SOCAR Proceedings

Oil and gas structures and equipment

journal home page: http://proceedings.socar.az

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ И НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СЖАТЫХ ТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

М. А. Гаджиев[1], И. Г. Гусейнов*[2], У. М. Гаджиева[1]

[1]*Азербайджанский университет архитектуры и строительства, Баку, Азербайджан;*

[2]*НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, Баку, Азербайджан*

Stress-strain state and load ability of compressed pipe-concrete elements

M. A. Gadjiyev[1], I. G. Guseynov*[2], U. M. Gadjiyeva[1]

[1]*Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan;*

[2]*«OilGasScientificResearchProject» Institute, SOCAR, Baku, Azerbaijan*

A B S T R A C T

In the article are presented the results of stress-strain state and the bearing capacity of compression pipe-concrete elements studies. The studies were carried by using a fractional-rational diagram of relationship between stress and strain proposed in the Eurocode for a compressed concrete core inside a pipe and a symmetrical two-line diagram with limited area of fluidity for any values of an arbitrary flexibility of element and eccentricity of compressive force. On the carried research basis has been developed an effective numerical technique for determining the stress-strain state and the bearing capacity of compressed pipe-concrete elements. In calculation technique constructing, the task solution is reduced to system of nonlinear algebraic equations solving, relative to the deformation level in the most stressed section of the compressed concrete core section and the position of the neutral axis in this section. The efficiency of the proposed calculation method has been verified by numerous numerical experiments. It is shown that depending on the element's flexibility and the compressive force's eccentricity, at the moment of bearing capacity loss, the operation of the steel pipe can be both elastic and elastic-plastic, and this is determined only by calculations using the proposed general method.

Keywords: concrete; steel pipe; «load-deflection» graph; deformation; stress; deflection; stress-strain state; bearing capacity; eccentricity.

© 2023 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

Одним из актуальных вопросов разработки месторождений углеводородов в условиях моря и континентального шельфа является усиление несущей способности опорных блоков гидротехнических сооружений, находящихся в напряженно-деформированном состоянии (мосты, эстакады, мелководные и глубоководные стационарные морские платформы и др.). Принято, что свайные фундаменты гидротехнических сооружений рассматриваются как несущие трубобетонные элементы в сжатом состоянии. Эти элементы являются композитными и согласно современной теории металлических и железобетонных конструкций максимальное использование прочностного запаса композитных материалов возможно только на основе применения нелинейной деформационной модели [1-6].

С этой точки зрения, разработка расчетной методики, используемой для оценки напряженно-деформированного состояния и несущей способности сжатых трубобетонных элементов при кратковременном статическом воздействии нагрузки любого уровня, является актуальной задачей, имеющей как теоретическое, так и практическое значение.

В соответствии с последними исследованиями в этой области, наиболее нагруженный участок сжатого элемента, в зависимости от способа закрепления его концов, рассматривается как однопараметрическая аппроксимация его деформированной оси [1-3, 7]:

$$w(x) = f \cdot w_0(x)$$

В зависимости от величины эксцентриситета сжимающей силы, нейтральная ось может находиться как на выделенном сечении, так и вне его границ (рис. 1.)

Принимая гипотезу плоских сечений для комплексного элемента [2, 3], распределение деформаций по высоте сечения (рис. 1) можно записать в следующем виде:

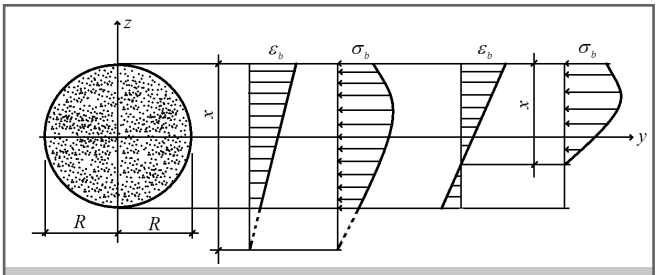

Рис. 1. Схема распределения напряжений и деформаций в наиболее напряженном сечении бетонного ядра

