

**ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА**

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА СТАЛЕФИБРОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИАГРАММ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА И СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРЫ**

**DESIGN METHOD FOR STEEL FIBER CONCRETE STRUCTURES WITH USE OF STRESS-STRAIN RELATIONSHIPS OF STEEL FIBRE CONCRETE AND REINFORCING BAR**

Рак Николай Александрович, кандидат технических наук, доцент профессор кафедры «Железобетонные и каменные конструкции» Белорусского национального технического университета, ведущий научный сотрудник РУП «Институт БелНИИС»

**АННОТАЦИЯ**

Приведены основные положения методики расчета сталефибробетонных элементов с использованием диаграмм деформирования сталефибробетона и стержневой арматуры.

**ABSTRACT**

General provisions of design method of steel fiber concrete elements with use of stress strain relationships diagrams of steel fiber concrete and reinforcing bar are resulted.

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время в Республике Беларусь ведется работа по расширению масштабов применения сталефибробетонных конструкций. Одним из направлений этой работы является разработка нормативных документов по проектированию таких конструкций.

Следует отметить, что методы расчета действовавших в СССР [1] и действующих в настоящее время в Российской Федерации нормативных документов по проектированию сталефибробетонных конструкций [2] были приняты по аналогии с методами расчета норм проектирования армоцементных конструкций [3]. Кроме того, значения коэффициентов надежности по материалам в этих документах приняты в соответствии с требованиями норм [4,5], что не отвечает требованиям действующих в Республике Беларусь отечественных [6] и европейских [7] нормативных документов. При этом более низкие значения коэффициентов по материалам, используемые в [1-5], приводят к низкой надежности расчета и пониженной долговечности проектируемых конструкций.

С целью повышения надежности расчета и увеличения долговечности конструкций при разработке рекомендаций по проектированию сталефибробетонных конструкций [8,9] была выполнена адаптация положений рекомендаций [1] к требованиям действующих в Республике Беларусь норм [6]. Однако при этом была сохранена аналогия с методами расчета норм проектирования армоцементных конструкций [3].

В то же время проведенные в последнее время исследования показали, что использование при проектировании сталефибробетонных конструкций положений норм [3] не в полной мере обоснованно, а в ряде случаев может привести к тому, что запроектированная таким образом конструкция не будет обладать установленными нормами [6, 7] надежностью и долговечностью.

В настоящее время начата разработка ТКП по проектированию сталефибробетонных конструкций, развивающих положения отечественных норм [6] и проектов разработанных взамен них ТКП по проектированию железобетонных конструкций.

В статье приведены основные положения методики расчета сталефибробетонных конструкций с использованием диаграмм деформирования сталефибробетона и стержневой арматуры, которую предполагается включить в разрабатываемый ТКП.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА

Расчеты сталефибробетонных конструкций на действие изгибающих моментов и продольных сил (сжимающих и растягивающих), по несущей способности (прочности) при любой форме поперечных сечений, любом расположении арматуры в пределах сечения и произвольной системе усилий, вызванных внешними воздействиями, следует производить на основе общей деформационной расчетной модели сечений, нормальных к продольной оси конструкции, использующей:

- уравнения равновесия моментов и продольных сил в сечении, нормальном к продольной оси конструкции;
- уравнения, определяющие зависимости между напряжениями и относительными деформациями сталефибробетона и арматуры, в виде диаграмм состояния (деформирования) материалов;
- уравнения, определяющие распределение относительных деформаций в сталефибробетоне и арматуре по сечению, нормальному к продольной оси конструкции, исходя из гипотезы плоских сечений. При этом, относительные деформации арматуры, имеющей сцепление со сталефибробетоном (независимо, при сжатии или растяжении), следует принимать такими же, как и для окружающего сталефибробетона;
- условия деформирования сталефибробетона и арматуры между трещинами, нормальными к продольной оси конструкции.

### ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТАЛЕФИБРОБЕТОНА И СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРЫ

В качестве обобщенной характеристики механических свойств сталефибробетона при одноосном сжатии следует принимать диаграмму деформирования сталефибробетона, устанавливающую связь между напряжениями  $\sigma_{fc}$  и продольными относительными деформациями  $\varepsilon_{fc}$  сжатого сталефибробетона при кратковременном действии однократно приложенной нагрузки вплоть до установленных предельных значений, отвечающих разрушению сталефибробетона при однородном напряженном состоянии.

