

УДК 69.04

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ТОНКОСТЕННЫХ КРИВОЛИНЕЙНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АРОК, СЖАТЫХ СИЛАМИ С ОДИНАКОВЫМИ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТАМИ

Г.М. Маркосян¹, Д.В. Уразгильдеев²

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)

² АО «Механобр Инжиниринг», г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)

Аннотация. В данной статье произведен расчет стержневых элементов арок по деформационной теории прямолинейного стержня, с целью определения возможности применения данной теории к решению задач устойчивости стержней с криволинейной осью по изгибно-крутильной форме, где кривизна элементов учитывается, как начальное несовершенство. Для решения поставленной задачи используется алгоритм «Стержень». Для сопоставления результатов расчета по каждой из теорий, выводятся коэффициенты устойчивости в зависимости от радиуса кривизны, гибкости и относительного эксцентриситета (увеличивающего или уменьшающего кривизну арки). Также для наглядности некоторые результаты представлены в графическом виде.

Ключевые слова: стержень с криволинейной осью, деформационная теория прямолинейных стержней, тонкостенный стержень открытого профиля, устойчивость по изгибно-крутильной форме.

Ссылка для цитирования: Маркосян Г.М., Уразгильдеев Д.В. Оценка устойчивости тонкостенных криволинейных стержневых элементов арок, сжатых силами с одинаковыми эксцентриситетами // Инженерные исследования. 2024. №5(20). С. 22-30. EDN: QKLOZI

ASSESSMENT OF THE STABILITY OF THIN-WALLED CURVED BAR ELEMENTS OF ARCHES COMPRESSED BY FORCES WITH THE IDENTICAL ECCENTRICITIES

G.M. Markosyan¹, D.V. Urazgildeev²

¹ Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

² JSC "Mekhanobr Engineering", St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. In this article, the core elements of arches are calculated according to the deformation theory of a rectilinear bar, in order to determine the possibility of applying this theory to solving problems of stability of bars with a curved axis in a flexural-torsional shape, where the curvature of the elements is taken, into account as an initial imperfection. The "Pivot" algorithm is used to solve this problem. To compare the calculation results for each of the theories, stability coefficients are derived depending on the radius of curvature, flexibility and relative eccentricity (increasing or decreasing the curvature of the arch). Also, for clarity, some of the results are presented graphically.

Keywords: a bar with a curved axis, the deformation theory of rectilinear rods, a thin-walled Bar with an open profile, stability in a flexural-torsional shape.

For citation: Markosyan G.M., Urazgildeev D.V. Assessment of the stability of thin-walled curved bar elements of arches compressed by forces with the identical eccentricities // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2024. No.5(20). Pp. 22-30. EDN: QKLOZI

ВВЕДЕНИЕ

Для оценки устойчивости по изгибно-крутильной форме стержневых элементов арок необходимо, в соответствии с деформационной теорией криволинейных тонкостенных стержней [1], решить систему дифференциальных уравнений равновесия. В работе [3] был реализован данный расчет при упругой работе материала для криволинейного стержня, нагруженного продольной силой с равными концевыми двухосными эксцентриситетами, в следствии был получен коэффициент устойчивости, позволяющий определить критическую силу. Однако, при необходимости учета различных концевых моментов, приложенных к стержню, использование теории криволинейных стержней не представляется возможным из-за громоздкости уравнений.

Таким образом, настоящая статья посвящена исследованию устойчивости по изгибно-крутильной форме криволинейных элементов арок при упругой работе материала по теории прямолинейных стержней. Результаты, полученные по теории прямолинейного стержня, будем сравнивать с результатами работы [3].

Для изучения напряженно-деформированного состояния от начала загрузки до потери несущей способности используются дифференциальные уравнения изгиба и кручения по деформированному состоянию. В связи с тем, что сечение арки обладает большой изгибной жесткостью в главной плоскости ($I_x \gg I_y$), то перемещение в этой плоскости будет мало влиять на усилия, определяемые по изгибно-крутильным деформациям, следовательно, данным перемещением можно пренебречь.