***E-mail:** ismayil.huseynov@socar.az

http://dx.doi.org/10.5510/OGP2023SI100836

$$\varepsilon(z)=\frac{\varepsilon_b}{x}\cdot(x-R+z)w(x)=f\cdot w_0(x) \quad (1)$$

В бетонном ядре, работа бетона на растяжение не учитывается, а работа на сжатие принимается в виде дробно-рациональной функции, предложенной в еврокодом [5, 7-9]:

$$\sigma_b=R_b\cdot\frac{k\cdot\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R}-\left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R}\right)^2}{1+(k-2)\cdot\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R}};\quad k=\frac{E_b\cdot\varepsilon_R}{R_b} \quad (2)$$

Работа стальной трубы описывается двухлинейной диаграммой деформирования, имеющей ограниченную физическую площадку текучести. Аналитическое выражение диаграммы записывается следующим образом:

$$\sigma_s=\begin{cases}E_s\times\varepsilon_s;\ при\ |\varepsilon_s|\pounds\varepsilon_{ax}\\ R_s\times sign(\varepsilon_s);\ при\ |\varepsilon_s|>\varepsilon_{ax}\end{cases} \quad (3)$$

Распределение нормальных сжимающих напряжений в бетонном ядре, с учетом равенства (2), можно записать следующим образом:

$$\sigma_{bz}=R_b\cdot\frac{k\cdot\frac{\varepsilon_{bz}}{\varepsilon_R}-\left(\frac{\varepsilon_{bz}}{\varepsilon_R}\right)^2}{1+(k-2)\cdot\frac{\varepsilon_{bz}}{\varepsilon_R}}=$$

$$=R_b\cdot\frac{k\cdot\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R\cdot x}\cdot(x-R+z)-\left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R\cdot x}\cdot(x-R+z)\right)^2}{1+(k-2)\cdot\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R\cdot x}\cdot(x-R+z)}$$

Тогда для нормальной силы и изгибающего момента от этих напряжений получим следующие выражения:

$$N_b=\int_{A_b}\sigma_{bz}dA_b=2R_b\times$$

$$\times\int_q^R\frac{k\cdot\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R\cdot x}\cdot(x-R+z)-\left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R\cdot x}\cdot(x-R+z)\right)^2}{1+(k-2)\cdot\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R\cdot x}\cdot(x-R+z)}\times$$

$$\times\sqrt{R^2-z^2}dz$$

$$M_b=\int_{A_b}\sigma_{bz}\cdot zdA_b=2R_b\times$$

$$\times\int_q^R\frac{k\cdot\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R\cdot x}\cdot(x-R+z)-\left(\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R\cdot x}\cdot(x-R+z)\right)^2}{1+(k-2)\cdot\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R\cdot x}\cdot(x-R+z)}\cdot z\times$$

$$\times\sqrt{R^2-z^2}dz$$

При переходе к безразмерным параметрам, эти выражения записываются в следующем виде:

$$N_b=2R_b\cdot R^2\cdot\int_q^1\frac{k\cdot\beta\cdot\left(\frac{\xi-1+\overline{z}}{\xi}\right)-\beta^2\cdot\left(\frac{\xi-1+\overline{z}}{\xi}\right)^2}{1+(k-2)\cdot\beta\cdot\left(\frac{\xi-1+\overline{z}}{\xi}\right)}\times \quad (4)$$

$$\times\sqrt{1-\overline{z}^2}d\overline{z}$$

$$M_b=2R_b\cdot R^3\cdot\int_q^1\frac{k\cdot\beta\cdot\left(\frac{\xi-1+\overline{z}}{\xi}\right)-\beta^2\cdot\left(\frac{\xi-1+\overline{z}}{\xi}\right)^2}{1+(k-2)\cdot\beta\cdot\left(\frac{\xi-1+\overline{z}}{\xi}\right)}\times \quad (5)$$

$$\times\overline{z}\cdot\sqrt{1-\overline{z}^2}d\overline{z}$$

В приведенных выше уравнениях $\beta=\frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_R}$, $\xi=\frac{x}{R}$, $\overline{z}=\frac{z}{R}$, в зависимости от положения нейтральной оси, нижний предел интегралов определяется следующим образом:

$$q=\begin{cases}-1;\quad при\ \xi\geq 2\\ 1-\xi;\ при\ \ 0<\xi<2\end{cases} \quad (6)$$