При расчете прочности сечений сталефибробетонных конструкций допускается применять параболически-линейную диаграмму (рисунок 1а), для которой взаимосвязь между напряжениями и относительными деформациями сталефибробетона при сжатии описывается следующими зависимостями:

$$\sigma_c = f_{fcd} \cdot \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\varepsilon_{fc}}{\varepsilon_{fc2}} \right)^2 \right], \text{ при } 0 \leq |\varepsilon_{fc}| < |\varepsilon_{fc2}|, \quad (1)$$

$$\sigma_{fc} = f_{fcd}, \text{ при } |\varepsilon_{fc2}| \leq |\varepsilon_{fc}| \leq |\varepsilon_{fcu2}|, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{fc2}$  — относительные деформации, соответствующие максимальным напряжениям на диаграмме, определяемые по зависимости

$$\varepsilon_{fc2} = \varepsilon_{c2} \left( \frac{f_{fcd}}{f_{cd}} \right)^2 \quad (3)$$

$\varepsilon_{fcu2}$  — расчетные предельные относительные деформации сталефибробетона (в ‰), определяемые по зависимости

$$\varepsilon_{fcu2} = \varepsilon_{cu2} + 5 \left( \frac{f_{fcd}}{f_{cd}} - 1 \right) \quad (4)$$

$f_{fcd}$  — расчетное сопротивление сталефибробетона сжатию;

$f_{cd}$  — расчетное сопротивление бетона-матрицы сжатию;

$\varepsilon_{c2}$  — относительные деформации бетона-матрицы (в ‰), соответствующие максимальным напряжениям;

$\varepsilon_{cu2}$  — расчетные предельные относительные деформации бетона-матрицы (в ‰).

При этом значения  $f_{fcd}$  определяются согласно указаниям [8,9], а значения  $\varepsilon_{c2}$  и  $\varepsilon_{cu2}$  согласно указаниям [6] для принятого класса бетона-матрицы.

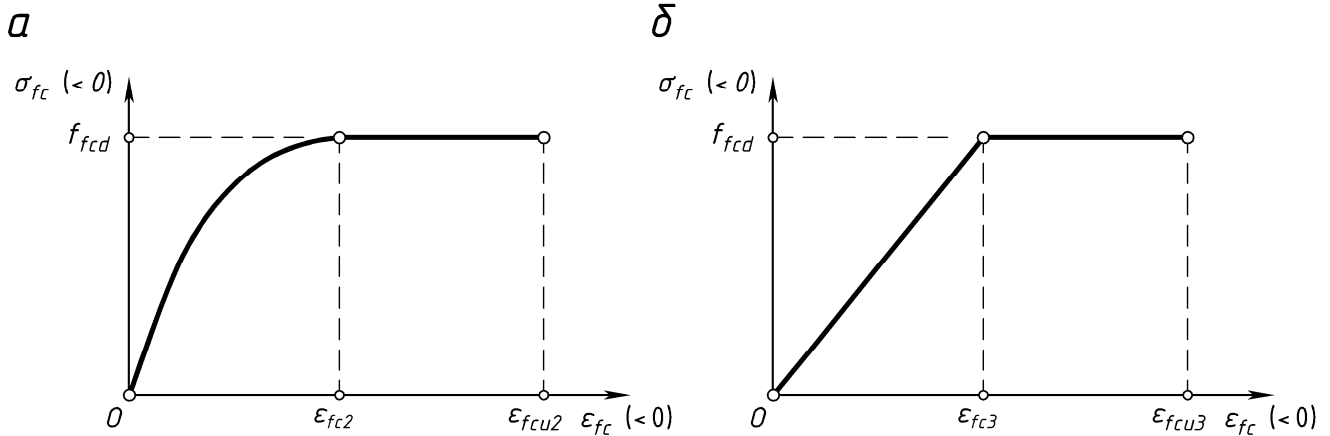


Рисунок 1 — Диаграммы деформирования сталефибробетона при сжатии, применяемые при расчете прочности сечений сталефибробетонных конструкций:

- а — параболически-линейная;
- б — упрощённая билинейная

При расчете сталефибробетонных конструкций допускается использовать эквивалентную упрощенную билинейную диаграмму деформирования сталефибробетона при сжатии (рисунок 1б). При этом значения относительных деформаций  $\epsilon_{fct3}$  и  $\epsilon_{fctcu3}$  принимают по зависимостям  $\epsilon_{fct3} = 0,9\epsilon_{fct2}$  и  $\epsilon_{fctcu3} = \epsilon_{fctcu2}$ .