В работе [3] рассматривается арка с равномерно-распределенной нагрузкой по площади покрытия, где от наихудшей комбинации РСУ были получены максимальные «недеформационные» усилия, которые будем обозначать «0» – N^0, M_x^0 . Потеря устойчивости арки из ее плоскости будет происходить на участке, который раскреплен прогонами, вырежем данный сегмент для дальнейшего исследования (рис.1). Рассмотрим данный участок, как шарнирно закрепленный в двух плоскостях, у которого углы закручивания концевых сечений отсутствуют (вилочные опоры), а депланация торцов стеснена упругими диафрагмами (рис.2). Для упрощения расчетной схемы введем силу F , и выразим ее через «недеформационные» усилия N^0 и M_x^0 . В следствии, сила F будет приложена к арке с равными концевыми двухосными эксцентриситетами (рис.2). $e_y = \frac{M_x^0}{N^0}$ – эксцентриситет в плоскости наибольшей жесткости арки; $e_{x,c} = \frac{l e_f y}{750} + \frac{i_y}{20}$ – случайный эксцентриситет из плоскости арки [10]; l – шаг прогонов; R – радиус кривизны арки; f – стрела подъема арки;

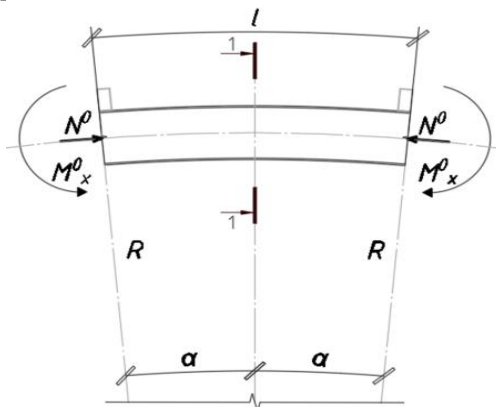


Рис. 1. Вырезанный сегмент арки между прогонами
 Fig. 1. A cut-out segment of the arch between the purlins

Система общих дифференциальных уравнений равновесия [2], с учетом симметричности сечения относительно главных осей и приложенных нагрузок, в соответствии с деформационной теорией прямолинейных стержней:

$$\begin{cases} EI_y u^{II} - N^0 u + M_x^0 \theta = 0 \\ EI_\omega \theta^{III} - GI_k \theta^I + M_x^0 u^I + i_p^2 N^0 \theta^I = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где:

I_y, I_ω, I_k – главный осевой момент инерции, секториальный момент инерции и момент инерции чистого кручения; E, G – модули линейной и угловой деформаций; $i_p = \sqrt{i_x^2 + i_y^2}$ – полярный радиус

инерции; u – перемещение сечения стержня вдоль оси X ; θ – угол закручивания сечения вокруг оси Z ; M_x^0 – изгибающий момент в плоскости наибольшей жесткости арки вокруг оси X ; Знак «штрих» показывает дифференцирование по длине стержня.

В расчете приняты следующие правила знаков:

1. Продольная сила отрицательна, если она сжимает элемент.
2. Изгибающий момент отрицательный, если его вектор-момент направлен против оси координат.
3. Перемещение положительно, если оно сонаправлено с осью системы координат.
4. Угол закручивания положительный, если, смотря по направлению положительной оси OZ сечение поворачивается по часовой стрелке.