Так как полученные интегралы в выражениях (4) и (5) не могут быть вычислены аналитически, их вычисляют численно, используя метод трапеций. При этом необходимо учитывать, что подынтегральные выражения на границах интегрирования обращаются в ноль. Учитывая это при разбивке области интегрирования на n равных частей, для вычисления этих интегралов имеем:

$$N_b(\beta,\xi)=2R_b\cdot R^2\cdot\frac{1-q}{n}\times$$

$$\times\sum_{j=1}^{n-1}\frac{k\cdot\beta\cdot\left(\frac{\xi-1+\overline{z}_j}{\xi}\right)-\beta^2\cdot\left(\frac{\xi-1+\overline{z}_j}{\xi}\right)^2}{1+(k-2)\cdot\beta\cdot\left(\frac{\xi-1+\overline{z}_j}{\xi}\right)}\cdot\sqrt{1-\overline{z}_j^2} \quad (7)$$

$$M_b(\beta,\xi)=2R_b\cdot R^3\cdot\frac{1-q}{n}\times$$

$$\times\sum_{j=1}^{n-1}\frac{k\cdot\beta\cdot\left(\frac{\xi-1+\overline{z}_j}{\xi}\right)-\beta^2\cdot\left(\frac{\xi-1+\overline{z}_j}{\xi}\right)^2}{1+(k-2)\cdot\beta\cdot\left(\frac{\xi-1+\overline{z}_j}{\xi}\right)}\times \quad (8)$$

$$\times\overline{z}_j\cdot\sqrt{1-\overline{z}_j^2}$$

где,

$$\overline{z}_j=q+j\cdot\frac{1-q}{n}$$

R - радиус бетонного ядра.

Аналогично, найдем нормальную силу и изгибающий момент, от нормальных напряжений в стальной трубе толщиной $\delta\cdot R$. Для этого, как показано на рисунке 2, координату по высоте можно выразить через центральную угловую координату следующим образом:

$$\varepsilon_s(z)=\frac{\varepsilon_b}{x}\cdot(x-R+z_s)=\frac{\varepsilon_b}{\xi}\cdot\left(\xi-1+\left(1+\frac{\delta}{2}\right)\cdot\sin\alpha\right)$$

Тогда изменение напряжений, образующихся в стальной трубе можно записать:

$$\sigma_{s\alpha}=\begin{cases}E_s\cdot\varepsilon_{s\alpha}\ при\ |\varepsilon_{s\alpha}|\leq\varepsilon_{ax}\\ R_s\cdot sign(\varepsilon_{s\alpha})\ при\ |\varepsilon_{s\alpha}|>\varepsilon_{ax}\end{cases}$$

На основании этих уравнений, для нормальной силы и изгибающего момента от напряжений в стальной трубе, получаем:

$$N_s=2R^2\cdot\left(1+\frac{\delta}{2}\right)\cdot\delta\cdot\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}\sigma_{s\alpha}d\alpha;$$

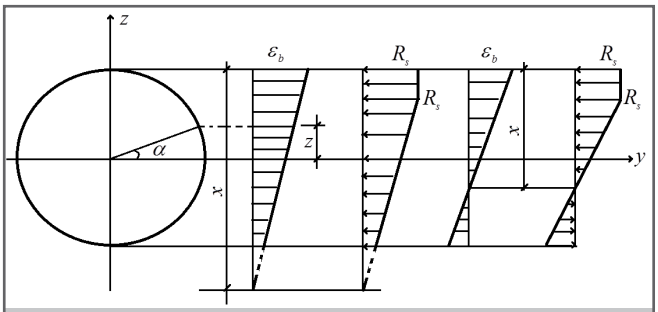

Рис. 2. Один из вариантов схемы распределения напряжений и деформаций в стальной трубе

$$M_s = 2R^3 \cdot \left(1+\frac{\delta}{2}\right)^2 \cdot \delta \cdot \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \sigma_{s\alpha} \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha$$