В качестве обобщенной характеристики механических свойств сталефибробетона при растяжении следует принимать диаграмму деформирования сталефибробетона, устанавливающую связь между напряжениями  $\sigma_{fct}$  и продольными относительными деформациями  $\epsilon_{fct}$  растянутого сталефибробетона при кратковременном действии однократно приложенной нагрузки вплоть до установленных предельных значений, отвечающих разрушению сталефибробетона при однородном напряженном состоянии.

Зависимость, связывающую значения растягивающих напряжений  $\sigma_{fct}$  и значения относительных деформаций растяжения  $\epsilon_{fct}$  (рисунок 2а), допускается принимать в виде (параболически-гиперболическая диаграмма):

$$\sigma_c = f_{fctd} \cdot \left[ \frac{\epsilon_{fct}}{\epsilon_{fct1}} - 0,2 \left( \frac{\epsilon_{fct}}{\epsilon_{fct1}} \right)^5 \right] \text{ при } \epsilon_{fct} \leq \epsilon_{fct1} \text{ (восходящая ветвь)}, \quad (3)$$

$$\frac{\sigma_{ct}}{f_{fctd}} = 0,4 + 0,6 \left( \frac{\epsilon_{fct1}}{\epsilon_{fct}} \right)^5 \text{ при } \epsilon_{fct1} < \epsilon_{fct} < \epsilon_{fctcu} \text{ (нисходящая ветвь)}, \quad (4)$$

где  $f_{fctd}$  — расчетное сопротивление сталефибробетона осевому растяжению;  
 $\epsilon_{fct1}$  — относительные деформации, соответствующие пиковой точке диаграммы деформирования сталефибробетона при осевом растяжении, равные

$$\epsilon_{fcr} = \frac{1,25 \cdot f_{fctd}}{E_{fc}};$$

$E_{fc}$  — начальный модуль упругости сталефибробетона, определяемый по формуле

$$E_{fc} = E_{cm} (1 - \rho_{fv}) + E_f \rho_{fv}. \quad (5)$$

Допускается принимать упрощенную параболически- билинейную диаграмму, нисходящая ветвь которой имеет два линейных участка (рисунок 2б):

$$\text{при } \epsilon_{fct1} \leq \epsilon_{fct} \leq 1,5\epsilon_{fct1} \quad \sigma_{fct} = f_{std} \left( 2,2 - 1,2 \frac{\epsilon_{ct}}{\epsilon_{ctr}} \right)$$

$$\text{при } 1,5\epsilon_{fct1} \leq \epsilon_{fct} \leq \epsilon_{fctcu} \quad \sigma_{fct} = 0,4f_{fctd}$$

Зависимость « $\sigma_s$ — $\epsilon_s$ » для стержневой арматуры и значения модуль упругости арматуры  $E_s$  принимаются согласно указаниям п. 6.[6].

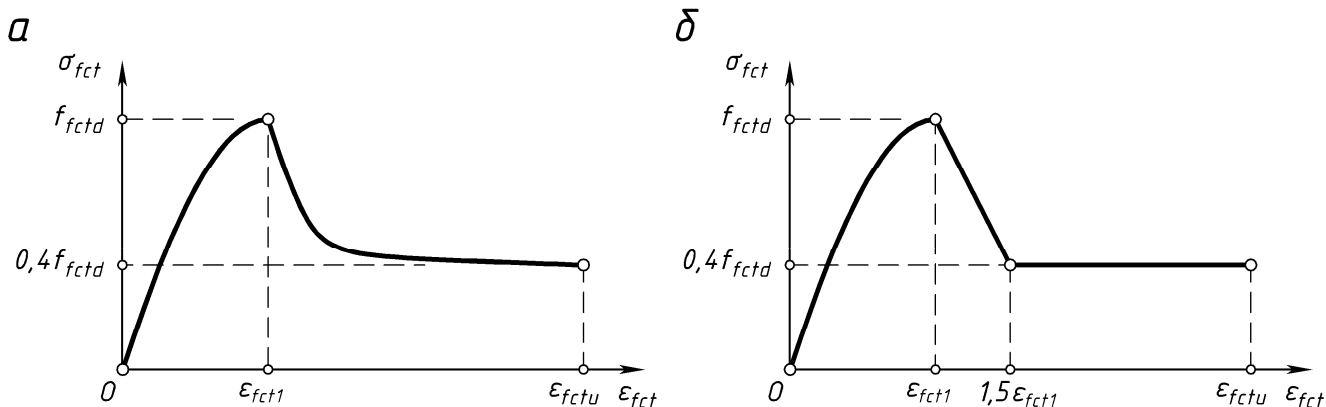


Рисунок 2 — Диаграмма, связывающая растягивающие напряжения и относительные деформации растяжения для сталефибробетона  
 а — параболически-гиперболическая;  
 б — упрощенная параболически- билинейная

