

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

## ENGINEERING AND CONSTRUCTION OF ROADS, SUBWAYS, AIRDROMES, BRIDGES AND TUNNELS

Вестник Томского государственного  
архитектурно-строительного университета.  
2026. Т. 28. № 1. С. 249–259.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)  
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo  
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –  
Journal of Construction and Architecture.  
2026; 28 (1): 249–259.  
Print ISSN 1607-1859  
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.21.095.072.2

DOI: 10.31675/1607-1859-2026-28-1-249-259

EDN: SGLGYD

### К РАСЧЕТУ НЕСУЩИХ БАЛОК ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ ТРУБЧАТОГО СЕЧЕНИЯ

**Владимир Михайлович Картопольцев**

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Томск, Россия*

*ООО «ДИАМОС», г. Томск, Россия*

**Аннотация.** *Актуальность.* Расширение диапазона длин применяемых пролетных строений металлических мостов с балками трубчатого сечения указывает на необходимость уточнения расчета на современные нагрузки, при воздействии которых не исключается появление в работе балок клавишного эффекта. Сложное напряженное состояние в работе таких пролетных строений предопределяет их пространственную работу изменением поперечного давления на балки при изгибно-крутильном деформировании и отражает тем самым новизну и актуальность рассматриваемых в статье исследований.

**Цель работы.** Для пролетных строений из балок трубчатого сечения, обладающих пониженной жесткостью в условиях сложного нагружения, отследить проявление изгибно-крутильных деформаций и клавишного эффекта.

**Результаты.** Был усовершенствован расчет для создания «устойчивости» пролетных строений из труб для различных диапазонов отношения  $\frac{h_b}{L} = \left( \frac{1}{11} \dots \frac{1}{30} \right)$  и  $\frac{B}{L} > 0,5$ .

**Ключевые слова:** балка, труба, пролетное строение, нагрузка, давление, жесткость

*Для цитирования:* Картопольцев В.М. К расчету несущих балок пролетных строений мостов трубчатого сечения // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2026. Т. 28. № 1. С. 249–259. DOI: 10.31675/1607-1859-2026-28-1-249-259. EDN: SGLGYD

## ORIGINAL ARTICLE

## STRENGTH ANALYSIS OF LOAD-BEARING BEAMS OF TUBULAR BRIDGES

**Vladimir M. Kartopoltsev**

*Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia*

*ООО "DIAMOS", Tomsk, Russia*

**Abstract.** The length expansion of the tubular bridge spans indicates the need to improve the strength analysis of modern loads, which do not exclude a keyboard effect in the beam operation.

**Purpose:** The purpose of this work is to study bending and torsion deformation and the keyboard effect in tubular bridge spans with reduced rigidity under difficult loading conditions.

**Research findings:** The theoretical calculation for the stability of bridge spans is improved within the different range of  $\frac{h_b}{L} = \left(\frac{1}{11} \dots \frac{1}{30}\right)$  and  $\frac{B}{L} > 0,5$  relations.

**Value:** A complex stress state of such bridge spans determines their spatial operation by changing the transverse pressure on the beams during bending and torsion deformation, and thus reflects the novelty and relevance of the research considered in the article.

**Keywords:** beam, pipe, superstructure, load, pressure, stiffness

**For citation:** Kartopol'tsev V.M. Strength Analysis of Load-Bearing Beams of Tubular Bridges. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2026; 28 (1): 249–259. DOI: 10.31675/1607-1859-2026-28-1-249-259. EDN: SGLGYD

Теоретические исследования и расчет пролетных строений основаны на алгоритмах напряженно-деформированного состояния для широких мостов при  $\frac{B}{L} > 0,5$ . Поперечное сечение пролетного строения из металлических труб под действием суммарной нагрузки претерпевает деформации по принципу «балка на упругих опорах». Трубчатые пролетные строения относятся к унифицированным пролетным строениям с пониженной строительной высотой и обладают относительно небольшой поперечной и деформативной изгибной жесткостью с параметрами отношения  $\frac{h_b}{L} = \left(\frac{1}{11} \dots \frac{1}{30}\right)$  с узлами опирания поперечного сечения (рис. 1) [1].