Численный расчет этих интегралов также производится методом трапеций. При разбивке области интегрирования на n_1 равных частей имеем:

$$N_s(\beta,\xi) = \frac{2R^2 \cdot \pi}{n_1} \cdot \left(1+\frac{\delta}{2}\right) \cdot \delta \times \times \left(\frac{\sigma_{s\alpha 0} + \sigma_{s\alpha,n_1}}{2} + \sum_{j=1}^{n_1-1} \sigma_{s\alpha,j} \right) \quad (9)$$

$$M_s(\beta,\xi) = 2R^3 \cdot \left(1+\frac{\delta}{2}\right)^2 \times \times \delta \cdot \frac{\pi}{n_1} \cdot \left(\frac{\sigma_{s\alpha 0} + \sigma_{s\alpha,n_1}}{2} + \sum_{j=1}^{n_1-1} \sigma_{s\alpha,j} \cdot \sin\left(-\frac{\pi}{2} + j \cdot \frac{\pi}{n_1}\right) \right) \quad (10)$$

При эксцентриситете сжимающей силы $e = e_0 \cdot R$, изогнутая ось элемента с шарнирно закрепленными концами, аппроксимируется полуволной синусоиды

$$w(x) = R \cdot f \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot x}{l}\right)$$

где, $R \cdot f$ - максимальный прогиб сжатого элемента в среднем сечении сжатого стержня. В этом сечении кривизна с одной стороны определяется на основе принятого выражения изогнутой оси стержня

$$\chi = R \cdot f \cdot \frac{\pi^2}{l^2},$$

с другой стороны

$$\chi = \frac{\varepsilon_b}{\xi \cdot R}$$

- в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1. Из условия равенства этих двух выражений следует, что максимальный прогиб стержня выражается через деформацию сжатой грани и параметр нейтральной оси следующим образом:

$$f = \rho_0 \cdot \frac{\beta}{\xi};\ \rho_0 = \frac{l^2 \cdot \varepsilon_R}{\pi^2 \cdot R^2} \quad (11)$$

Тогда, из условия равновесия наиболее напряженного сечения следует:

$$N_b(\beta,\xi) + N_s(\beta,\xi) = P \quad (12)$$

$$M_b(\beta,\xi) + M_s(\beta,\xi) = P \cdot \left(e_0 \cdot R + \rho_0 \cdot R \cdot \frac{\beta}{\xi}\right) \quad (13)$$

Полученные уравнения (12) и (13) представляют собой систему нелинейных уравнений, решающих поставленную задачу. Построить аналитическое решение этой системы не представляется возможным. Для решения этой системы предлагается использовать полуобратный численный метод, предложенный первым автором. Суть метода заключается в том, что исключив из уравнений (12) и (13) сжимающую силу, получаем уравнение, устанавливающее связь между уровнем деформации сжатой грани наиболее напряженного сечения β и параметром нейтральной оси ξ:

$$\Psi(\beta,\xi) = M_b(\beta,\xi) + M_s(\beta,\xi) - \left(N_b(\beta,\xi) + N_s(\beta,\xi)\right) \times \times \left(e_0 \cdot R + \rho_0 \cdot R \cdot \frac{\beta}{\xi}\right) = 0 \quad (14)$$

Поскольку интервал изменения β заранее известен, задав этому параметру определенное значение, из уравнения (14), как корень одномерного нелинейного уравнения, определяется параметр ξ, определяющий положение нейтральной оси. Параметр максимального прогиба определяется на основе равенства

$$f = \rho_0 \cdot \frac{\beta}{\xi},$$

и, наконец, на основе уравнения (12) вычисляется значение сжимающей силы, соответствующее принятому значению уровня деформаций P. Таким образом, при каждом принятом значении β находим множество решений (β, ξ, f, P). Определить несущую способность сжатого трубобетонного элемента и проследить за изменением его напряженно-деформированного состояния в зависимости от уровня нагружения, позволяет диаграмма "нагрузка-прогиб, которую получаем, изменяя значение параметра β с определенным шагом по всему диапазону изменения этого параметра.

