

предварительное натяжение углеродных ламелей с использованием специальных анкерных устройств.

Применение углеродных ламелей при усилении железобетонных балок пролетных строений показало их эффективность. В ряде случаев, особенно при ремонте дефективных балок пролетами 24-33 м, целесообразнее такое усиление, чем усиление традиционными способами или замена балок на новые.

Литература

1. Дядченко Г.С. Применение полимерных и композитных материалов при строительстве и ремонте пешеходных мостов // Материалы всероссийской научно-технической конференции: Актуальные вопросы строительства. – Саранск. Из-во Мордовского университета. 2003. – с. 74-76.

2. Овчинников И.И. и др. Современные пешеходные мосты: конструкция, строительство, архитектура. – М.: Инфаинженерия, 2020. - 310 с.

УДК 624.012

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ЦЕНТРАЛЬНО -СЖАТЫХ ТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

С.В. Шевченко

Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 65, 220030, г. Минск, Беларусь, tshevchenko62@bntu.by

Приведен сравнительный анализ методов расчета центрально-сжатых трубобетонных элементов. Для работы сжатого бетона в трубе, он должен иметь нужный состав и быть уложен по соответствующему регламенту. Выполнено сравнение расчётной прочности на сжатие поперечно обжатого бетона в трубе с призмной прочностью бетона. Использовалась методика Росновского которая приводит к увеличению несущей способности бетона в трубе вдвое. Возможно связать предельное сжатие бетона в трубе с соотношением толщины стенки трубы и ее диаметра, а также с прочностью стали трубы и прочностью бетона заполнения. Установлено, что учет работы трубобетона по Еврокодам приводит к увеличению несущей способности трубы на 26%.

Ключевые слова: особенности расчета, предельное состояние прочности, несущая способность, центрально-сжатые элементы.

Сжатый бетон в обойме из стальной трубы может нести нагрузку в 1,5 и более раз больше, чем открытый бетонный элемент. Но для того, чтобы сжатый бетон в трубе заработал должным образом, он должен иметь нужный состав и быть уложен по соответствующему регламенту.

Многочисленные эксперименты проводились по всему миру, в том числе и в СССР. К сожалению, ни во времена СССР, ни в последующие десятилетия, не появились соответствующие мостовые стандарты, регламентирующие расчёт стальных круглых труб, заполненных бетоном.

В ранних работах, например, в работах В.А. Росновского [1] предельное состояние бетона в стальной трубчатой оболочке было связано с текучестью бетона и трубы. В предельном состоянии стальной прокат трубы течет, а бетон обжат с усилием большим, чем призмная прочность бетона:

$$R_{b,tube} = 0,7 \bar{R} + 180 \text{ кг/см}^2$$

\bar{R} – средняя прочность бетона на сжатие в кг/см², со стороны кубика 20 см на 28 день (марка бетона).

Характеристическое значение предельной силы может быть записано в виде:

$$N_k = R_{b, tube} A_b + R_{yn} A_a$$

Следуя принципу расчета по предельному состоянию по прочности, были введены коэффициенты надежности бетона по сжатию γ_b и стального проката трубы γ_m для определения расчетного сопротивления трубобетона сжатию NR_d :

$$NR_d = R_{b,M} / \gamma_b A_b + R_{yn} / \gamma_m A_a$$

При этом, может быть принято:

$\gamma_b = 1,3$ – коэффициент надёжности СТ СЭВ 1406-78;

$\gamma_m = 1,05$ – коэффициент для углеродистых сталей по СНиП.

Таблица 1

Класс	Средняя прочность бетона, кг/см ² \bar{R}	Марка бетона на сжатие М	Предельное сжатие бетона в трубе, кг/см ² $R_{b, tube} / \gamma_b$	Призменная прочность, кг/ см ² R_b	Упрочнение бетона в трубе $R_{b, tube} / R_b \gamma_b$
B25	327	350	409	135	2.3
B30	393	400	455	160	2.2
B35	458	450	501	180	2.1
B40	524	550	547	205	2.1
B45	589	600	592	225	2.0
B50	655	600	639	255	1.9
B55	720	700	684	280	1.9
B60	786	800	730	305	1.8

Сравнение расчётной прочности на сжатие поперечно обжатого бетона в трубе с призменной прочностью бетона выполнено в табл. 1.