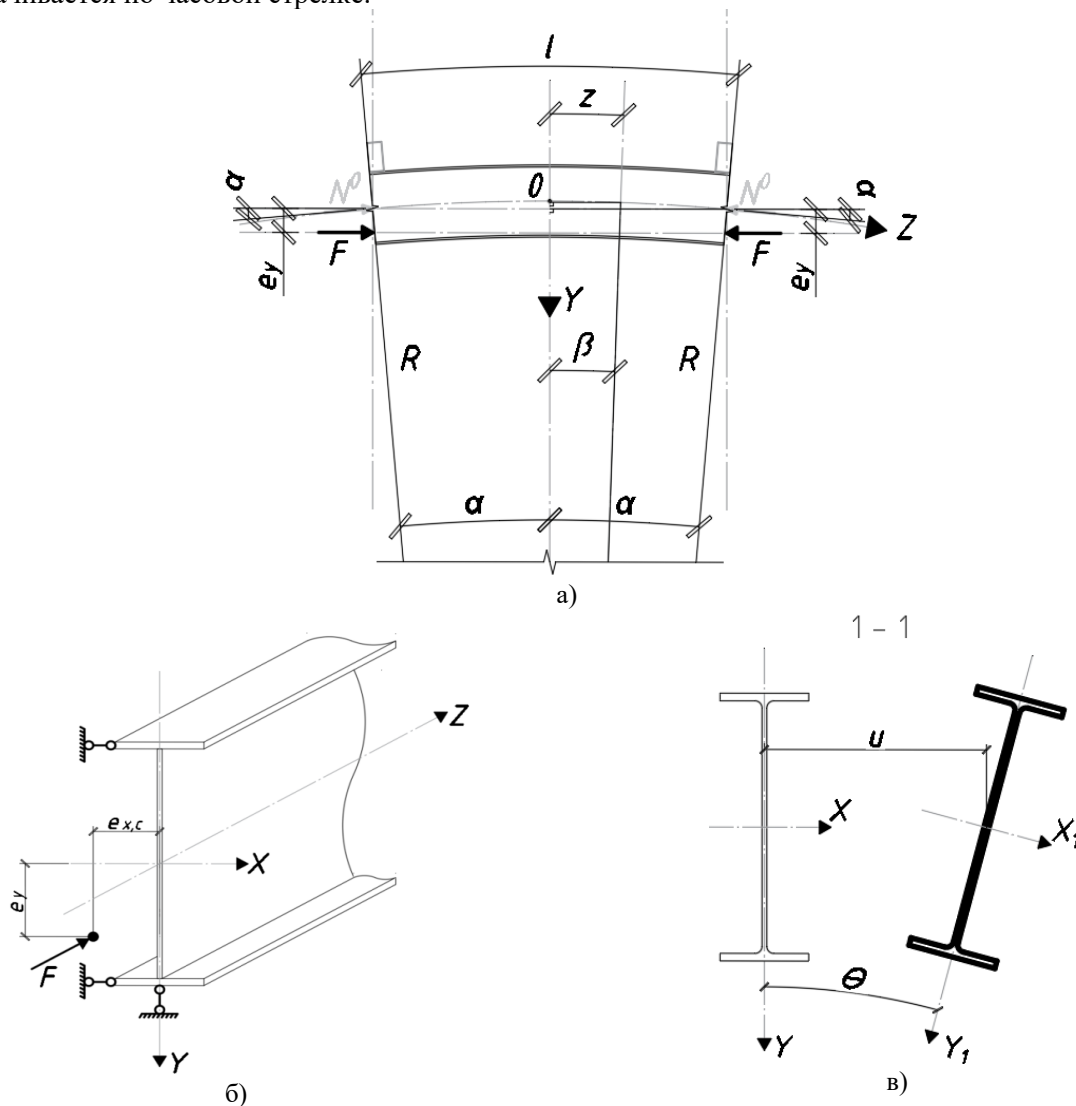


Рис. 2. Расчетная схема: а) – схема загрузки стержня; б) – граничные условия; в) – изгибно-крутильные перемещения сечения;

Fig. 2. Calculation scheme: a) – bar loading scheme; b) – boundary conditions; c) – flexural-torsional displacement of the section;

Начальную кривизну стержня будем учитывать, как начальное несовершенство. Учтем действительное распределение усилий по длине криволинейного стержня, для этого в системе (1) усилия, обозначенные «ноликом», представим в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 N^0 &= F \cos \beta; M_x^0 = F(R \cos \beta - R \cos \alpha + e_y); M_y^0 = F e_{x,c} \cdot \cos \beta; \\
 M_z^0 &= F e_{x,c} \cdot \sin \beta; \alpha = \frac{l}{2R}; \beta = \frac{z}{R};
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где:

M_y^0 – изгибающий момент из плоскости наибольшей жесткости арки вокруг оси Y; M_z^0 – изгибающий момент вокруг оси Z; z – координата по оси Z, изменяющаяся от 0 до $\frac{l}{2}$ включительно;

Для решения системы (1) воспользуемся аналитическим методом [2], в котором деформированное состояние двутавра опишем двумя "деформационными" уравнениями относительно перемещений и углов закручивания сечений:

$$u = u_n + u_{уст.}; \theta = \theta_n + \theta_{уст.} \quad (3)$$

где:

u_n, θ_n – функции перемещений и угла закручивания, полученные расчетом по недеформированной схеме; $u_{уст.}, \theta_{уст.}$ – функции потери устойчивости;

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НЕДЕФОРМАЦИОННОГО РАСЧЕТА

Решаем уравнения, составленные по недеформированной расчетной схеме, для определения первых слагаемых (3) с индексом «н»:

$$u_n = U_n \psi_n(z); \theta_n = \Theta_n v_n(z); \quad (4)$$

где:

U_n, Θ_n – константы перемещения и угла закручивания (амплитуды изгибно-крутильных перемещений); $\psi_n(z), v_n(z)$ – безразмерные функции, определяющие формы деформирования;

Для того, чтобы определить перемещение и угол закручивания по недеформированной схеме, решим задачу недеформационного расчета:

$$EI_y u_n^{II} = Fe_{x,c} \cdot \cos\beta; EI_\omega \theta_n^{III} - GI_k \theta_n^I = Fe_{x,c} \cdot \sin\beta \quad (5)$$

Граничные условия:

1) при $z = 0$: $u_n^I = \theta_n^I = u_n^{III} = \theta_n^{III} = 0$; 2) при $z = \frac{l}{2}$: $u_n = \theta_n = u_n^{II} = \theta_n^{II} = 0$;

