

УДК 624.072.22

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ В УПРУГО- ПЛАСТИЧЕСКОЙ СТАДИИ РАБОТЫ

Зернов Владимир Викторович,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

кандидат технических наук, доцент кафедры «Механика».

Зайцев Михаил Борисович,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

кандидат технических наук, доцент кафедры «Механика».

Анурьева Юлия Владиславовна,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза,*

студент

Аннотация

Представлен анализ расчета на устойчивость в упруго-пластической стадии работы различных стержневых систем.

Ключевые слова: стержневые системы, устойчивость стержневых систем, параметр критической нагрузки, упруго-пластическая стадия работы.

RECOVERY OF REINFORCED CONCRETE CURTAIN PANELS IN FLAT ROOFS

Zernov Vladimir Victorovich,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Candidate of Sciences, Associate Professor of the department “Mechanics”.

Zaytsev Mihail Borisovich,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Candidate of Sciences, Associate Professor of the department “Mechanics”.

Anuria Julia Vladislavovna,

Penza state University of architecture and construction, Penza,

student

Abstract

Presents an analysis of the stability analysis in elastic-plastic stage of the work of various rod systems.

Keywords: core system stability core system, the critical load parameter, elastic – plastic stage of the work

При напряжениях, превышающих предел упругости, задача устойчивости стержневых систем является достаточно сложной. Для различных сжатых элементов рассматриваемой стержневой системы напряжения будут неодинаковы и могут быть как больше, так и меньше предела упругости. Поэтому изгибная жесткость для каждого сжатого стержня будет различной и характеризуется неизвестным критическим напряжением.

Известно [1], что для стержневых систем, работающих в упруго-пластической стадии определение критической нагрузки ведется методом последовательных приближений. Для стальных рамных конструкций критическая нагрузка при приведенном и касательном модуле упругости отличается менее чем на 3%. За пределом упругости величина приведенного модуля упругости T определяется по диаграмме $\sigma - \varepsilon$, либо по кривой критических напряжений $\sigma_{кр} - \lambda$.

Проведем исследование влияния некоторых параметров на характер работы сжатых элементов системы на основе методики, предложенной авторами в [2]. При этом значения приведенного модуля упругости определяются по расчетной гибкости по графику (рисунок 1).

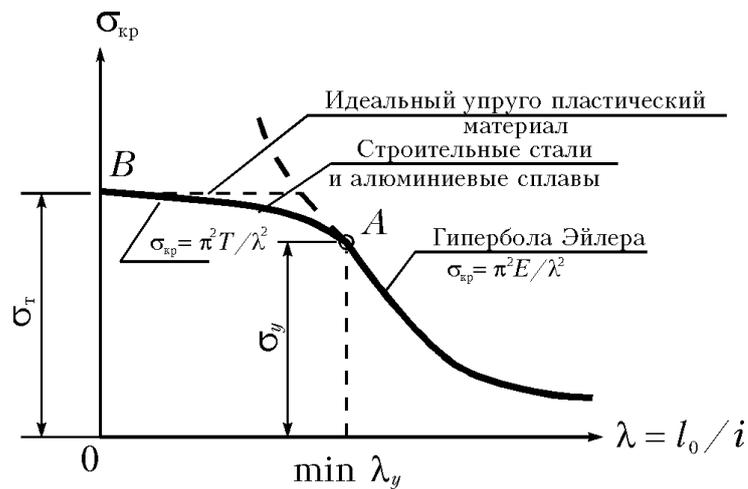


Рисунок 1 – Кривые критических напряжений $\sigma_{кр} - \lambda$

Нахождение величины приведенного модуля упругости T по расчетной гибкости намного проще, чем по значениям критических напряжений. При этом величины критического параметра $\nu_{кр}$, расчетной гибкости λ , а далее величина $\tau = T/E$ и погонная жесткость за пределом упругости определяются одновременно

$$\lambda = \frac{\pi \cdot l}{\nu_{кр} \cdot \rho}, \quad (1)$$

$$\nu_{кр} = \sqrt{\frac{N_{кр} \cdot l^2}{\tau \cdot EI}}, \quad (2)$$

$$t = \tau \cdot i = \tau \cdot \frac{EI}{l}. \quad (3)$$

Рассмотрим конкретные примеры.

Пример 1. Ферма с параллельными поясами (рисунок 2).