Использование методики Росновского приводит к увеличению несущей способности бетона в трубе вдвое, по сравнению с призменной прочностью бетона независимо от параметров трубы и прочности бетона.

В более поздних работах, предельное сжатие бетона в трубе связали с соотношением толщины стенки трубы и ее диаметра, а также с прочностью стали трубы и прочностью бетона заполнения.

Проверку несущей способности трубобетонной стойки можно выполнить по формуле:

$$\frac{N}{(AR_y + A_b R_b K_b) \varphi_b} \leq 1$$

где A , A_b – площадь сечения стальной трубы и бетонного ядра;

R_y , R_b – расчетные сопротивления стали и бетона;

φ_b – коэффициент устойчивости трубобетона (табл. 2);

K_b – коэффициент, учитывающий повышение прочности заключенного в обойму бетона, принимаемый равным 1,92 и 1,55, соответственно, для бетонов класса прочности B20 и B40. Коэффициент φ_b определяют в зависимости от приведённой гибкости

$$\lambda_{b,ef} = \frac{\ell_o}{i_b} \sqrt{\frac{(k+\mu)}{(0,25k+0,5\mu)}}$$

где $k = \frac{k_b R_b}{R_y}$; $\mu = \frac{A}{A_b}$; ℓ_o - расчётная длина стойки;

i_b - радиус инерции бетонного ядра [2].

Таблица 2. Коэффициенты φ_b для трубобетонных стоек

Приведенная гибкость, λ_b	20	40	60	80	100	120
Бетон класса В20	0,963	0,888	0,791	0,654	0,527	0,400
Бетон класса В40	0,974	0,922	0,852	0,731	0,588	0,450

По EN 1994-2:2005 несущая способность трубы заполненной бетоном определяется как сумма сопротивления пластических составляющих элементов сечения:

$$N_{pl,Rd} = A_a f_{yd} + k A_c f_{cd} + A_s f_{sd}$$

где A_a , A_c и A_s - площади стальной трубы, бетона, арматуры;

f_{yd} , f_{cd} , f_{sd} - расчетное сопротивление текучести стальной трубы, расчетное сопротивление бетона на сжатие и расчетное сопротивление текучести арматуры;

$k = 1,0$ – для труб заполненных бетоном;

$k = 0,85$ для открытых сечений.

Еврокод предлагает учитывать возросшую несущую способность бетона в трубе по формуле:

$$N_{pl,Rd} = \eta_a A_a f_{yd} + A_c f_{cd} \left(1 + \eta_c \frac{t}{d} \frac{f_y}{f_{ck}}\right) + A_s f_{sd}$$

где t – толщина стенки стальной трубы;

d – наружный диаметр трубы;

f_y и f_{ck} - характеристическое сопротивление текучести стальной трубы и сопротивление бетона на сжатие.

Для центрально сжатых элементов при $e = 0$ значения коэффициентов для стали $\eta_a = \eta_{ao}$ и для бетона $\eta_c = \eta_{co}$ определяются по формулам:

$$\eta_{ao} = 0,25(3 + 2\bar{\lambda}) \leq 1,0$$

$$\eta_{co} = 4,9 - 18,25\bar{\lambda} + 17\bar{\lambda}^2 \geq 0$$

Пример:

Стальная труба: 1220x22 мм – $t/d = 0,018$

площадь стали трубы :

$$A_a = 0,021 \text{ м}^2;$$

расчетное сопротивление текучести трубы:

$$f_y = 295 \text{ МПа};$$

площадь бетона заполнения:

$$A_c = 1,086 \text{ м}^2;$$

расчетное сопротивление бетона С50/60 сжатию:

$$f_{cd} = 33,3 \text{ МПа};$$

характеристическое сопротивление бетона сжатию:

$$f_{ck} = 50 \text{ МПа}.$$

При оценке несущей способности трубы без упрочнения величина $N_{pl,Rd}$ составит:

$$N_{pl,Rd} = A_a f_{yd} + k A_c f_{cd} = 0,021 \cdot 295 + 1 \cdot 1,086 \cdot 33,3 = 42,36 \text{ МН}$$

При центральном сжатии трубы $e/d = 0,01$, несущая способность трубы при гибкости $\bar{\lambda} = 0,1$, с учетом упрочнения бетонного ядра составляет:

$$N_{pl,Rd} = \eta A_a f_{yd} + A_c f_{cd} \left(1 + \eta \frac{t}{d} \frac{f_y}{f_{ck}}\right) = 0,8 \cdot 0,021 \cdot 295 + 1,34 \cdot 1,086 \cdot 33,3 = 4,96 + 48,46 = 53,42 \text{ МН}$$

Таким образом, учет работы трубобетона по Еврокодам приводит к увеличению несущей способности трубы на 26%: $53,42/42,36 = 1,26$ для данного случая.

Литература

1. Росновский, В.А. Трубобетон в мостостроении / В.А. Росновский // Трансжелдориздат, 1963.-110 с. 23.
2. Горев, В.В. – Элементы стальных конструкций/ В.В. Горев // Учеб. пособие для строит. вузов/В.В. Горев, Б.Ю. Уваров и др.; Под ред. В.В. Горева. – М.: Высш. Шк., 1997. – 527.: ил.
3. Корнеев М.М. . Стальные мосты / М.М. Корнеев// Пособие по проектированию в 3-х томах – К.: Из-во «Ультрадрук», 2019.- Т. 3. – 560 с.

УДК 691

ПРОИЗВОДСТВО БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ МЕТОДОМ РАДИАЛЬНОГО ПРЕССОВАНИЯ

Устинович А.В.¹⁾, Гречухин В.А.²⁾

¹⁾Завод ЖБИ УП «Минскметрострой»,

ул. Селицкого, д.15в, 220075, г. Минск, Республика Беларусь

²⁾Белорусский национальный технический университет

пр. Независимости, 65, 220030, г. Минск, Республика Беларусь

Радиальное прессование – это технология производства бетонных и железобетонных изделий, при котором ось вращения в процессе производства располагается вертикально [1]. В 1905 году Зейдлер и Маккракен в штате Айова независимо друг от друга собрали первые установки для производства бетонных труб методом радиального прессования [2]. Впервые как способ производства труб радиальное прессование было использовано в США в 40-х годах прошлого столетия [3, 4]. В Советском Союзе разрабатывалось и производилось оборудование, использовавшее метод радиального прессования для уплотнения бетонной смеси, что позволяло выпускать бетонные и железобетонные безнапорные трубы и кольца [5]. 70-х годах прошлого столетия в СССР институтом «Гипростроммаш» разработаны первые образцы оборудования, которое позволяет производить трубы бетонные и железобетонные методом радиального прессования. Изготовление оборудования осуществлено Лисичанским заводом «Строммашина» [6, 7]. Установка СМЖ 194-Б предназначалась для изготовления труб диаметром 300-600 мм, а СМЖ 329 позволяла производить трубы диаметрами от 800 до 1200 мм. Современные установки рассчитаны на производство труб методом радиального прессования диаметрами от 300 мм до 1800 мм и длиной обычно до 3500 мм [8].

При радиальном прессовании уплотнение жёсткой бетонной смеси (ЖЗ-Ж4) происходит в стальной форме при помощи вращающейся головки с роликами (рисунок 1), которые при соприкосновении с бетоном не только укатывают и опрессовывают его, но вызывают сдвиговые деформации, что приводит к компактному и плотному расположению крупного заполнителя. Данный способ производства труб бетонных и железобетонных является высокопроизводительным благодаря немедленной распалубке отформованных