Для принятой расчетной схемы и граничных условий получим:

$$U_n = \frac{Fe_{x,c} R^2}{EI_y}; \Theta_n = \frac{Fe_{x,c} R^3}{EI_\omega}; \quad (6)$$

$$\psi_n(z) = \cos\alpha - \cos\left(\frac{z}{R}\right); \quad (7)$$

$$v_n(z) = \left[\frac{1}{(k^2 R^2 + 1)} \left(\cos\alpha - \cos\left(\frac{z}{R}\right) \right) + \frac{\sin\alpha (ch(kl) - ch(kz))}{k^2 R^2 (k^2 R^2 + 1) ch\left(\frac{kl}{2}\right)} - \frac{\cos\left(\frac{z}{R}\right)}{(k^2 R^2 + 1)} \right] \quad (8)$$

где:

$k = \sqrt{\frac{GI_k}{EI_\omega}}$ – изгибно-крутильная характеристика.

РЕШЕНИЕ БИФУРКАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ УСТОЙЧИВОСТИ

Решаем уравнения бифуркационной задачи устойчивости, определим вторые слагаемые (3) с индексом «уст»:

$$u_{уст.} = U_{уст.} \psi_{уст.}(z); \theta_{уст.} = \Theta_{уст.} v_{уст.}(z); \quad (9)$$

где:

$U_{уст.}, \Theta_{уст.}$ – некоторые неизвестные константы, с точности до которых решаются бифуркационные задачи устойчивости; $\psi_{уст.}(z) = v_{уст.}(z)$ – формы потери устойчивости [4];

$$\psi_{уст.}(z) = v_{уст.}(z) = \cos\left(\frac{\pi z}{l}\right); \quad (10)$$

МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ УСТОЙЧИВОСТИ ПО ИЗГИБНО-КРУТИЛЬНОЙ ФОРМЕ

Подставим в систему (1) уравнение (3):

$$\begin{cases} N_u = EI_y u_{уст.}^{II} - N^0(u_n + u_{уст.}) + M_x^0(\theta_n + \theta_{уст.}) = 0 \\ N_\theta = EI_\omega \theta_{уст.}^{III} - GI_k \theta_{уст.}^I + M_x^0(u_n + u_{уст.})^I + i_p^2 N^0(\theta_n + \theta_{уст.})^I = 0 \end{cases} \quad (11)$$

Систему (11) решим методом Бубнова-Галёркина:

$$\int_0^{\frac{l}{2}} N_u \psi_{уст.}(z) dz = 0; \int_0^{\frac{l}{2}} N_\theta u_{уст.}(z) dz = 0; \quad (12)$$

Решим систему уравнений относительно двух неизвестных $U_{уст.}, \Theta_{уст.}$, определив которые будем иметь все компоненты перемещений и углов:

$$u = U_H \psi_H(z) + U_{уст.} \psi_{уст.}(z); \quad \theta = \Theta_H u_H(z) + \Theta_{уст.} u_{уст.}(z) \quad (13)$$

Изгибно-крутильные «деформационные» усилия с учетом полученных перемещений и углов:

$$M_y = M_y^0 - N^0 u + M_x^0 \theta; \quad B_\omega = -EI_\omega \theta'' \quad (14)$$

Для оценки устойчивости арки при упругой работе материала запишем проверку прочности согласно СП 16.13330.2017 по деформированной схеме среднего сечения вырезанного элемента, учитывая (14):

$$\frac{N^0}{AR_y \gamma_c} + \frac{M_x^0}{W_x R_y \gamma_c} + \frac{M_y^0 - N^0 u + M_x^0 \theta}{W_y R_y \gamma_c} + \frac{B_\omega}{W_\omega R_y \gamma_c} \leq 1 \quad (15)$$

Преобразуем и выведем коэффициент устойчивости $\varphi_{c,y}^*$:

$$\frac{N^0}{AR_y \gamma_c} + \frac{N^0 e_y}{\rho_x AR_y \gamma_c} + \frac{N^0 e_{x,c}}{\rho_y AR_y \gamma_c} - \frac{N^0 u}{\rho_y AR_y \gamma_c} + \frac{N^0 e_y \theta}{\rho_y AR_y \gamma_c} + \frac{N^0 \omega_N}{\rho_\omega AR_y \gamma_c} \leq 1 \quad (16)$$

$$\varphi_{c,y}^* = \frac{1}{(1 + m_x + m_y - \frac{(u(0) - e_y \theta(0))}{\rho_y} + m_\omega)} = \frac{N^0}{AR_y \gamma_c} \quad (17)$$

где:

ρ_x, ρ_y – ядровые расстояния; ρ_ω – секториальная координата крайней точки профиля; $\omega_N = \frac{B_\omega(0)}{N^0}$ – «деформационная» секториальная координата точки приложения силы; $m_x = \frac{e_y}{\rho_x}, m_y = \frac{e_{x,c}}{\rho_y}, m_\omega = \frac{\omega_N}{\rho_\omega}$ – относительные осевые и «деформационный» секториальный эксцентриситеты; $W_\omega = \frac{I_\omega}{\rho_\omega}$ – секториальный момент сопротивления сечения;

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Построим две расчетные схемы в Лира-САПР с одинаковой высотой подъема, одинаковым шагом прогонов, но разными радиусами кривизны и рассмотрим выделенные фрагменты (рис.3). От наихудшей комбинации загружений получим максимальные усилия в элементе арки.

