

УДК 624.01/07

М.А. Давиденко

**К РАСЧЕТУ ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ  
СТАЛЕФИБРОБЕТОННЫХ ТРУБ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВИБРОПРЕССОВАНИЯ**

*У статті приведені пропозиції щодо розрахунку міцності сталевібробетонних труб та оцінці напружено-деформованого стану прямокутних перерізів фібробетонних елементів на основі діаграми Прандтля.*

**Ключові слова:** сталевібробетонні труби; фібробетонні елементи; напружено-деформований стан.

*В статье приведены предложения по расчету прочности сталефибробетонных труб и оценке напряженно-деформированного состояния прямоугольных сечений фибробетонных элементов на основе диаграммы Прандтля.*

**Ключевые слова:** сталевібробетонные трубы; фибробетонные элементы; напряженно-деформированное состояние.

*The article presents suggestions for calculating strength steel fiber-reinforced pipes and evaluation of the stress-strain state of rectangular sections fiber concretes elements based on Prandtl chart.*

**Keywords:** steel fiber-reinforced pipe; fiber concrete elements; stress-strain state.

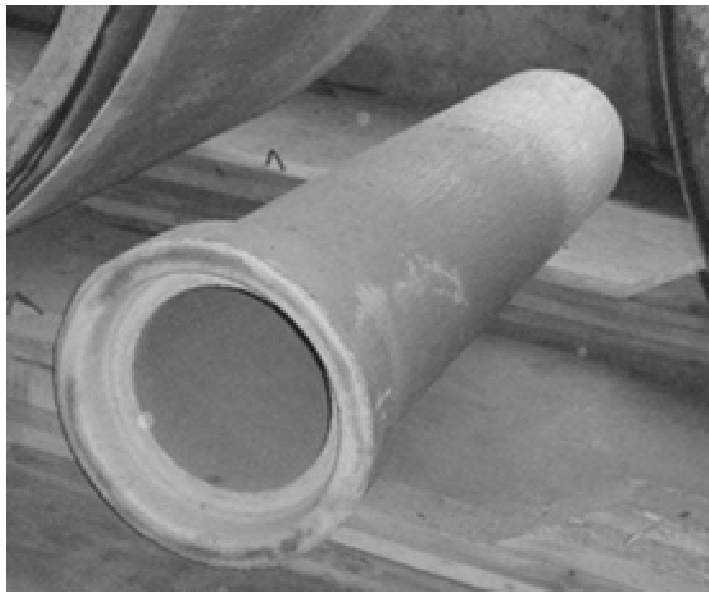
**Введение.** Высокая трудоемкость изготовления железобетонных труб, связанная с установкой двойных стержневых каркасов, необходимых для восприятия двузначных изгибающих моментов, сложность обеспечения требуемой толщины защитного слоя бетона рабочей арматуры, низкая погонная нагрузка по трещиностойкости в сравнении с погонной нагрузкой по прочности, снижение эксплуатационного ресурса железобетонных труб [1] ставят задачи исследования изделий из сталевібробетона (рис. 1) с отказом от стержневого армирования труб Ø 400-600 мм [2].

**Цель, задачи** – внести предложения по расчету прочности сталевібробетонных труб и оценке напряженно-деформированного состояния прямоугольных сечений фибробетонных элементов на основе диаграммы Прандтля.

Проведенные испытания [2] показали достаточно равномерное распределение стальной фибры по объему бетона в изломе стенки сталевібробетонной трубы.

Ниже приведены предложения по расчету прочности сталевібробетонных труб и оценке напряженно-деформированного состояния прямоугольных сечений фибробетонных элементов на основе диаграммы Прандтля.

© Давиденко М.А., 2014



*Рис. 1. Изготовление труб  $\varnothing$  400 мм методом вертикального вибропрессования; сталефибробетонная труба  $\varnothing$  400 мм*

*после набора прочности*



*Рис. 2. Равномерное распределение стальной фибры по объему бетона в изломе стенки сталефибробетонной трубы*

Результаты исследований [2, 3] свидетельствуют, что в процессе деформирования в растянутой зоне сталефибробетонных труб проявляются упругопластические свойства вплоть до разрушения. Поэтому методика расчета сечений фибробетонных элементов, нормальных к продольной оси элемента должна учитывать развитие пластических деформаций в фибробетоне. Существующие нормативные методики расчета прочности фибробетонных и железобетонных элементов кольцевого сечения используют прямоугольную эпюру распределения напряжений по сечению элемента [4, 5], допуская неограниченную пластичность бетона и фибробетона в предельном состоянии, что приводит к завышению несущей способности, перерасходу бетона и фибры.