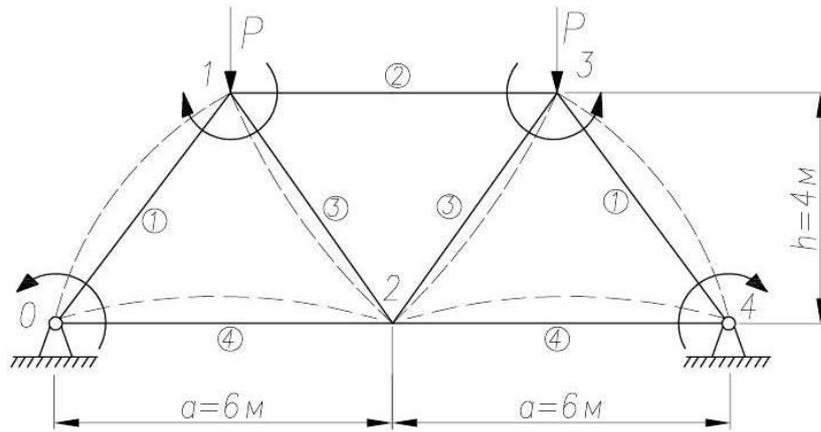


Рисунок 2 – Расчетная схема фермы

Определим критическую нагрузку и расчетные гибкости сжатых стержней 1 и 2 при симметричной форме потери устойчивости. Исходные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

№ элемента	1	2	3	4
$A, \text{см}^2$	40	30	10	20
$I, \text{см}^4$	1000	1000	200	600
λ	100	104		

Найдем критический параметр нагрузки $P_{кр}$ при потере устойчивости в упруго-пластической стадии без учета продольных деформаций стержней. Уравнение критического состояния метода перемещений (без учета растягивающих усилий нижнего пояса) имеет вид:

$$D = (2\varphi_1 + 2)(2\tau_1\varphi_1 + 1.67\tau_2(\varphi_2 - \eta_2) + 0.8) - 4\tau_1^2\eta_1^2 = 0, \quad (4)$$

где $\varphi_1, \eta_1, \varphi_2, \eta_2$ - табличные значения от параметров

$$\nu_1 = \sqrt{\frac{N_1 \cdot l_1}{i_1 \cdot \tau_1}} \text{ и } \nu_2 = 0.93 \sqrt{\frac{\tau_1}{\tau_2}} \nu_1. \quad (5)$$

В таблице 2 приведены результаты решения уравнения (4) методом последовательных приближений в автоматическом режиме [2].

Таблица 2

Параметры	Результаты расчета по приближениям					
	I	II	III	IV	V	VI
τ_1	1	0.69	0.59	0.54	0.52	0.5
τ_2	1	0.83	0.84	0.88	0.94	1
$\nu_{\text{сд}1}$	3.78	4.14	4.34	4.46	4.52	4.57
$\nu_{\text{сд}2}$	3.52	3.51	3.4	3.26	3.12	3.02
λ_1	83	76	72.4	70.4	69.5	69
λ_2	92.6	93	96	100	104	108
Z_1/Z_2	-0.91	-0.742	-0.625	-0.548	-0.505	-0.475
$P_{\text{кр}}$	96.1	79.5	74.5	72.5	71.4	70.2

Так как в первом приближении значения λ_1 и λ_2 меньше $\min \lambda_y = 104$, то сжатые стержни фермы должны работать в упруго-пластической стадии. В действительности при потере устойчивости только опорный раскос работает в упруго-пластической стадии, т.к. окончательные значения $\lambda_1 = 69$ и $\lambda_2 = 108$.

Величины напряжений

$$\sigma_{1\text{кр}} = \frac{N_{1\text{кр}}}{A_1} = 219.2 \text{ МПа}, \quad \sigma_{2\text{кр}} = \frac{N_{2\text{кр}}}{A_2} = 175.5 \text{ МПа}.$$

Результаты расчета показывают, что при потере устойчивости в упруго-пластической стадии схема деформаций фермы (отношение углов поворота Z_1/Z_2) значительно отличается от схемы деформаций в упругой стадии.

Пример 2. Четырехэтажная стальная однопролетная рама (рисунок 3).

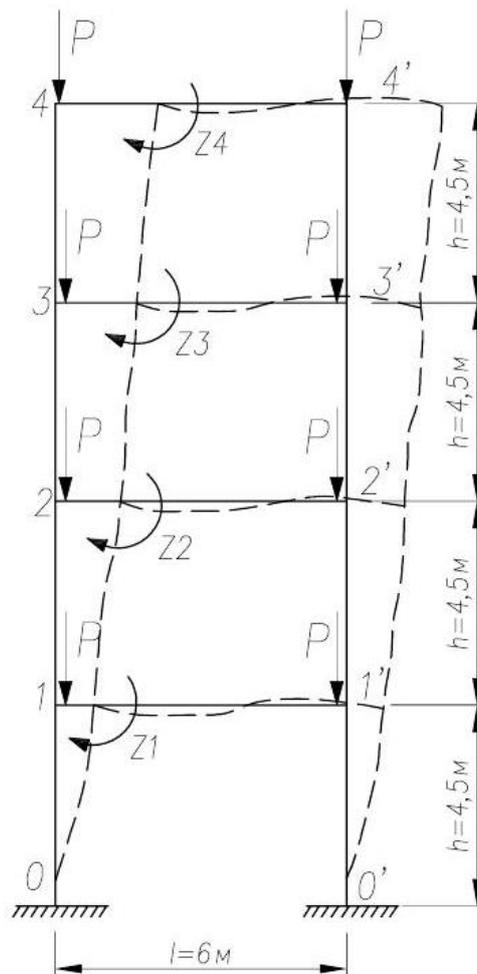


Рисунок 3 – Расчетная схема рамы

Проведем расчет на устойчивость данной рамы в упруго-пластической стадии работы. Исходные данные приведены в таблице 3.