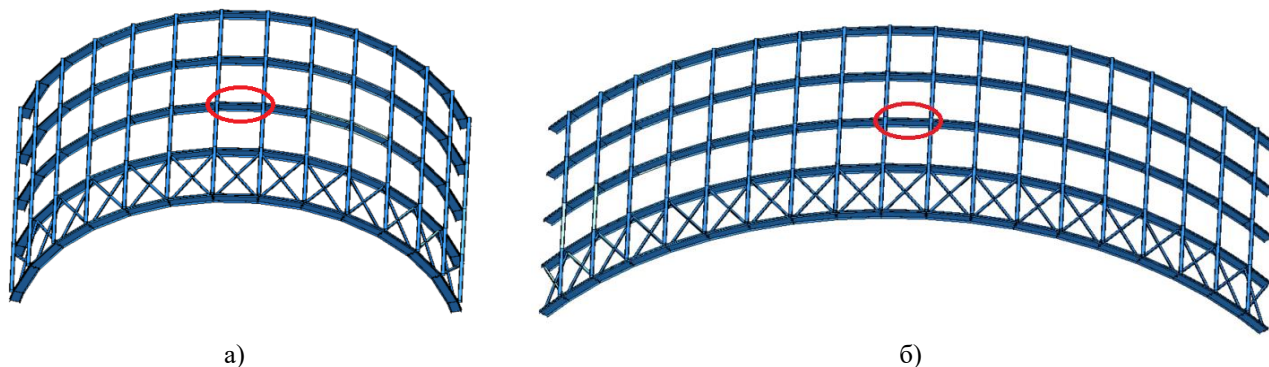


Рис. 3. Общий вид рассматриваемых конструкций: а) – каркас №1 ($R = 15m; f = 12m; l = 3m.$); б) – каркас №2 ($R = 30m; f = 12m; l = 3m.$);

Fig. 3. General view of the structures under consideration: а) – skeleton №1 ($R = 15m; f = 12m; l = 3m.$); б) – skeleton №2 ($R = 30m; f = 12m; l = 3m.$);

Задача устойчивости по изгибно-крутильной форме решим для стержней с условной гибкостью λ' от 1,6 до 5,2 при одной и той же длине криволинейного стержня. Гибкость стержня менялась за счет изменения сечения. Для исследования устойчивости были рассмотрены две схемы (рис.4) загрузки продольной силой F в плоскости арки. Значения относительных эксцентриситетов в плоскости наибольшей жесткости $m_x = \pm 1; \pm 3$.

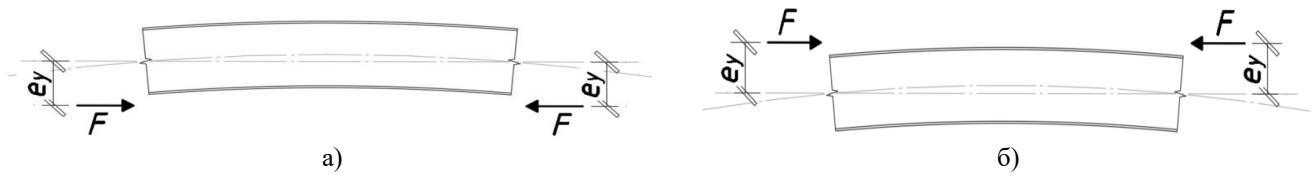


Рис. 4. Схемы загрузки продольной силой: а) – схема №1 – сила, увеличивающая кривизну стержня
 б) – схема №2 – сила, уменьшающая кривизну стержня
Fig. 4. Schemes of loading by lengthwise force: а) – sheme №1 – force increasing the curvature of the bar
 б) – sheme №2 – force reducing the curvature of the bar

Построим графики и нанесем значения, полученные по теории прямолинейного стержня (сплошные линии) и по теории криволинейного стержня [3] (пунктирные линии). Графики зависимости приведены для коэффициентов устойчивости и гибкости, с учетом относительного эксцентриситета $m_x = \pm 1$ и радиуса кривизны (рис.5, рис.6). В табл.1 представлено сопоставление результатов расчетов, полученных по двум теориям.