Клавишный эффект в балочных металлических мостах с пролетными строениями из труб проявляется как последовательное дополнительное кручение конструкции по всей ширине моста и в опорных сечениях несущих балок. Он возникает вследствие изменения условий работы и нарушения равновесного состояния при передаче нагрузки на балки с измененными жесткостными

параметрами сечения. Так, например, для опорного сечения (рис. 1, б) жесткостной параметр  $\alpha$  будет равен

$$\alpha = \frac{a^3}{6E \cdot I_{\text{тр}} \cdot f}, \quad (1)$$

где  $a$  – расстояние между трубами в поперечном сечении пролетного строения;  $I_{\text{тр}}$  – момент инерции сечения трубы;  $f$  – прогиб балки от единичной равномерно распределенной по длине нагрузки ( $g = 1$  кН/м), равный

$$f = \frac{L^4 (x - 2x^3 + x^4)}{24EI_{\text{тр}}}, \quad (2)$$

где  $x$  – координаты сечения по длине балки с равными значениями прогиба;  $E$  – модуль упругости материала трубы.

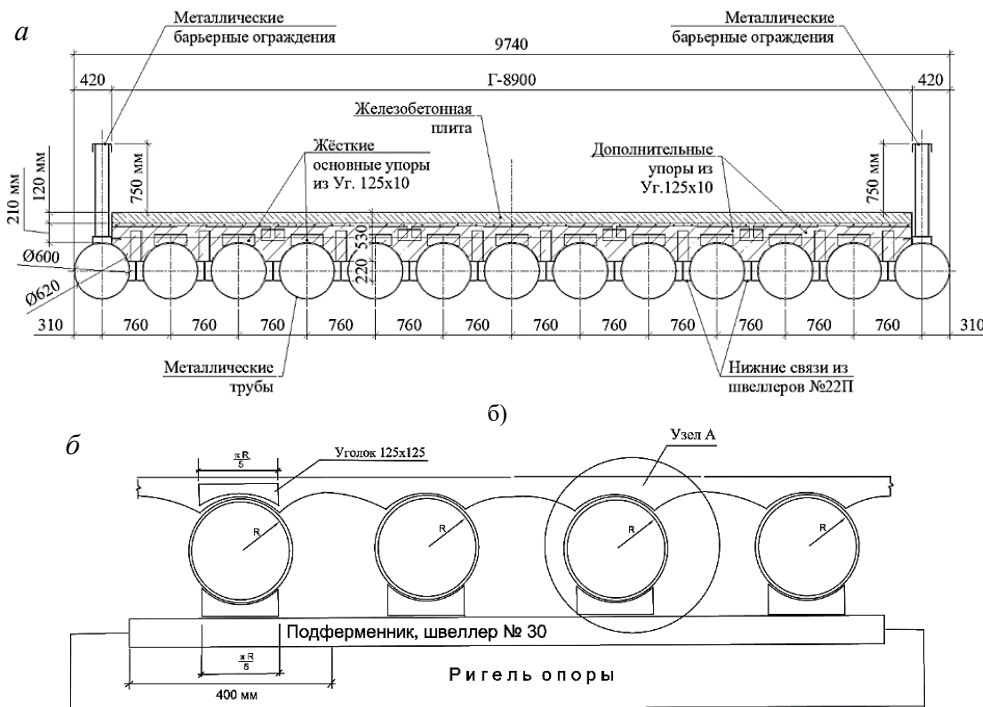


Рис. 1. Поперечное сечение пролетного строения из труб:  
 а – типовое решение из труб; б – общий вид опирания труб в опорных сечениях  
 Fig. 1. Cross-section of tubular bridge span:  
 a – common design solution; b – general view of tube supports

Степень неравномерности проявления прогиба балок с учетом кручения опорного сечения будет характеризоваться изменением коэффициента  $\alpha$  в виде

$$\alpha = \frac{4I \cdot a^3}{I_{\text{тр}} \cdot L^4 (x - 2x^3 + x^4)}. \quad (3)$$

Для разрезного пролетного строения при  $\frac{B}{L} > 0,5$  значение  $\alpha$  равно

$$\alpha = 12,8 \frac{a^3}{L^4} \frac{E \cdot I_{\text{тр}}}{EI}, \quad (4)$$

где  $EI$  – жесткость объединенного с проезжей частью сечения трубы.