Таблица 3

№ этажа	1	2	3	4
Сечения стоек	Двутавр №40	Двутавр №36	Двутавр №33	Двутавр №30
Сечения ригелей	Двутавр №45	Двутавр №45	Двутавр №45	Двутавр №33
h/ρ	28.3	31.9	34.1	37.2

Для стоек рамы параметры ν и отношения h/ρ различны для разных этажей и при потере устойчивости отношение $\tau = T/E$ тоже будет различным.

Критические значения параметров $v_{\text{сб}}$ и углы поворота узлов определяются из системы трехчленных однородных уравнений вида

$$Z_{k-1}r_{k,k-1} + Z_k r_{k,k} + Z_{k+1}r_{k,k+1} = 0. \quad (6)$$

Результаты расчета приведены в таблице 4.

Таблица 4

Параметры по этажам		Результаты расчета по приближениям							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
τ_k	1	1	0.15	0.093	0.093	0.93	0.93	0.93	0.93
	2	1	0.2	0.17	0.23	0.31	0.41	0.51	1
	3	1	0.26	0.28	0.47	0.73	1	1	1
	4	1	0.52	1	1	1	1	1	1
λ_k	1	36.7	29	28.7	28.7	28.7	28.6	28.6	28.6
	2	42.3	38.5	45.3	52.7	61.4	70	78.6	110
	3	48.4	50.4	66.7	86.3	108	126	126	126
	4	70.7	104.5	185	185	185	185	185	185
Z_k	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	0.75	0.135	0.56	0.054	0.057	0.064	0.07	0.117
	3	0.21	0.007	0.0	0.0026	0.0033	0.005	0.006	0.01
	4	0.06	0.0007	0.0003	0.0004	0.0006	0.0008	0.001	0.002
$N_{\text{кп1}}$		1319	316.8	202.0	202.0	202.0	202.8	202.8	202.8

Значения $N_{\text{кп1}}$ определяются из зависимости

$$N_{\text{кп1}} = v_{\text{кп1}}^2 \frac{EI_1 \tau_1}{h_1^2} = v_{\text{кп1}}^2 \frac{\pi^2 E \tau_1}{\lambda_1^2}.$$

Согласно расчету только стойки 1-ого этажа теряют устойчивость в упруго-пластической стадии. При $N_{\text{кп1}} = 202.8$ т напряжения в стойках

$$\sigma_{1\text{кп}} = 236.61 \text{ МПа} > \sigma_y, \sigma_{2\text{кп}} = 177.2 \text{ МПа} < \sigma_y$$

$$\sigma_{3\text{кп}} = 136.8 \text{ МПа} < \sigma_y, \sigma_{4\text{кп}} = 62.7 \text{ МПа} < \sigma_y$$

Выводы

1. Для стержневых систем процесс итерации по определению $\tau, \nu_{кр}, \lambda$ сходятся к их точным значениям. Быстрота сходимости зависит от отношения l/ρ для сжатых элементов и от отношений моментов инерции и продольных сил для остальных.
2. При потере устойчивости стержневой системы область работы сжатых элементов зависит не только от отношения l/ρ , но и от соотношения I и N для различных стержней.
3. Результаты расчета стержневых систем на устойчивость в упругой стадии могут значительно отличаться от результатов, соответствующих потере устойчивости в упруго-пластической стадии работы.

Библиографический список:

1. Раевский А.Н. Определение расчетных длин стоек многоэтажных рам промышленных зданий // Строительная механика и расчет сооружений. 1963. №3.
2. Ласьков Н.Н. Зернов В.В., Зайцев М.Б. Определение критической нагрузки для стропильных ферм в упругой и упруго-пластической стадиях работы // Региональная архитектура и строительство. 2014. № 4.
3. Зернов В.В., Зайцев М.Б. Определение предельной нагрузки для сжатого искривленного стержня фермы с учетом развития пластических деформаций сечения и реальных условий закрепления в узлах [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2015. №2. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://mechanicspguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no2/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/2.17/view>
4. Монахов В.А., Зайцев М.Б., Бураева Д.А. Методы численного расчета сжатых стержней на устойчивость [Электронный ресурс] // Моделирование и механика конструкций. 2016. №4. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no4/stroitelnyaya-mehanika/4.5/at_download/file