

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОРИЕНТАЦИИ ФИБРОВОГО  
АРМИРОВАНИЯ ПО ПЛОЩАДИ СЕЧЕНИЯ СЖАТОГО  
СОСТАВНОГО ТОНКОСТЕННОГО ЭЛЕМЕНТА В ИНТЕРВАЛЕ  
(0,4...0,6)  $H/L_F$**

*Черноусов Н.Н., Стурова В.А., Чурсин Е.В., Ливенцева А.А.*

**Ключевые слова:** фибробетон, шлакопемзобетон, сталефибробетон.

**Аннотация.** Одним из перспективных конструктивных материалов является дисперсно-армированный бетон, представляющий собой одну из разновидностей большого класса композиционных материалов, которые в настоящее время все более широко применяются при изготовлении железобетонных конструкций различного назначения. В статье рассмотрен порядок определения коэффициента ориентации фибрового армирования по площади сечения сжатого составного тонкостенного элемента в интервале  $(0,4...0,6) H/L_F$

**DETERMINATION OF THE ORIENTATION COEFFICIENT OF FIBER  
REINFORCEMENT BY THE CROSS-SECTIONAL AREA OF A  
COMPRESSED COMPOSITE THIN-WALLED ELEMENT IN THE  
INTERVAL  $(0.4 \dots 0.6) H/L_F$**

*Chernousov N.N., Sturova V.A., Chursin E.V., Liventseva A.A.*

**Keywords:** fiber concrete, slag concrete, steel fiber concrete.

**Abstract.** One of the most promising structural materials is dispersed-reinforced concrete, which is one of the varieties of a large class of composite materials, which are now increasingly used in the manufacture of reinforced concrete structures for various purposes. The article discusses the procedure for determining the coefficient of orientation of fiber reinforcement over the sectional area of a compressed composite thin-walled element in the interval  $(0.4 \dots 0.6) H/L_F$

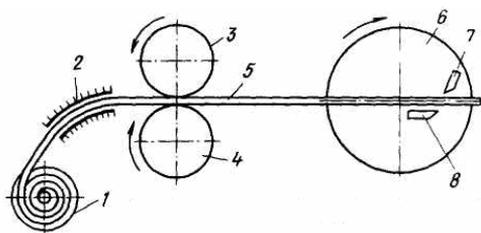
Дисперсное армирование осуществляется волокнами-фибрами, распределенными в объеме бетонной матрицы.

Эффективность строительных конструкций еще более повысится, если применять предварительно-напряженную высокопрочную арматуру с использованием дисперсно-армированного сталефиброшлакопемзобетона (СФШПБ), представляющего собой мелкозернистый шлакопемзобетон, армированный отрезками короткой стальной проволоки [1-3].

В настоящее время применяется пять способов получения стальных фибр:

- 1) из проволоки (рис. 1-3) с резкой и профилированием их сечения;
- 2) из отработанных стальных канатов с резкой последних на отрезки заданной длины, их расщеплением и очисткой от смазки;
- 3) из стальной полосы (рис. 4,5) заданной ширины с поперечной или продольной резкой специальными фрезами;
- 4) из стального слитка (сляба) путем фрезерования;
- 5) вытяжкой волокон из расплава.

Наиболее освоены и распространены в практике способы получения фибр из проволоки, отработанных канатов и тонкого стального листа.



- 1 – бухтодержатель;
- 2 – направляющая;
- 3 – прижимной валок;
- 4 – приводной валок;
- 5 – проволока; 6 – ротор;
- 7 – подвижный нож;
- 8 – неподвижный нож

Рис. 1. Схема станка для получения фибр из стальной проволоки



Рис. 2. Собственно станок по производству фибр из стальной проволоки

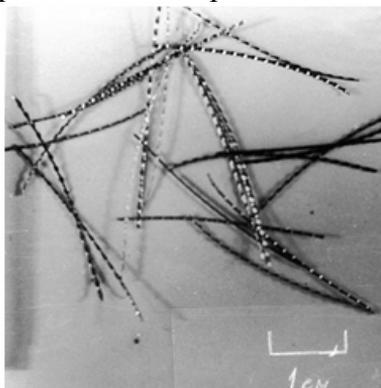
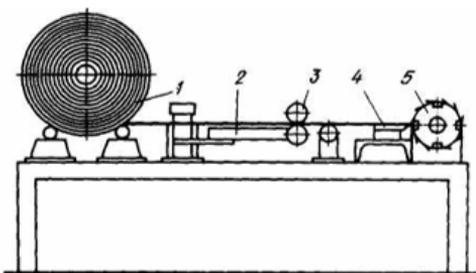


Рис. 3. Фибра из стальной проволоки



- 1 – рулон листовой стали, 2 – направляющее устройство, 3 – подающий механизм,
- 4 – неподвижный нож, 5 – ротор с подвижными ножами