### КРИТЕРИИ ИСЧЕРПАНИЯ ПРОЧНОСТИ СЕЧЕНИЙ, НОРМАЛЬНЫХ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ

В общем случае предельные усилия, которые может воспринять сталефибробетонная конструкция в сечении с трещиной, нормальном к продольной оси, определяются из решения общей системы уравнений деформационной расчетной модели. Расчетные схемы распределения относительных деформаций в сечении элемента при расчете по прочности показаны на рисунке 3.

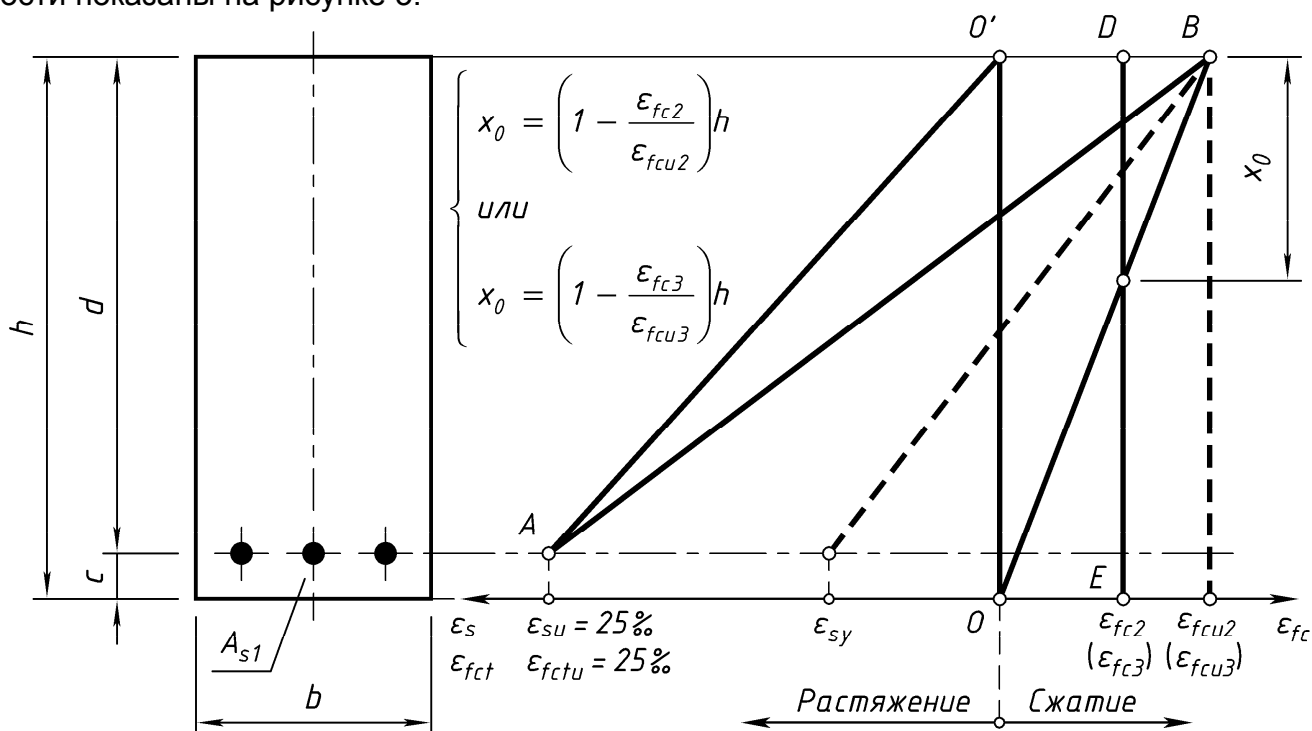


Рисунок 3 — Расчетные схемы распределения относительных деформаций в сечении, нормальном к продольной оси, при расчете элемента по прочности с использованием деформационной модели

- Прямые D–E — центральное сжатие с однозначной равномерной эпюрой напряжений;
- O–B — внецентренное сжатие с неравномерной однозначной эпюрой напряжений;
- A–B — изгиб и внецентренное сжатие при двузначной эпюре напряжений;
- A–O — внецентренное растяжение при однозначной эпюре напряжений

Учитывая возможные схемы разрушения сталефибробетонных конструкций по сечениям, нормальным к продольной оси, предложено использовать одновременно два кри-

терия исчерпания прочности таких сечений: основной и дополнительный.