Для проведения численных расчетов на основе предлагаемой методики был разработан программный модуль на алгоритмическом языке Turbo Pascal ABC. Модуль использовался для проведения численных экспериментов. Например, соответствующие вычисления проведены для стержня с шарнирно закрепленными концами при эксцентриситетах сжимающей силы e = 1 см, e = 5 см, и e = 10 см, длине стержня l = 4 м, при R_b = 14.5 МПа (бетон *B20*), R_S = 350 МПа, радиусе бетонного ядра R = 12 см, толщина стальной трубы 4 мм. В первых двух случаях на графиках «нагрузка-прогиб» реализуются нисходящие ветви (рис. 3). Во всех случаях, и в сжатой, и в растянутой гранях наиболее напряженного сечения стальной трубы, появились пластические деформации. С увеличением эксцентриситета несущая способность сжатого трубобетонного элемента уменьшалась. При e = 1 см несущая способность составила $P_{ult} = 1360.74\,кН \cdot м$, при e = 5 см несущая способ-

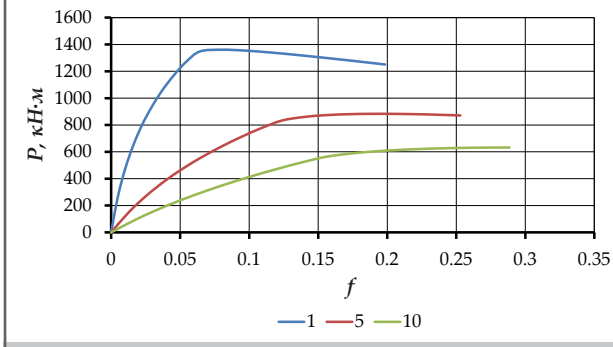

Рис. 3. Графики «нагрузка-прогиб» при различных значениях эксцентриситета сжимающей силы

ность составила $P_{ult} = 883.19\ кН \cdot м$, а при $e = 10$ см несущая способность составила $P_{ult} = 632.32\ кН$. При больших эксцентриситетах элемент ведет себя как изгибаемый элемент, поэтому на диаграммах «нагрузка-прогиб» не реализуются нисходя щие ветви. На рисунке 3 номера графиков соответствуют значениям эксцентриситетов сжимающих сил в сантиметрах. Для всех рассматриваемых случаев в таблице 1 приведены полученные параметры напряженно-деформированного состояния, соответствующие моменту потери несущей способности опорного элемента.

С целью изучения влияния гибкости элемента на несущую способность при условно центральном сжатии, то есть при случайном эксцентриситете $e = 1\ см$, сохраняя все данные как в первом примере, изменяя только длину стержня, поведены численные эксперименты и показано, что параметры напряженно-деформированного состояния, соответствующие моменту потери несущей способности будут такими как показано в таблице 2.

Таблица 1

	β	ξ	f	P, кН·м	N_b, кН·м	N_s, кН·м	M_b, кН·м	M_s,кН·м
e = 1 см	0.700	3.468	0.0454	1170.01	559.04	610.98	2.73	15.35
e = 5 см	0.900	1.638	0.1237	833.07	406.19	426.88	12.61	41.41
e = 10 см	1.700	1.327	0.2886	632.32	379.101	253.22	15.13	70.00

Таблица 2

	β	ξ	f	P, кН·м	N_b, кН·м	N_s, кН·м	M_b, кН·м	M_s,кН·м
e = 4 см	0.700	3.468	0,0454	1170,01	559.04	610.98	2.73	15.35
e = 8 см	0.800	1.6663	0.4324	785.90	393.55	392.35	12.12	36.517
e = 12 см	0.400	1.5153	0.5349	405.83	238.98	166.84	10.03	20.08
e = 16 см	0.200	1.6071	0.4483	246.47	153.81	92.67	6.26	9.47

Выводы

1. Разработана эффективная численная методика определения напряженно-деформированного состояния и несущей способности трубобетонных элементов при произвольном значении гибкости трубобетонного элемента и эксцентриситета сжимающей силы, на основе которой разработан программный модуль, реализующий расчетную методику с любой наперед заданной точностью.

2. На основании проведенных численных экспериментов установлено, что при расчете сжимаемых трубобетонных элементов необходимо применять реальные нелинейные диаграммы деформирования материалов, в противном случае полученные результаты не отражают действительное поведение элемента.