Рис. 4. Схема станка для получения фибр из листовой рулонной стали



Рис. 5. Собственно станок по производству фибр из листовой рулонной стали

В нашей стране к настоящему времени разработаны стандарты по применению дисперсно-армированных бетонов в строительных конструкциях зданий и сооружений, например, такие как СП 52-104-2006\* «Сталефибробетонные конструкции» и СП 360.1325800.2017 «Конструкции сталефибробетонные. Правила проектирования», в которых для практического применения рекомендуется определять сопротивление сжатию сталефибробетона  $R_{fb}$ , зависящее от класса по прочности на сжатие бетон-матрицы  $R_b$ , вида и размеров фибры, геометрии и размеров сечения элемента при условии учета только работы фибр, ориентированных нормально к направлению внешнего сжимающего усилия, армируемых стальной фибровой арматурой (фиброй), по формуле:

$$R_{fb} = R_b + (k_n^2 \cdot \varphi_f \cdot \mu_{fv} \cdot R_f), \quad (1)$$

где  $R_f$  - сопротивление фибровой арматуры растяжению;  $k_n$  - коэффициент, учитывающий работу фибр в сечении, перпендикулярном направлению внешнего сжимающего усилия;  $\varphi_f$  - коэффициент эффективности косвенного армирования фибрами.

Коэффициент, учитывающий работу фибр в сечении, перпендикулярном направлению внешнего сжимающего усилия ( $k_n$ ), рекомендовано определять по таблице 6.2 СП 52-104-2006\* или по таблице В.2 СП 360.1325800.2017. Значения  $k_n$  в диапазоне (0,4...0,6)  $h/l_f$  - (0,5...20 и более) $b/l_f$  приведены в таблице 1.

Табл. 1. Значения  $k_n$  в зависимости от размеров сечения сжатого элемента при  $h/l_f=0,2... 0,4$  и  $b/l_f = 0,5...20$  и более (согласно СП 52-104-2006\* или СП 360.1325800.2017)

Значения $k_n$ в зависимости от размеров сечения сжатого элемента при								
$h/l_f$	$b/l_f$							
	0,5	1	2	3	5	10	20	Более 20
0,4	0,122	0,259	0,444	0,506	0,555	0,591	0,610	0,629
0,6	0,122	0,257	0,441	0,502	0,551	0,589	0,606	0,624

Размеры  $b$  и  $h$  в таблице 1 - соответственно, больший и меньший размеры сечения (или его части), перпендикулярного к направлению внешнего сжимающего усилия. В составном тонкостенном сечении бетонного элемента с использованием фибрового армирования обозначение размеров приведено на рисунке 6.

В результате математической обработки данных таблицы 1 получены формулы (2)-(7), приведенные в таблице 2, позволяющие определять с достоверностью  $R=1$  значения  $k_n$  в расширенном (прогнозируемом) диапазоне  $h/l_f = 0,4-0,6$  и  $b/l_f = 0,5-20,0$  и более. Они также позволяют автоматизировать вычислительный процесс, связанный с определением значения коэффициента ( $k_n$ ), в зависимости от размеров сечения сжатого элемента при  $h/l_f = 0,4...0,6$  и  $b/l_f = 0,5... 20,0$  и более.

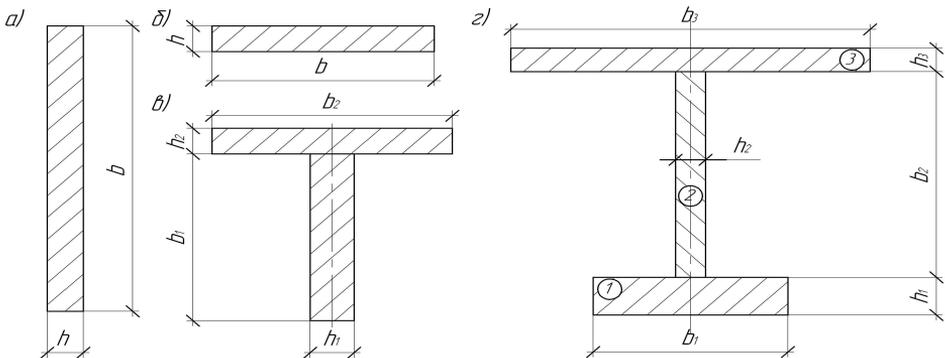


Рис. 6. Сечение сталефибробетонного элемента: а) и б) – прямоугольное сечение, в) тавровое сечение, г) двутавровое сечение

Табл. 2. Значения  $k_n$  в зависимости от размеров сечения сжатого элемента (при  $h/l_f=0,4\dots0,6$  и  $b/l_f = 0,1\dots20,0$  и более)