Основным критерием исчерпания прочности сталефибробетонных конструкций по сечениям, нормальным к продольной оси, принято условие достижения относительными деформациями сжатого сталефибробетона или растянутой стержневой арматуры их предельных значений.

Величина предельных относительных деформаций сжатого сталефибробетона  $\varepsilon_{fc}$  не должна превышать:

- а) для центрально сжатых сечений — значений  $\varepsilon_{fc2}$ ;
- б) для внецентренно сжатых сечений (с двузначной эпюрой относительных деформаций) —  $\varepsilon_{fcu2}(\varepsilon_{fcu3})$ .

Во всех промежуточных ситуациях следует принимать такое распределение относительных деформаций по высоте сечения, когда на расстоянии, равном  $\left(1 - \frac{\varepsilon_{fc2}}{\varepsilon_{fcu2}}\right)h$  или  $\left(1 - \frac{\varepsilon_{fc3}}{\varepsilon_{fcu3}}\right)h$  от наиболее сжатой грани сечения, значения относительных деформаций не превышают  $\varepsilon_{fc2}(\varepsilon_{fc3})$  (см. рисунок 3).

Предельную величину относительных деформаций растянутой арматуры  $\varepsilon_{su}$  следует принимать равной.

$$\varepsilon_{su} = \varepsilon_{sR}, \text{ но не более } 25 \text{ ‰}, \quad (7)$$

где  $\varepsilon_{sR}$  — значение предельных относительных деформаций растянутой арматуры, установленное стандартом.

Предельную величину относительных деформаций фибровой арматуры  $\varepsilon_{fctu}$  следует принимать равной 25 ‰.

Дополнительным критерием исчерпания прочности сталефибробетонных конструкций по сечениям, нормальным к продольной оси, при использовании деформационной расчетной модели принято условие достижения относительными деформациями крайнего растянутого волокна значения  $\varepsilon_{fct1}$ , соответствующего относительным деформациям в пиковой точке диаграммы деформирования сталефибробетона при осевом растяжении или достижения относительными деформациями растянутой арматуры значения  $\varepsilon_{sy}$ , соответствующего относительным деформациям в момент достижения арматурой предела текучести.

При этом прочность сечения следует принимать по максимальному из значений несущей способности, определенных по основному и дополнительному критериям.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена методика расчета сталефибробетонных конструкций с использованием диаграмм деформирования сталефибробетона и стержневой арматуры, которая разработана в развитие положения отечественных норм [6] и проектов разработанных взамен них ТКП по проектированию железобетонных конструкций для включения в ТКП по проектированию сталефибробетонных конструкций.

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рекомендации по проектированию и изготовлению сталефибробетонных конструкций. - М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1987. — 148 с.
2. СП 52-104-2006. Сталефибробетонные конструкции. - М.: ФГУП ЦПП, 2007. — 56 с.
3. Армоцементные конструкции. Нормы проектирования: СНиП 2.03.03-85. — Введ. 01.07.86. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. — 24 с.
4. Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования: СНиП 2.03.01-84\*. — Введ. 20.08.84. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. — 80 с.
5. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения: СНиП 52-01-2003

– Введ. 01.07.86. Введ. 01.03.2004.–М.: Госстрой России, 2004.–24 с.

6. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01–02. – Введ. 01.07.03. – Мн.: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2003. – 132 с.

7. Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1992-1-1-2009. – Мн.: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2003.– 207 с.

8. Рекомендации по проектированию и изготовлению строительных сталефибробетонных конструкций и технологии производства сталефибробетона с применением фрезерованной фибры ЗАО "Курганстальмост": Р5.03.044.08. – Мн.: РУП «Институт БелНИИС», 2008. – 88с.

9. Рекомендации по проектированию и изготовлению сталефибробетонных конструкций и технологии производства сталефибробетона с применением стальной фибры БМЗ: Р5.03.054.09. – Мн.: РУП «Институт БелНИИС», 2009. – 106 с.

**Источник: [www.belniis.by](http://www.belniis.by)**