3. Предлагаемая расчетная методика позволяет определять параметры напряженно-деформированного состояния и несущую способность по единой методике, в отличие от нормативной методики расчета, в соответствии с которой расчеты проводятся для условных категорий элементов, таких как «длинные» и «короткие» элементы, элементы «сжатые малым эксцентриситетом», элементы «сжатые большим эксцентриситетом».

Литература

1. Санжаровский, Р. С., Веселов, А. А. (2002). Теория расчета строительных конструкций на устойчивость и современные нормы. *Санкт-Петербург, Москва*: *АСВ*.

2. Беглов, А. Д., Санжаровский, Р. С. (2006). Теория расчета железобетонных конструкций на прочность и устойчивость. Современные нормы и Евростандарты. *Санкт-Петербург, Москва: АСВ*.

3. Гаджиев, М. А. (2006). Несущая способность внецентренно сжатых железобетонных элементов кольцевого сечения. *Вестник гражданских инженеров*, 2(8), 33-38.

4. Шеховцев, В. А., Гусейнов, И. Г. (2003). Несущая способность морских стационарных платформ. *Санкт-Петербург*: *ПГАСУ*.

5. Карпенко, Н. И., Травуш, В. И., Карпенко, С. Н. и др. (2017). Статически неопределимые железобетонные конструкции. Диаграммные методы автоматизированного расчета и проектирования. *Москва: МСЖКХ РФ.*

6. Гасанов, Ф. К. (2020). Применения конструкции «стальная рубашка» при добыче нефти и газа. *SOCAR Proceedings*, 2, 105-111.

7. Кодыш, Э. Н., Никитин, И. Н., Трекин, Н. Н. (2011). Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности, трещиностойкости и деформациям. *Москва: АСВ*.

8. Яковлев, С. К., Мысляева, Я. И. (2015). Расчет железобетонных конструкций по Еврокоду EN1992. *Москва: МГУ*.

9. Колмогоров, А. Г., Плевков, В. С. (2014). Расчет железобетонных конструкций по российским и зарубежным нормам. *Москва: АСВ*.

References

1. Sanzharovsky, R. S., Veselov, A. A. (2002). Theory of calculation of building structures for stability and modern standards. *Sankt-Petersburg, Moscow: ASV.*

2. Beglov, A. D., Sanzharovsky, R. S. (2006). Theory of strength and stability calculation for reinforced concrete stru ctures. Modern norms and European standards. *Sankt-Petersburg, Moscow: ASV.*

3. Hajiyev, M. A.. (2006). Non-real ability for out of central compressed reinforced elements of circular diametrical section. *Bulletin of Civil Engineers*, 2(8), 33-38.

4. Shekhovtsev, V. A., Guseynov, I. G. (2003). Nesushchaya sposobnost' morskikh statsionarnykh platform. *Sankt-Peterburg: PGASU*.

5. Karpenko, N. I., Travush, V. I., Karpenko, S. N. i dr. (2017). Staticheski neopredelimyye zhelezobetonnyye konstruktsii. Diagrammnyye metody avtomatizirovannogo rascheta i proyektirovaniya. *Moskva: MSZHKKH RF*.

6. Hasanov, F. G. (2020). Application of the «steel plate» design for the major turnaround of metal support piles at offshore process facilities. *SOCAR Proceedings*, 2, 105-111.

7. Kodysh, E. N., Nikitin, I. N., Trekin, N. N. (2011). Raschet zhelezobetonnykh konstruktsiy iz tyazhelogo betona po prochnosti, treshchinostoykosti i deformatsiyam. *Moskva: ASV*.

8. Yakovlev, S. K., Myslyayeva, YA. I. (2015). Raschet zhelezobetonnykh konstruktsiy po Yevrokodu EN1992. *Moskva: MGU.*

9. Kolmogorov, A. G., Plevkov, V. S. (2014). Raschet zhelezobetonnykh konstruktsiy po rossiyskim i zarubezhnym normam. *Moskva: ASV*.