Коэффициент неравномерности проявления изгибно-крутильных деформаций для балок трубчатого сечения  $K_{\infty}$  рекомендуется определять в зависимости от изменения формы линии влияния давления на балки (рис. 2).

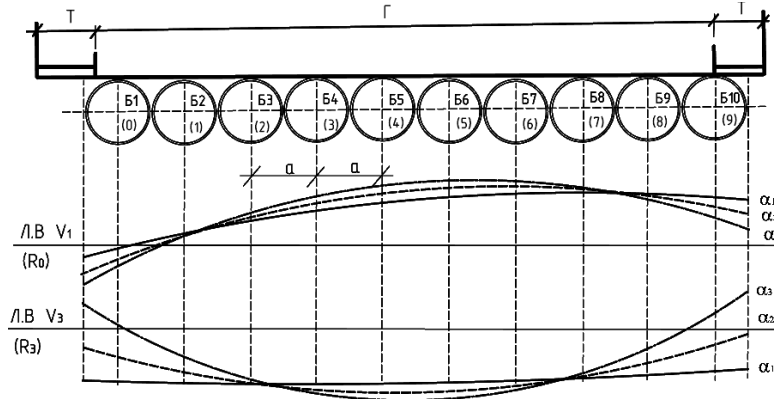


Рис. 2. Формы линий влияния давления на главные балки (трубы)  
Fig. 2. Pressure curves for the main beams (tubes)

Для пролетных строений с количеством труб от 7 и более (см. рис. 1, а) коэффициент  $1,5(\alpha)0,005$ , причем при  $\alpha > 0,005$  линия влияния опорных давлений уже практически имеет криволинейную форму [2].

Значения коэффициента неравномерности изгибно-крутильного деформирования балок из труб приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Значения  $K_{\infty}$  при различных габаритах проезжей части

Table 1

$K_{\infty}$  values at different roadway size

Кол-во главных балок	Значение $K_{\infty}$ при габарите проезжей части					
	Г-6	Г-7	Г-8	Г-9	Г-12	Г-15
3	1,52	1,60	1,75	1,81	2,0	2,1
4	1,33	1,41	1,46	1,49	1,57	1,71
5	1,67	1,85	2,00	2,08	2,33	2,46
6	1,50	1,58	1,70	1,75	1,88	1,95
7	1,74	1,96	2,13	2,22	2,50	2,65
8	1,57	1,74	1,86	1,92	2,08	2,18
9	1,83	2,01	2,18	2,28	2,58	2,75
10	1,65	1,86	1,96	2,03	2,24	2,33

Таблица 2

Значения коэффициента  $K_\infty$  в зависимости от  $\alpha$  и габарита проезжей части

Table 2

 $K_\infty$  values vs.  $\alpha$  and different roadway size

Число балок	Значение коэффициентов неравномерности $K_\infty$ при									
	Г-6		Г-7		Г-8		Г-9		Г-12	
	$\alpha = 0,005$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,005$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,005$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,005$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,005$	$\alpha = 0,05$
3	1,56	1,55	1,74	1,73	1,88	1,87	1,95	1,94	2,16	2,15
4	1,31	1,26	1,39	1,34	1,45	1,38	1,51	1,43	1,67	1,57
5	1,60	1,36	1,80	1,36	1,95	1,48	2,02	1,54	2,22	1,73
6	1,38	1,21	1,55	1,30	1,70	1,37	1,75	1,42	1,90	1,57
7	1,63	1,05	1,77	1,14	1,80	1,18	1,89	1,25	2,15	1,46
8	1,45	0,88	1,63	1,13	1,70	1,43	1,77	1,46	1,98	1,55
9	1,46	1,00	1,59	1,00	1,67	1,00	1,75	1,06	1,97	1,23