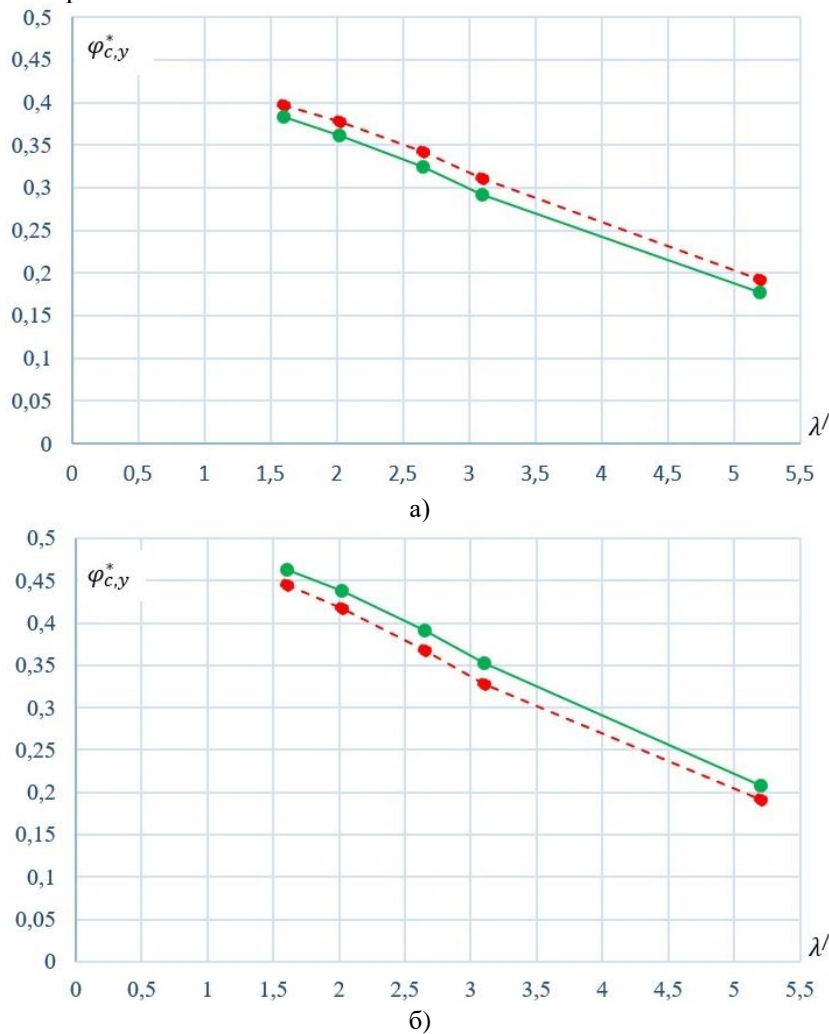


Рис. 5. Графики зависимости $\varphi_{c,y}^*$ от λ' по теории прямого (сплошная линия) и криволинейного стержней (пунктирная линия) для $R = 15m$: а) $m_x = +1$; б) $m_x = -1$;
Fig. 5. Dependence graphs according $\varphi_{c,y}^*$ and λ' to the theory of straight (green line) and curved bars (red dotted line) for $R = 15m$: а) $m_x = +1$; б) $m_x = -1$;