Напряженно-деформированное состояние и несущая способность сжатых трубобетонных элементов

М. А. Гаджиев[1], И. Г. Гусейнов[2], У. М. Гаджиева[1]
[1]Азербайджанский университет архитектуры и строительства, Баку, Азербайджан;
[2]НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, Баку, Азербайджан

Реферат

В статье представлены результаты исследований напряженно-деформированного состояния и несущей способности трубобетонных элементов при сжатии. Исследования проводились с применением дробно-рациональной диаграммы, отражающей зависимость между напряжением и деформацией, предложенной в еврокоде для сжатого бетонного ядра внутри трубы, и симметричной двухлинейной диаграммы с ограниченной площадкой текучести при произвольном значении гибкости элемента и эксцентриситета сжимающей силы. На основе проведенных исследований разработана эффективная численная методика, позволяющая определить напряженно-деформированное состояние и несущую способность сжатых трубобетонных элементов. При построении расчетной методики, решение задачи сводится к решению системы нелинейных алгебраических уравнений, относительно уровня деформации в наиболее напряженном сечении сжатой грани бетонного ядра и положения нейтральной оси в этом сечении. Эффективность предложенного метода расчета проверена многочисленными численными экспериментами. Показано, что в зависимости от гибкости элемента и эксцентриситета сжимающей силы, в момент потери несущей способности, работа стальной трубы может иметь как упругий, так и упругопластический характер, и это определяется только с помощью расчетов по предложенной общей методике.

Ключевые слова: бетон; стальная труба; график «нагрузка-прогиб»; деформация; напряжение; прогиб; напряженно-деформированное состояние; несущая способность; эксцентриситет.

Boru-beton elementlərinin gərginlik-deformasiya vəziyyəti və sıxılma zamanı yük götürmə qabiliyyəti

M. A. Hacıyev[1], İ. G. Hüseynov[2], U. M. Hacıyeva[1]
[1]Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Bakı, Azərbaycan;
[2]«Neftqazelmitədqiqatlayihə» İnstitutu, SOCAR, Bakı, Azərbaycan

Xülasə

Məqalədə boru-beton elementlərinin gərginlik-deformasiya vəziyyətinin və sıxılma zamanı yük götürmə qabiliyyətinin tədqiqatlarının nəticələri təqdim olunur. Tədqiqatlar borunun içərisində sıxılmış beton özəyi üçün Avrokodda təklif olunan gərginlik və deformasiya arasındakı əlaqəni əks etdirən kəsir-rasional diaqramdan və elementin əyilmə qabliyyəti ilə sıxıcı qüvvənin ekssentrikliyinin ixtiyari qiymətində axımaya meyilliyinin məhdudlaşmış sahəsi üçün qurulan simmetrik iki xəttli diaqramdan istifadə etməklə aparılmışdır. Aparılmış tədqiqatlar əsasında sıxılmış boru-beton elementlərin gərginlik-deformasiya vəziyyətini və yük götürmə qabiliyyətini təyin etmək üçün effektiv ədədi texniki üsul işlənib hazırlanmışdır. Hesablama metodunu qurularkən, məsələnin həlli beton nüvənin sıxılmış üzünün ən çox gərginlikli hissəsində deformasiya səviyyəsi giymətləndirilir və bu bölmədə neytral oxun mövqeyi ilə bağlı qeyri-xətti cəbri tənliklər sisteminin həllinə gətirib çıxaır. Təklif olunan hesablama metodunun səmərəliliyi çoxsaylı ədədi təcrübələrlə təsdiq edilmişdir. Göstərilmiıdir ki, elementin axmaya meyilliyindən və sıxıcı qüvvənin ekssentrikliyindən asılı olaraq, yük götürmə qabiliyyətinin itirilməsi anında polad borunun işi həm elastik, həm də elastik-plastik xarakterli ola bilər və bu xarakterin təyini yalnız təklif olunan ümumi metoda uyğun hesablamalarla aparıla bilər.

Açar sözlər: beton; polad boru; «yük götürmə-əyilmə» qrafiki; deformasiya; gərginlik; əyilmə; gərginlik-deformasiya vəziyyəti; yük götürmə qabiliyyəti; ekssentriklik.