Таким образом, клавишный эффект возникает вследствие неравномерного распределения нагрузки между балками, что приводит к изменению давления, приходящегося на каждую из них. Введение изменений в деформированное состояние балок с учетом изгибно-крутильного поведения сечения балок при  $x=0$  и  $x=L/2$  позволяет перейти от метода поперечной установки нагрузки (метод КПУ) к определению давления на балку с использованием коэффициента  $\alpha$  и  $K_\infty$  в методе упругих опор с коэффициентом неравномерности, учитывающим пространственную работу трубчатого пролетного строения,  $K_\infty$  при этом [3, 4] равен

$$K_\infty = \frac{t \cdot \beta}{n} + \frac{t \cdot e_0 \cdot x_i \cdot y_i}{I}, \quad (5)$$

где  $x_i; y_i$  – ординаты давления нагрузки на балки трубчатого сечения вдоль и поперек пролетного строения;  $t$  – число колонн нагрузки;  $n$  – число балок в сечении пролетного строения;  $I$  – момент инерции сечения пролетного строения;  $e_0$  – эксцентриситет равнодействующей нагрузки по отношению к оси симметрии пролетного строения;  $\beta$  – коэффициент из работы [5].

Для пространственной работы трубчатого пролетного строения с учетом влияния изгибно-крутильной жесткости проявление давления в балочной системе в виде клавишного эффекта выражается определением КПУ [6]. Синхронность и последовательность проявления прогибов в балках по ширине пролетного строения будет характеризоваться формулой

$$f_{\text{изг.кр}}^i = 1,5 \alpha \cdot \varphi_{\text{ср}}, \quad (6)$$

где  $\varphi_{\text{ср}} = \frac{M_{\text{кр}} \cdot L^3}{48EI^\omega}$ ;  $I^\omega$  – бимомент объединенного сечения.

Исходим из условия, что давление на балку трубчатого сечения пролетного строения  $P_{0x_i}$  в любой точке с координатой  $x_i; y_i$  будет равно  $P_{0x_i} = \rho \cdot R_a^I \cos \varphi$ ;  $\rho$  – удельная плотность материала трубы;  $R_a^I$  – внутренний радиус трубы (рис. 3).

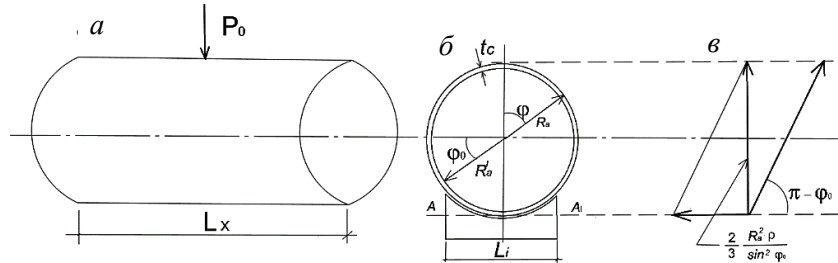


Рис. 3. Расчетная схема к определению давления на трубу:

$a$  – по длине пролета;  $b$  – расчетные параметры для трубы в зависимости от типа опирания;  $c$  – расчетные параметры распределения давления на трубу

Fig. 3. Design scheme of the tube pressure:

$a$  – along span length;  $b$  – depending on the support type;  $c$  – pressure distribution over the tube

Значения изгибающего момента  $M_{xi}$ , поперечной силы  $Q_{xi}$  и крутящего момента  $M_{крxi}$  будут равны соответственно

$$M_{xi} = \frac{P_{0x_i}}{4\beta}; \quad Q_{xi} = -\frac{P_{0x_i}}{2} \theta; \quad M_{крxi} = 2\pi \cdot R_a^2 \cdot t_c \cdot \tau_{xy}, \quad (7)$$

где  $\beta = \frac{E \cdot t_c}{4R_a^2 \cdot E \cdot I_{тр}}$ ;  $R_a$  – средний радиус для трубы;  $\tau_{xy}$  – касательные напря-

жения в рассматриваемом сечении, обратно пропорциональные толщине стенки трубы  $t_c$  и прогибу  $y_\delta$  балки [7].