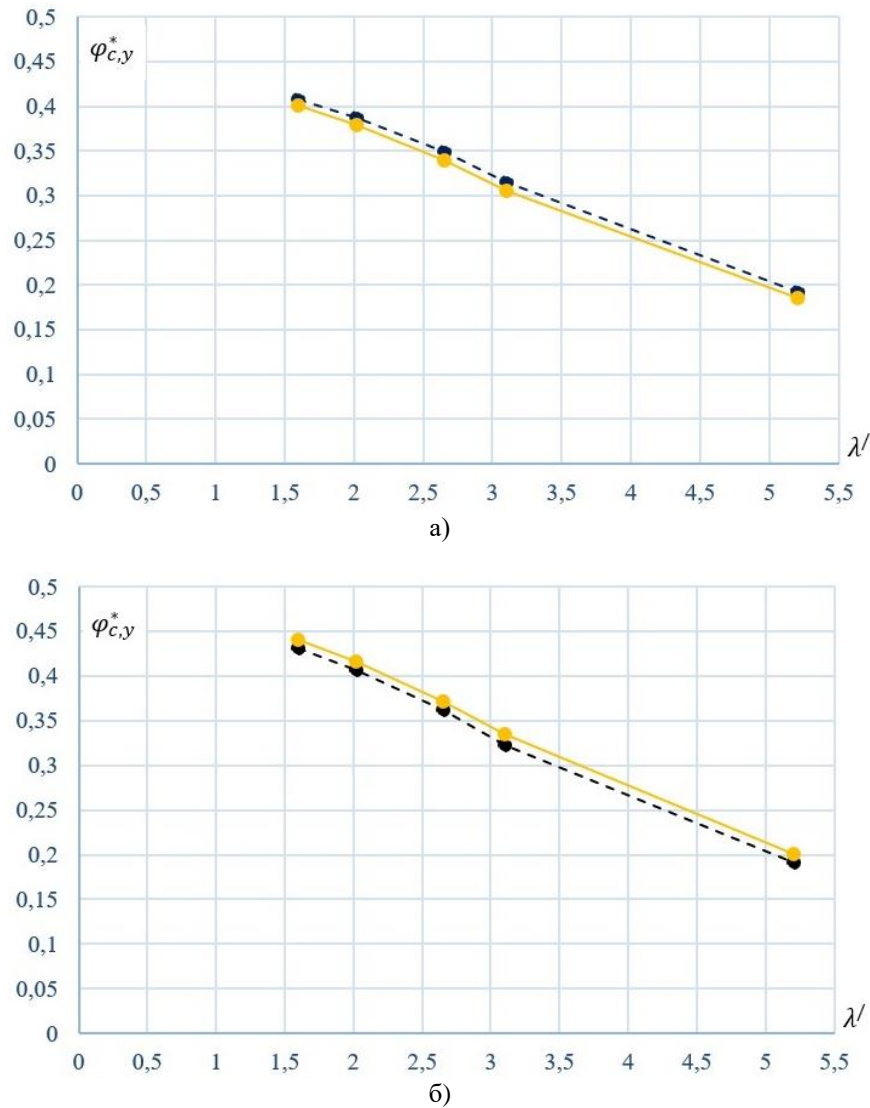


Рис. 6. Графики зависимости $\varphi_{c,y}^*$ от λ' по теории прямого (сплошная линия) и криволинейного стержней (пунктирная линия) для $R = 30m$: а) $m_x = +1$; б) $m_x = -1$;

Fig. 6. Dependence graphs according $\varphi_{c,y}^*$ and λ' to the theory of straight (green line) and curved bars (red dotted line) for $R = 30m$: а) $m_x = +1$; б) $m_x = -1$;

Таблица 1. Коэффициенты устойчивости $\varphi_{c,y}^*$, полученные по теории криволинейного и прямолинейного стержней
Table 1. Stability coefficients $\varphi_{c,y}^*$, obtained from the theory of curvilinear and rectilinear bars

m_x	λ'	Радиус кривизны				Сравнение методов, %	
		$R = 15m$		$R = 30m$		$R = 15m$	$R = 30m$
		По теории кривого стержня	По теории прямого стержня	По теории кривого стержня	По теории прямого стержня		
+1	1,6	0,3964	0,3826	0,407	0,4006	3,476	1,562
	2,02	0,3773	0,3614	0,3869	0,3784	4,213	2,192
	2,65	0,3423	0,3243	0,3487	0,3392	5,263	2,736
	3,1	0,3105	0,2915	0,3148	0,3052	6,143	3,030
	5,2	0,1929	0,177	0,1929	0,1855	8,242	3,846
-1	1,6	0,4452	0,4632	0,4314	0,4399	4,048	1,966
	2,02	0,4176	0,4377	0,407	0,4165	4,822	2,344
	2,65	0,3678	0,3911	0,3614	0,372	6,340	2,933
	3,1	0,3275	0,3519	0,3233	0,3349	7,443	3,607
	5,2	0,1918	0,2077	0,1918	0,2003	8,287	4,420

m_x	λ'	Радиус кривизны				Сравнение методов, %	
		$R = 15\text{м}$		$R = 30\text{м}$		$R = 15\text{м}$	$R = 30\text{м}$
		По теории кривого стержня	По теории прямого стержня	По теории кривого стержня	По теории прямого стержня		
+3	1,6	0,209	0,205	0,212	0,210	2,030	1,000
	2,02	0,200	0,195	0,202	0,200	2,646	1,047
	2,65	0,184	0,179	0,187	0,183	2,874	1,705
	3,1	0,171	0,164	0,172	0,169	3,727	1,852
	5,2	0,113	0,106	0,112	0,108	6,542	3,774
-3	1,6	0,220	0,226	0,217	0,220	2,404	1,366
	2,02	0,210	0,216	0,208	0,210	3,030	1,020
	2,65	0,191	0,198	0,189	0,193	3,889	2,247
	3,1	0,174	0,182	0,173	0,177	4,878	2,454
	5,2	0,109	0,117	0,110	0,113	6,796	2,885