Расчетные зависимости напряженно-деформированного состояния и несущей способности внецентренно сжатых (изгибаемых) фибробетонных элементов прямоугольного сечения построены на основе предположений, приведенных в ДБН В.6.2-98:2009 [6], основные из которых:

- связь между напряжениями и деформациями фибробетона в сжатой зоне принимается в виде упругой диаграммы;

- связь между напряжениями и деформациями фибробетона в растянутой зоне принимается в виде диаграммы Прандтля. Использование приведенной предпосылки равносильно принятию эпюры напряжений в фибробетоне растянутой зоны расчетного сечения в момент, предшествующий разрушению, в виде прямоугольной трапеции с высотой участка постоянных напряжений равной  $\lambda_{cftu} \cdot (d - x)$ , где  $\lambda_{cftu}$  – коэффициент

пластичности фибробетона; напряжения в условно пластической зоне равны предельному значению  $f_{cfd}$

$$\text{При } \varepsilon_{cft} = \varepsilon_{cftu}, \quad \lambda_{cft} = \lambda_{cftu} = 1 - \frac{f_{cfd}}{\varepsilon_{cftu} \cdot E_{cftu}}. \quad (1)$$

Высота части сечения, работающей в условно пластической стадии

$$x_t = \lambda_{cftu} \cdot (d - x); \quad (2)$$

- сопротивление сталефибробетона растяжению представлено напряжениями, равными  $f_{cfd}$ , распределенными в соответствии с трапециевидальной эпюрой напряжений в растянутой зоне сталефибробетона;

- сопротивление сталефибробетона сжатию представлено напряжениями  $f_{cfd}$ , распределенными в соответствии с треугольной эпюрой напряжений в сжатой зоне сталефибробетона.

За критерий исчерпания несущей способности сечения принимается:

– потеря равновесия между внутренними и внешними усилиями (достижение максимума на диаграммах "момент-кривизна" или «нагрузка - прогиб»);

– разрушение растянутого фибробетона происходит при достижении фибровыми деформациями предельных значений ( $\varepsilon_{cftu}$ ).

Расчетное сопротивление сталефибробетона сжатию  $f_{cfd}$  определяется по формуле Свода правил [7]

$$f_{cfd} = f_{cd} + (k_n^2 \cdot \varphi_f \cdot \mu_{fv} \cdot R_f), \quad (3)$$

где  $f_{cd}$  – расчетное сопротивление бетона-матрицы осевому сжатию;

$k_n$  – коэффициент, учитывающий работу фибр в сечении, перпендикулярном направлению внешнего сжимающего усилия;

$\varphi_f$  – коэффициент эффективности косвенного армирования фибрами

$$\varphi_f = \frac{5 + L}{1 + 4.5L},$$

где

$$L = \frac{k^2 \cdot \mu_{fv} \cdot f_f}{f_{fc}}.$$

Расчетное сопротивление сталефибробетона растяжению  $f_{cfd}$  в случае обрыва некоторого количества фибр и выдергивания остальных (при  $l_{f,an} < 0,5 l_f$ , первый случай), определяется по формуле [7]

$$f_{cfd} = m_l \left[ K_r \cdot k_{or}^2 \cdot \mu_{fv} \cdot f_{fc} \left( 1 - \frac{l_{fan}}{l_f} \right) + 0.1 f_{fc} \left( 0.8 - \sqrt{2 \mu_{fv} - 0.005} \right) \right]. \quad (4)$$

Расчетное сопротивление сталефибробетона растяжению  $f_{cfd}$  в случае выдергивания из бетона условно всех фибр (при  $l_{f, an} > 0,5 l_f$ , второй случай), определяется в соответствии с Сводом правил по проектированию и строительству. Сталефибробетонные конструкции [7]

$$f_{cfd} = m_2 \cdot f_{fc} \left( K_T \cdot \frac{k_{or}^2 \cdot \mu_{fv} \cdot l_f}{8\eta_f \cdot d_{fred}} + 0.08 - 0.5\mu_{fv} \right), \quad (5)$$

где  $m_1, m_2$  – коэффициенты условий работы, принимаемые равными для фибры из проволоки – 1,1;  $l_{f, an}$  – длина заделки фибры в бетоне;  $k_{or}$  – коэффициент ориентации фибр в объеме элемента;  $\mu_{fv}$  – коэффициент фибрового армирования по объему;  $K_T = \sqrt{1 - (1.2 - 80 \cdot \mu_{fv})}$ ;  $d_{fred}$  – приведенный диаметр используемой фибры, мм;  $f_{fk}$  – нормативное сопротивление растяжению фибр, МПа;  $\eta_f$  – коэффициент, учитывающий анкерровку фибры, принимаемый для фибры из стальной проволоки:  $\eta_f = 0,7-0,9$ .