Тогда передаточный угол скручивания в процессе клавишного эффекта (рис. 3, б, в) и прогиб  $y_\delta = \frac{P_{0x_i}}{8\beta^3 \cdot EI_{тр}}$  будет равен

$$\varphi = \varphi_{кр} = 2G \cdot \Theta \cdot A_{тр}, \quad (8)$$

где  $G = \frac{E}{3}$ ;  $\Theta = \frac{M_{крxi} \cdot L_x}{4A^2 \cdot G \cdot t_c}$ ;  $EI_{тр}$  – жесткость трубчатого сечения балки на изгиб

с кручением  $EI_{тр} = \frac{E \cdot t_c^3}{12(1-\mu^2)}$ ;  $A = \frac{A_R + A_r}{2}$  – средняя арифметическая площадь

поверхности трубы.

Принимаем справедливость зависимости растягивающих напряжений

$\sigma_p$  от крутящего момента в виде  $\sigma_p = \frac{3M_{крxi}}{2\pi \cdot R_a \cdot t_c^2}$  и имеем

$$\tau_{xy} = G \cdot \Theta \cdot R_a^I \quad (9)$$

В процессе испытания автодорожного моста с пролетным строением из труб  $\varnothing = 1020$  мм и схемой  $3 \times 24,0$  м при упругом и упругопластическом состоянии (рис. 4, табл. 3) фиксировалось опосредовательное прокручивание балок из труб как по длине пролета, так и в опорном сечении.

