияние деформативности элементов решетки на поддерживающие свойства менее нагруженной ветви в зависимости от соотношения погонных жесткостей на изгиб раскоса решетки и ветви  $r$ ;  $\beta$  – параметр жесткости непрерывной упругой среды.

Изложенная выше методика позволяет учесть при оценке устойчивости одной ветви, более нагруженной изгибающим моментом в сечении колонны в целом, поддерживающее влияние другой, менее нагруженной ветви, а также учесть переменность величины продольного усилия более нагруженной ветви по ее длине.

Расчет ветви с учетом коэффициента  $\mu$  по этой методике приводит к более экономичному проектному решению, чем расчет по действующей нормативной методике, которая, при оценке устойчивости ветви из плоскости решетки, основывается на расчетной схеме рис.2. Коэффициент расчетной длины для такой расчетной схемы имеет единственное значение  $\mu=1$ . Тогда как по формуле (2) мы имеем множество значений при различных параметрах  $c$ ,  $\alpha$ ,  $k$ .

Однако, область применения формулы (2) для вычисления коэффициентов  $\mu$  на практике имеет ограничения. Эти ограничения заключаются в том, что если количество узлов примыкания элементов решетки к ветви мало (1...4), то

моделирование поддерживающего влияния непрерывной упругой средой может приводить к погрешностям. Более корректно в расчетной схеме ветви в местах узлов решетки предусмотреть дискретные упругие опоры, тем самым, уточнив расчетную схему рис.1. Такая схема показана на рис. 3.

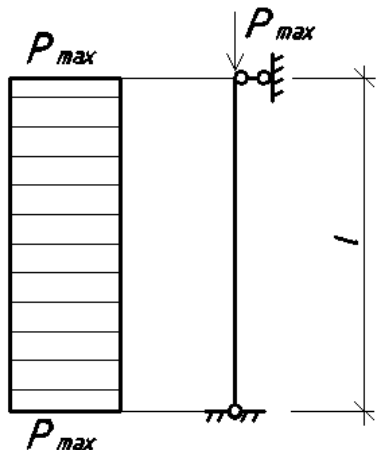


Рис. 2. Расчетная схема ветви в соответствии с нормативной методикой

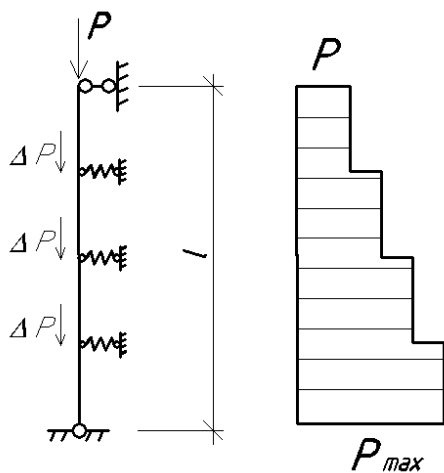


Рис. 3. Расчетная схема ветви с дискретными упругими опорами

Решение задачи устойчивости для уточненной расчетной схемы энергетическим методом [5] приводит к следующему выражению для критической силы:

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} + \frac{2l\omega n}{\pi^2} - \frac{\Delta P \cdot (m+1)(2m+1)}{12m},$$

где:  $n$  – количество упругих опор;  $m=n+1$  – количество пролетов;  $\Delta P = \frac{P_{max}-P}{n}$  или  $\Delta P = \frac{ql}{n}$  – величина возрастания продольного усилия на каждой упругой опоре;  $\omega$  – жесткость одной упругой опоры, от  $\frac{48EI k}{cl^3}$  при  $n=1$  до  $\frac{12,65EI k}{cl^3}$  при  $n=6$ .

По физическому смыслу жесткость упругой опоры есть ее реакция при единичном перемещении (осадке). Аналитическое выражение для вычисления  $\omega$  найдем из расчетной схемы менее нагруженной ветви при ее деформации из плоскости рамы, показанной на рис.4.

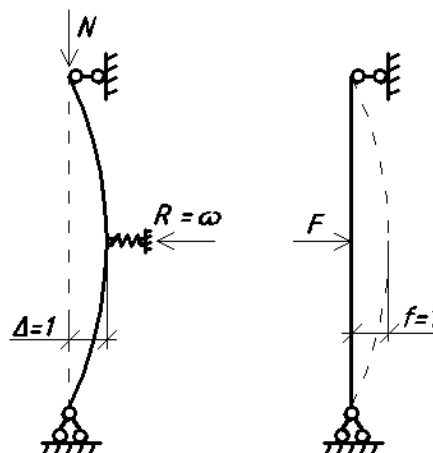


Рис. 4. К определению жесткости дискретных упругих опор

$$f = \frac{Fl^3}{48EI} \text{ и при } f=1 \text{ } F = \frac{48EI}{l^3}.$$

$$\text{Отсюда } \omega = F \cdot \frac{k}{c} = \frac{48EI k}{cl^3}.$$

Реакцию одной упругой опоры (т.е. ее жесткость) в середине пролета будем считать равной величине сосредоточенной силы, приложенной в середине пролета и вызывающей по направлению своего действия единичное перемещение. Влияние продольного усилия  $N$  на отпорность менее нагруженной ветви учитываем умножением жесткости опоры на  $c = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{эйл}}}$ , а деформативность элементов решетки – посредством коэффициента  $k < 1$ .