На основании приведенных предпосылок прочность нормальных прямоугольных сечений изгибаемых фибробетонных элементов, проверяют из условия (6), рис. 3:

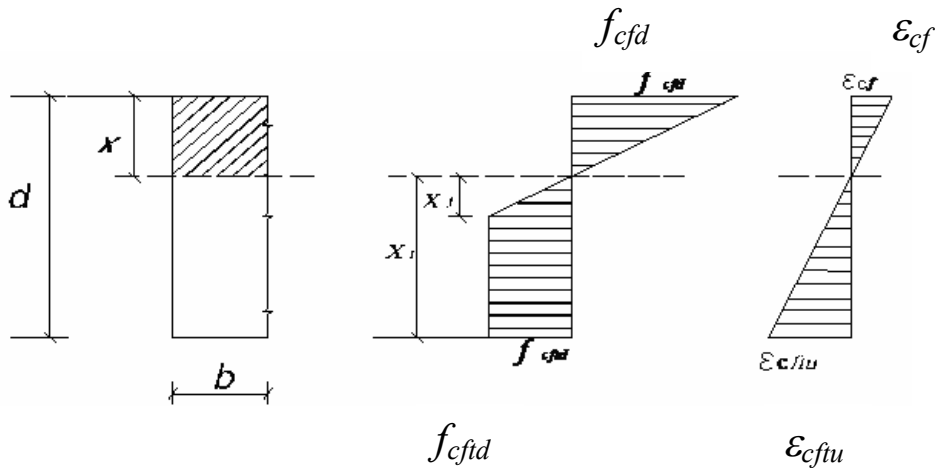


Рис. 3. Расчетная схема сталефибробетонного элемента прямоугольного сечения

$$M \leq f_{cfd} \cdot b \cdot X_t^2 \frac{1 + \lambda_{cftu} - 0,5 \lambda_{cftu}^2}{3} - 0,5 \cdot \frac{\epsilon_{cftu} \cdot E_{cf} \cdot b X_t^2}{X_t} \left( d - \frac{x}{3} \right) \quad (6)$$

Высоту сжатой зоны проверяют из условия

$$0,5 f_{ctd} \cdot (1 + \lambda_{cftu}) \cdot b \cdot X_t - 0,5 \frac{\varepsilon_{cftu} \cdot E_{cf} \cdot b X^2}{X_t} = 0 \quad (7)$$

Порядок расчета нормальных сечений фибробетонных элементов по деформационной модели:

- задаемся начальными значениями деформаций крайнего растянутого волокна  $\varepsilon_{cft}$ , кривизны  $\chi$  и вычисляем значение высоты сжатой зоны  $x$  фибробетонного элемента;

- вычисляем значение коэффициента пластичности фибробетона  $\lambda_{cftu}$ ;

- проверяем выполнение условия равенства нулю усилий в сжатой и растянутой зоне прямоугольного сечения (7); если это условие не выполняется, принимаем новое значение  $\varepsilon_{cft} = \varepsilon_{cft} + \left| \Delta \varepsilon_{cft} \right|$ , вычисляем  $x$

и расчет повторяем до тех пор, пока условие (7) не будет выполняться с заданной точностью.

- проверяем неравенство (6) – условие прочности сечения.

**Вывод.** Приведенная деформационная методика расчета прямоугольных сечений фибробетонных элементов позволяет более точно рассчитывать прочность сечений и более экономично расходовать бетон и фибровое дисперсное армирование.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Трубы железобетонные безнапорные. Технические условия: ГОСТ 6482-88. – [Введ. с 01.01.90]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 75 с.
2. Давиденко М.А. Прочностные и деформативные характеристики сталефибробетонных труб вертикального вибропрессования / М.А. Давиденко, Н.Д. Высоцкая // Научный вестник Луганского национального аграрного университета. – 2012. – № 41. – С. 269-275.
3. Давиденко М.А. К определению предельных деформаций сталефибробетона на основе равновесных диаграмм деформирования / М.А. Давиденко, А.И. Давиденко, Е.В. Орехова // Міжвід. науково-техн. зб. наук. праць «Будівельні конструкції». – К.: НДІБК, 2011. – Вип. 74. – С. 526-531.
4. Бамбура А.Н. Методические рекомендации по расчету внецентренно сжатых и изгибаемых элементов из базальтофибробетона / А.Н. Бамбура, С.С. Ватагин, П.В. Рожков // Рекомендации. – К.: НИИСК Госстроя СССР, 1988. – 39 с.

5. Андрійчук О.В. *Робота і розрахунок елементів кільцевого перерізу зі сталевібробетону при повторних навантаженнях: Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / О.В. Андрійчук. – Львів, 2008. – 20 с.*
6. ДБН В.6.2-98:2009. *Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд України. – 2011. – 71 с.*
7. *Свод правил по проектированию и строительству. Стале-фібробетонные конструкции: СП 52-104-2006. [Введен 2006-01-09].- М.: ФГУП «НИЦ Строительство», 2007. – 73 с.*

*Стаття надійшла до редакції 15.09.2014*

**Рецензенти:**

доктор технічних наук, професор, завідуючий кафедрою металевих, дерев'яних та пластмасових конструкцій Одеської державної академії будівництва та архітектури **В.В. Стоянов**

кандидат технічних наук, професор кафедри «Технології та організація будівництва» Національного університету біоресурсів та природокористування України **М.Г. Ярмоленко**