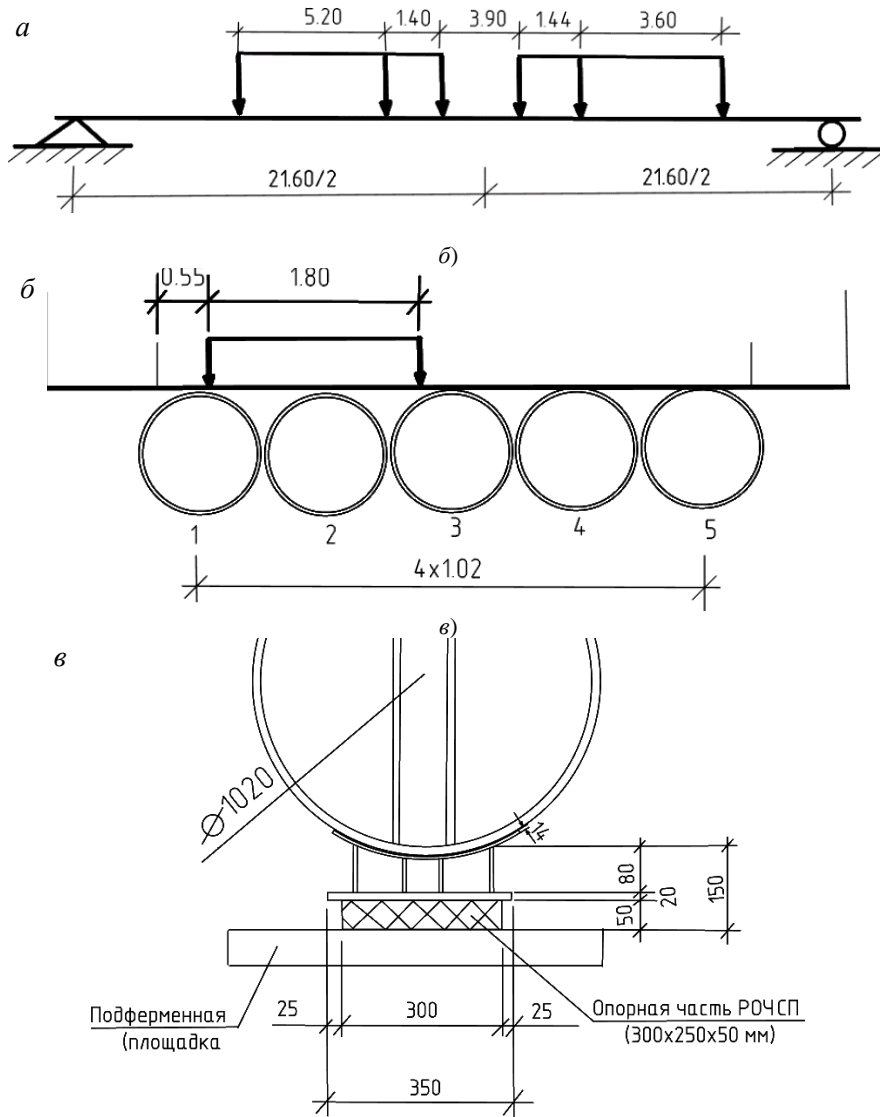


Рис. 4. Нагрузочные и конструктивные решения при исследовании клавишного эффекта: а – схема продольного нагружения; б – схема поперечного нагружения пролетного строения испытательной нагрузкой; в – конструкция узла опорного сечения для балок трубчатого сечения

Fig. 4. Load and design solutions for the keyboard effect: а – longitudinal load; б – transverse load; в – support section for tubular beams

Таблица 3  
Значения упругих и остаточных прогибов балок от испытательной нагрузки

Table 3

## Elastic and residual beam bending after loading

Значения прогибов, мм	Параметры главных балок				
	1	2	3	4	5
Упругих	45,0	39,5	24,5	11,7	3,6
Остаточных	4,5	3,5	2,5	0,95	0,15

Уравнение равновесия сечения трубы при закручивании на длине  $l_{xi}$  будет иметь вид

$$\frac{N_{\varphi}}{r} + \frac{N_{xi}}{R_a} = -\frac{P_{0xi}}{n}. \quad (10)$$

Для опорного сечения условие (10) запишем в следующем виде [8]:

$$2\pi \cdot R_a \cdot N_{\varphi} \sin \varphi + P_{оп} = 0, \quad (11)$$

где  $P_{оп} = \rho \cdot R_a (1 - \cos \varphi)$  – давление на трубу в опорном сечении;  $n$  – количество труб в сечении пролетного строения;  $N_{\varphi} = P_{оп} \cdot R_a = \gamma \cdot R_a^2 \cos \varphi$ ;  $N_{xi} = -\frac{P_{0xi} \cos \varphi}{4R_a} (L^2 - 4x_i^2)$ ;  $L$  – длина балки;  $r$  – внутренний радиус сечения трубы.

Прокручивание трубы в опорном сечении при изгибно-крутильном деформировании соответствует условию

$$\sigma_z^2 + k_o (\tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2) = \sigma_T^2, \quad (12)$$

где  $k_o = 3$ ;  $\tau_{xz} = G \cdot \gamma_{xz}$ ;  $\gamma_{xz} = \varphi \cdot y_i$ ;  $\tau_{yz} = G \cdot \gamma_{yz}$ ;  $\gamma_{yz} = \varphi \cdot x_i$ ;  $\varphi$  – относительно возможный угол закручивания сечения балки;  $x_i$  определяется из условия  $\frac{\tau_{yz}}{\sigma_z} = \frac{\varphi}{3\varepsilon_z}$ ;  $y_i$  определяется из условия  $\frac{\tau_{xz}}{\sigma_z} = \frac{\varphi}{3\varepsilon_z}$ ;  $\sigma_z$ ,  $\tau_{xz}$ ,  $\tau_{yz}$  принимаются из работы [9].

Для опорного сечения в экспериментальных условиях (см. рис 4, в) значения  $\tau_{xz}$  определялись по формуле

$$\tau_{xz} = \frac{2M_{кр}}{\pi \cdot \varnothing_{внеш}^3}, \quad (13)$$

где  $\varnothing_{внеш}$  – наружный диаметр трубы.

Предельная величина деформаций при скручивании опорного сечения  $\varepsilon_z$  равна

$$\varepsilon_z = \frac{1}{3G} \sigma_z. \quad (14)$$

Для балок трубчатого сечения конечной длины изгибно-крутильные деформации остаются плоскими и перпендикулярными к оси за счет обеспечения приложения на торцах (опорных сечений) нормативных сил  $N_i$ , симметричных относительно оси трубы. Равнодействующая этих сил  $N = P_o (R'_a)^2$  определяется величиной осевой деформации  $\varepsilon_z$ , предельная величина которой будет, как в (14).