Аналогично получаем выражения для  $\omega$  при  $n=2-6$ .

При подстановке  $\omega$  и числа опор  $n=1-6$  получаем формулы для коэффициентов расчетной длины  $\mu$ , в которых учитывается как переменность эпюры продольного усилия, так и поддержка менее нагруженной ветви, но уже с дискретными упругими опорами по длине. Формулы приведены в таблице 1. Влияние деформативности решетки и продольного усилия в менее нагруженной ветви может быть учтено аналогично тому, как это сделано в [4].

Количественную оценку влияния уточнения расчетной схемы с дискретными опорами вместо упругой среды на величину коэффициента  $\mu$  выполним на численном примере. При этом учтем соотношение между  $\Delta P$  и  $q$ , указанное ранее.

Пример. Ветви колонны выполнены из двутавра 30Ш1, сталь С345, геометрическая длина

ветвей равна 11,8м, расстояние между ветвями 1,5м, длина панели ветви – 2,4м,  $r=0,437$ . Усилие  $N$  в менее нагруженной ветви равно 600кН. Переменность усилия по длине более нагружен-

ной ветви характеризуется коэффициентом  $\alpha=0,418$ , что соответствует  $P=1460$ кН и  $P_{max}=2070$ кН. Число узлов решетки по длине ветви равно четырем.

Таблица 1

### Формулы для вычисления коэффициента $\mu$ при разном количестве опор

Количество опор, $n$	Формула для вычисления $\mu$
1	$\mu_1 = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{0,985 \cdot k}{c} - \frac{5\Delta P n l^2}{16\pi^2 E I}}}$
2	$\mu_2 = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{1,157 \cdot k}{c} - \frac{7\Delta P n l^2}{27\pi^2 E I}}}$
3	$\mu_3 = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{1,506 \cdot k}{c} - \frac{15\Delta P n l^2}{64\pi^2 E I}}}$
4	$\mu_4 = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{1,564 \cdot k}{c} - \frac{11\Delta P n l^2}{50\pi^2 E I}}}$
5	$\mu_5 = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{1,55 \cdot k}{c} - \frac{91\Delta P n l^2}{432\pi^2 E I}}}$
6	$\mu_6 = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{1,558 \cdot k}{c} - \frac{10\Delta P n l^2}{49\pi^2 E I}}}$

Тогда, по методике, изложенной в [4],

$$\mu = \sqrt{1,652(2 + 0,418) / 2(1,652 + 0,511)} = 0,961$$

По формулам таблицы 1 получаем значения  $\mu$ , которые представлены в табл. 2.

Таблица 2

### Значения коэффициента $\mu$ в зависимости от числа опор

Коэффициент расчетной длины	Количество упругих опор, $n$					
	1	2	3	4	5	6
$\mu$	0,921	0,893	0,854	0,846	0,847	0,845

Таким образом, во-первых, уточнение расчетной схемы ветви путем замены непрерывной среды на дискретные упругие опоры в узлах примыкания элементов решетки колонны дает значения коэффициента  $\mu$  несколько иные, чем по методике [4]. Отличие, в зависимости от числа опор, составляет от 4 до 14 %. Во-вторых, данные табл. 2 показывают, что при числе опор четыре и более величина  $\mu$  практически не зависит от их количества.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимошенко С.П. Устойчивость упругих систем. Изд-во технико-теоретической литературы. М., 1955. 567с.
2. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\* М.: Минрегион России, 2011.

3. Салимов А.Ф. Боковая устойчивость поясов решетчатых арок. Дисс. канд. техн. наук. Казань, 1993, 152 с.

4. Солодов Н.В., Левитанский И.В. Исследование совместной работы элементов решетчатых частей колонн и устойчивости подкрановой ветви из плоскости рамы. М., 1989. 29 с. Рукопись представлена ЦНИИПСК им. Мельникова. Деп. во ВНИИТПИ 20 сентября 1989, N10403.

5. Солодов Н.В., Пешкова Е.В. Исследование устойчивости стержней // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 4. С. 25–27.

6. Серых И.Р. Прочность сталебетонного элемента с составной облоймой при внецентренном сжатии и изгибе // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2005. № 10. С. 442–445.

---

**Solodov N.V., Piriyeв Yunis Selim-ogly**

**THE ESTIMATED LENGTH OF CRANE BRANCHES THROUGH THE STEEL COLUMNS OF PLANE FRAMES**

*In the article the updated design scheme of the crane branch of the steel columns and the formulas derived to calculate its estimated length from the plane of the frame. This takes into account two factors of the actual work: the variability of the longitudinal force and the supporting effect of adjacent branch.*

**Key words:** column, stability, effective length coefficient, crane branch.

---

**Солодов Николай Владимирович**, кандидат технических наук, профессор кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: solodov\_niko\_v@mail.ru

**Пириев Юнис Селим-оглы**, доцент кафедры строительства и городского хозяйства.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.