Диапазон		Значения $k_n$ в зависимости от размеров сечения сжатого элемента	
$h/l_f$	$b/l_f$	Формула	№
0,4 ... 0,6	0,1...1,0	$k_n = -0,01 \cdot \left(\frac{h}{l_f}\right) \cdot \left(\frac{b}{l_f}\right) + 0,278 \cdot \left(\frac{b}{l_f}\right) - 0,015$	(2)
	1,0...2,0	$k_n = -\left[0,005 \cdot \left(\frac{b}{l_f}\right) + 0,005\right] \cdot \left(\frac{h}{l_f}\right) + 0,187 \cdot \left(\frac{b}{l_f}\right) + 0,0776$	(3)
	2,0...3,0	$k_n = -\left[0,005 \cdot \left(\frac{b}{l_f}\right) + 0,005\right] \cdot \left(\frac{h}{l_f}\right) + 0,064 \cdot \left(\frac{b}{l_f}\right) + 0,322$	(4)
	3,0...5,0	$k_n = -0,02 \cdot \left(\frac{h}{l_f}\right) \cdot \left(\frac{b}{l_f}\right) + 0,0245 \cdot \left(\frac{b}{l_f}\right) + 0,4405$	(5)
	5,0...10,0	$k_n = -\left[0,002 \cdot \left(\frac{b}{l_f}\right) + 0,03\right] \cdot \left(\frac{h}{l_f}\right) + 0,0064 \cdot \left(\frac{b}{l_f}\right) + 0,531$	(6)
	10,0...20,0 и более	$k_n = -0,001 \cdot \left(\frac{h}{l_f}\right) \cdot \left(\frac{b}{l_f}\right) + 0,0023 \cdot \left(\frac{b}{l_f}\right) + 0,572$	(7)

Для унификации формул (2)-(7) предлагается математическая модель зависимости коэффициента  $k_n$  от длины фибры и размеров сечения:

$$k_n = a_0 + a_1 \cdot \frac{l_f}{h} + a_2 \cdot \frac{l_f}{b} + a_3 \cdot \frac{l_f^2}{bh'}, \quad (8)$$

где  $a_0, a_1, a_2, a_3$  – параметры модели, приведенные в таблице 3.

Табл. 3. Значения параметров модели зависимости коэффициента  $k_n$  от длины фибры и размеров при  $h/l_f=0,4\dots 0,6$  и  $b/l_f = 0,5\dots40$

Значения параметров в зависимости от размеров сечения сжатого элемента при $b/l_f$							
Параметры	0,5-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-40
$a_0$	0,384	0,6179	0,5781	0,6167	0,6269	0,6109	0,630
$a_1$	0,0048	0,0042	0,0274	0,0048	0	0,0072	0,0072
$a_2$	-0,131	-0,3649	-0,2524	-0,3684	-0,4195	-0,2589	-0,6404
$a_3$	-0,0024	-0,0019	-0,068	0	0,0238	-0,0484	-0,0479

Таким образом, предложены зависимости, позволяющие автоматизировать вычислительный процесс, связанный с определением сопротивления сжатию  $R_{fb}$ , необходимого для проектирования тонкостенных составных конструктивных элементов из сталефибробетона.

### Список литературы

1. Черноусов Н.Н. Высокопрочный дисперсно-армированный шлакопемзобетон / Н.Н. Черноусов, И.И. Пантелькин, А.П. Каравичев // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1981. – № 7. – С. 70-73.
2. Черноусов Н.Н. Усадка и ползучесть фиброшлакопемзобетона // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1986. – № 3. – С. 122-124.
3. Черноусов Н.Н. Железобетонные конструкции с использованием дисперсно-армированного шлакопемзобетона / Н.Н. Черноусов, И.И. Пантелькин. – М.: Изд-во АСВ, 1998. – 230 с.

### References

1. Chernousov N.N. High-strength dispersion-reinforced slag concrete / N.N. Chernousov, I.I. Pantelkin, A.P. Karavichev // News of universities. Building and architecture. – 1981. – No. 7. – P. 70-73.
2. Chernousov N.N. Shrinkage and creep of fibroslag-cement concrete // News of universities. Construction and architecture. – 1986. – No. 3. – P. 122-124.
3. Chernousov N.N. Reinforced concrete structures with the use of dispersed-reinforced slag-cement concrete / N.N. Chernousov, I.I. Pantel'kin. – M.: ASV Publ. house, 1998. – 230 p.

<b>Черноусов Николай Николаевич</b> – кандидат технических наук, генеральный директор ООО «НТО»ЭКСПЕРТ», Липецк, Россия, nto_expert@mail.ru	<b>Chernousov Nikolay Nikolaevich</b> – candidate of technical sciences, General Director of NTO EXPERT LLC, Lipetsk, Russia, nto_expert@mail.ru
<b>Стурова Виктория Андреевна</b> – аспирант, Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия, v-livenceva@mail.ru	<b>Sturova Viktoria Andreevna</b> – postgraduate student, Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia, v-livenceva@mail.ru
<b>Чурсин Егор Викторович</b> – студент, Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия, chursin019@mail.ru	<b>Chursin Egor Viktorovich</b> – student, Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia, chursin019@mail.ru
<b>Ливенцева Алена Андреевна</b> – студент, Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия, alivencevaa@mail.ru	<b>Liventseva Alena Andreevna</b> – student, Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia, alivencevaa@mail.ru

Received 20.12.2020