Представляя упругопластическую область в поперечном сечении трубы в виде кольца, а радиус границы, разделяющий упругую и пластическую области через  $r_{\varepsilon T}$ , значения главного напряжения  $\sigma_z$  [10] принимаем в виде

$$\sigma_z = \frac{\sigma_r + \sigma_t}{2}, \quad (15)$$

где  $\sigma_r$  – радиальное напряжение в сечении трубы;  $\sigma_t$  – окружное напряжение.

При условии пластичности в виде  $\sigma_z - \sigma_r = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_t$  и краевых условиях  $R_a = r_T \cdot \sigma_z = \sigma_r$ ,  $r = 2t$ ,  $\sigma_z = \sigma_t$ .

Значение напряжений в пластической части сечения трубы будет определяться из решения дифференциального уравнения равновесия

$$\frac{d\sigma_r}{dR_a} + \frac{\sigma_r - \sigma_t}{R_a} = 0. \quad (16)$$

Условие равновесия с учетом условия пластичности принимается в виде

$$\frac{d\sigma_r}{dR_a} = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{\sigma_t}{R_a}. \quad (17)$$

Составляющие компоненты напряжений при изгибно-крутильном деформировании в опорном сечении будут определяться соответственно

$$\left. \begin{aligned} \sigma_r &= \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_t \left( l_n \frac{R_a}{r_{\varepsilon T}} \right); \\ \sigma_t &= \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_t \left( l_n \frac{R_a}{r} \right); \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

где  $r$  – внутренний радиус трубы;  $\sigma_t$  – предел текучести стали трубы.

При пластических деформациях внешней поверхности трубы, равной 0,001 (см. табл. 3), нормальные напряжения  $\sigma_H$  [11] равны

$$\sigma_k = 2k \cdot l_n \frac{\varnothing_k}{\varnothing_b}, \quad (19)$$

где  $k = 0,5 \sigma_t$  – по теории касательных напряжений;  $\varnothing_k$  – наружный диаметр трубы;  $\varnothing_b$  – внутренний диаметр трубы.

Внутренняя часть трубы, испытывающая упругое деформирование, показала напряжение, равное  $\sigma_{в.у}^э$ , с теоретическим расчетом по формуле из работы Н.Н. Малинина [12]:

$$\sigma_{в.у}^э = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}} \left( 1 - \frac{\varnothing_K^2}{\varnothing_B^2} \right). \quad (20)$$

### Выводы

Приведенные результаты исследования и расчета верны в том случае, когда коэффициент поперечной установки (КПУ) определяется методом упругих опор с учетом изменения ординат линий влияния давления от нагрузки, полученных с учетом изменения коэффициента  $\alpha$ .

Эффективность учета пространственной работы несущих балок трубчатого сечения при проявлении клавишного эффекта выражается в снижении изгибающих моментов и одновременном умеренном росте крутящего момента в сечениях балок – как по длине пролета, так и в опорных сечениях. В этом случае величина ординат линий влияния давления на балки изменяется пропорционально изменению коэффициента  $\alpha$ .

Проверить решение можно при условии, что балка трубчатого сечения подвержена в основном изгибу, и пренебречь растяжением в срединной плоскости с ограничениями, наложенными на компоненты линейных и угловых смещений. Принятые допущения, касающиеся степени распространения упругопластических деформаций в сечениях трубы по длине пролета, основаны на гипотезе, что деформации и прогибы являются функциями только радиуса  $R_a$ , а главными напряжениями считаются радиальное  $\sigma_r$ , окружное  $\sigma_t$  и осевое  $\sigma_z$ .