По результатам в таблице 1 видно, что при положительном значении момента (увеличивающий кривизну) результаты по теории прямолинейного стержня дают заниженные значения критических параметров по сравнению с криволинейным стержнем, а в случае с отрицательным моментом картина обратная. Это факт можно объяснить тем, что начальная кривизна стержня оказывает стабилизирующий эффект на конструкцию и разгружает момент увеличивающий кривизну стержня, и наоборот – догружает момент уменьшающий кривизну стержня. Данный эффект не учтен в теории прямолинейного стержня.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на основании полученных результатов по сопоставлению результатов расчета по теории прямолинейного и криволинейного стержней можно сделать следующие выводы: расчет стержневых элементов арок на устойчивость по изгибно-крутильной форме допускается производить, основываясь на теории прямого стержня. На основе алгоритма "Стержень" предложен алгоритм расчета на устойчивость по изгибно-крутильной форме стержневых элементов сплошностенчатых арок бисимметричного сечения при упругой работе материала. Изучена особенность деформирования и потери устойчивости криволинейных стержней при различных случаях загрузки. По результатам показано, что с увеличением кривизны знак момента значительно влияет на устойчивость при относительно малых эксцентриситетах. Разница между двумя теориями, при заданной кривизне стержня 15м и относительном эксцентриситете $m_x = +1$, составляет не более 9%. При этом, при малых радиусах необходимо вводить дополнительный поправочный коэффициент, зависящий от кривизны и знака момента, который учитывал бы особенности деформирования стержней с криволинейной осью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бейлин Е.А., Белый Г.И. Деформационный расчет и пространственные формы потери устойчивости тонкостенных криволинейных стержней // Сопротивление материалов и теория сооружений. Киев: Будивельник. 1972. Вып. 16. С. 186-189.
2. Бейлин Е.А. Общие уравнения деформационного расчёта и устойчивости тонкостенных стержней // Строительная механика и расчёт сооружений. 1969. №5. С.35-41.
3. Белый Г.И., Уразильдеев Д.В. К расчету на устойчивость криволинейных стержневых элементов сплошностенчатых стальных арок по изгибно-крутильной форме // Вестник гражданских инженеров. 2018. №2(67). С. 54-59. DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-2-54-59. EDN USSMTC.
4. Белый Г.И. О расчете упругих стержней по деформированной схеме при действии активных и параметрических нагрузок // Механика стержневых систем и сплошных сред. Л., 1980. С. 41-48.
5. Уразильдеев Д. В. Экспериментальное исследование изгибно-крутильных деформаций и устойчивости криволинейных элементов стальных арок двутаврового сечения // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 1(78). С. 94-99. DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-1-94-99. EDN SVDLYY.
6. Советников Д.О., Азаров А.А., Иванов С.С., Рыбаков В.А. Методы расчета тонкостенных стержней: статика, динамика, устойчивость // AlfaBuild. 2018. №3(1). С. 7-33.
7. Дмитриев А.Н., Семенов А.А., Лалин В.В. Устойчивость равновесия упругих арок с учетом искривления оси // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2018. № 4(67). С. 19-31. DOI 10.18720/CUBS.67.2. EDN ХТҮНХҒ.

8. Серазутдинов М. Н. Аналитические решения для криволинейных стержней на основе соотношений для прямолинейного стержня // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. № 2(64). С. 70-79. DOI 10.52409/20731523_2023_2_70. EDN YWXCUL.
9. Колоколов С. Б. Методика подбора сечения стальной арки при помощи деформационного расчета // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 5(180). С. 151-154. EDN VAUOUJ.
10. Кудишин Ю.И., Беленя Е.И., Игнатьева В.С. Металлические конструкции: учебник для студ. высш. учеб. заведений; под общ. ред. Ю.И. Кудишина. – М.: Академия, 2010. 681 с.

ОБ АВТОРАХ

Григорий Маратович Маркосян – магистрант Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: markosyan.grisha999@mail.ru

Дмитрий Вадимович Уразгильдеев – консультант, руководитель архитектурно-строительного отдела. АО «Механобр Инжиниринг». 199106, Россия, г. Санкт-Петербург, В.О., 22 линия д.3 к.7. E-mail: urazgildeev.dv@mekhanobr.com

ABOUT THE AUTHORS

Grigoriy M. Markosyan – master's student of the Higher School of Industrial, Civil and Road Construction. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU) 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: markosyan.grisha999@mail.ru

Dmitriy V. Urazgildeev – consultant, head of the architectural and construction department. JSC “Mekhanobr Engineering”. 199106, Russia, St.Petersburg, V.O., Line 22, bldg. 3-7K, office 204. E-mail: urazgildeev.dv@mekhanobr.com