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Петрова Г.В. Совершенствование статического расчета сталежелезобетонных пролетных строений мостов малых пролетов из труб : специальность 05.23.11. «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, мостов и транспортных тоннелей» : автореферат магистерской диссертации. Томск, 2017. 17 с.
2. Петрова Г.В., Картопольцев В.М. К расчету пролетных строений сталежелезобетонных мостов из труб методом упругих опор // Материалы 63-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2017. С. 219–221.
3. Семенец Л.В. Пространственные расчеты плитных мостов. Киев : Издательское объединение «Вища школа», 1976. 161 с.
4. Козлов И.Г., Раткин В.В., Щербаков А.Г. Экспериментально-теоретические исследования пространственной работы пролетных строений мостов. Саратов : Саратовский государственный технический университет, 2006. 29 с.
5. Осипов В.С. Справочные таблицы для расчета неразрезных балок на упруго оседающих опорах. Москва : Гос. изд-во лит. по стр-ву и архитектуре, 1953. 123 с.
6. Алексеев А.А., Картопольцев А.В. Совершенствование расчета несущих балок трубчатого сечения пролетных строений металлических мостов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 28. № 1. С. 227–241.
7. Снеддон П.Н., Берри Д.С. Классическая теория упругости. Москва : Государственное изд-во физико-математической литературы, 1961. 219 с.
8. Федосеев В.Н. Сопроотивление материалов. Москва : Наука, 1974. 559 с.
9. Тимошенко С.П., Лессельс Д. Прикладная теория упругости. Ленинград : Государственное научно-техническое изд-во, 1931. 393 с.

10. Безухов Н.П. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. Москва : Высшая школа, 1968. 511 с.
11. Тимошенко С.П. Пластинки и оболочки. Москва ; Ленинград : Гостехиздат, 1948. 460 с.
12. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. Москва : Машиностроение, 1975. 398 с.

## REFERENCES

1. Petrova G.V. Improvement of static analysis of steel-concrete small-span tubular bridges. MS Abstract. Tomsk, 2017. 17 p. (In Russian)
2. Petrova G.V., Kartopoltsev V.M. Tubular Bridge Spans Design based on Elastic Support Method. In: *Proc. 63rd Univ. Sci. Conf. of Students and Young Scientists*. Tomsk: TSUAB, 2017. Pp. 219–221. (In Russian)
3. Semenets L.V. Spatial Analysis of Slab Bridges. Kiev: Vishcha shkola, 1976. 161 p. (In Russian)
4. Kozlov I.G., Ratkin V.V., Shcherbakov A.G. Experimental and Theoretical Studies of the Spatial Operation of Bridge Spans. Saratov State Technical University, 2006. 29 p. (In Russian)
5. Osipov V.S. Reference Tables for Calculating Uncut Beams on Elastically Sagging Supports. Moscow: Stroizdat, 1953. 123 p. (In Russian)
6. Alekseev A.A., Kartopol'tsev A.V. Improvement of Load-Bearing Tubular Beam Section Analysis of Bridge Spans. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2025; 27 (6): 227–241. (In Russian)
7. Sneddon J.N., Berry D.S. Classical Theory of Elasticity. Moscow: Fizmatlit, 1961. 219 p. (Russian translation)
8. Fedoseev V.N. Resistance of Materials. Moscow: Nauka, 1974. 559 p. (In Russian)
9. Timoshenko S.P., Lessels D. Applied Theory of Elasticity. Leningrad: Gostekhizdat, 1931. 393 p. (In Russian)
10. Bezukhov N.P. Fundamentals of the Theory of Elasticity, Plasticity and Creep. Moscow: Vysshaya shkola, 1968. 511 p. (In Russian)
11. Timoshenko S.P. Plates and Shells. Moscow; Leningrad: Gostekhizdat, 1948. 460 p. (In Russian)
12. Malinin N.N. Applied Theory of Plasticity and Creep. Moscow, Mashinostroenie, 1975. 398 p. (In Russian)

## Сведения об авторе

Картопольцев Владимир Михайлович, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет., 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2; ООО «Диамос», 634003, г. Томск, пер. Соляной, 24/1, diamos@mail.ru

## Author Details

Vladimir M. Kartopoltsev, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia; ООО "DIAMOS", 24/1, Solyanoy Str., 634003, Tomsk, Russia, diamos@mail.ru

Статья поступила в редакцию 30.09.2025  
Одобрена после рецензирования 21.10.2025  
Принята к публикации 22.01.2026

Submitted for publication 30.09.2025  
Approved after review 21.10.2025  
Accepted for publication 22.01.2026