

М.А. ИВЛЕВ

аспирант кафедры строительных конструкций
Уфимский государственный нефтяной технический университет

И.В. НЕДОСЕКО

доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций
Уфимский государственный нефтяной технический университет

СТАЛЕФИБРОБЕТОН В ПРОИЗВОДСТВЕ МАЛОФОРМАТНЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ*STEELFIBERCONCRETE IN PRODUCTION OF SMALL-FORMAT FLEXUAL ELEMENTS*

Рассмотрены технические аспекты применения сталефибробетона в производстве малоформатных изгибаемых элементов на примере перемычек жилых и общественных зданий. Показаны преимущества сталефибробетонных перемычек по сравнению с типовыми железобетонными, благодаря их повышенной трещиностойкости, а также снижения трудозатрат при их изготовлении за счет исключения поперечной и монтажной арматуры.

Ключевые слова: сталефибробетон, перемычка, дисперсное армирование, несущая способность сечения, поперечная сила, изгибающий момент, трещиностойкость, деформативность.

В настоящее время широкое распространение в отечественном и зарубежном строительстве получили дисперсно-армированные бетоны, в частности – сталефибробетон как разновидность железобетона, состоящая из мелкозернистого (среднезернистого) бетона, дисперсно армированного отрезками стальной проволоки, узких полосок листовой стали и др., именуемых стальной фиброй. Фибра может иметь поперечное сечение круглое, прямоугольное – диаметром d_f от 0,2 до 1,2 мм, длиной l_f от 10 мм до 160 мм с временным сопротивлением до 1500 МПа.

Дисперсное армирование существенно повышает момент трещинообразования и уменьшает ширину раскрытия трещин при растяжении в несколько раз по отношению к железобетону со стержневым армированием, снижает деформации усадки и ползучести бетона до 30 %, повышает морозостойкость и сопротивление истиранию [1, 2, 3, 4].

На наш взгляд, применение сталефибробетона может быть эффективным и обоснованным в виде комплексного армирования в таких массовых малоформатных элементах, как перемычки для жилых и обществен-

Reviewed the technical aspects of the use steelfiberconcrete in production of small-format elements bent on the example of the beams of residential and public buildings. Showing the advantage of steelfiberconcrete beams in comparison with standard concrete, due to their high fracture toughness, as well as reducing labor costs in their production due to the exclusion of the transverse and the mounting hardware.

Keywords: steelfiberconcrete, a beam, the disperse reinforcing, bearing ability of section, the lateral force, bending moment, crack resistance, deformability.

ных зданий. Это позволяет либо значительно сократить, либо вообще отказаться от использования поперечной и монтажной арматуры в данных конструкциях и существенно снизить трудозатраты на арматурные работы, а также ускорить процесс производства и удешевить себестоимость получаемой продукции.

Для проверки выдвинутых предположений, согласно номенклатуре по типовой серии 1.038.1 «Перемычки брусковые для жилых и общественных зданий», в соответствии с действующими нормативами^{1,2,3} были произведены расчеты и сравнительный анализ типовых перемычек и перемычек с комбинированным армированием. При этом в расчетах использовалась классификация стальной фибры по ее прочности на растяжение и типоразмерам с учетом коэффициента η_f учитывающего эффективность анкеровки фибры в бетоне-матрице предложенная профессором В.В. Бабковым (табл. 1).

¹ СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. М., 2004.

² СП 52-104-2006. Сталефибробетонные конструкции. М., 2007.

³ СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. М., 1988.

Таблица 1

Классификация стальной фибры по прочности на растяжение и типоразмерам*

Тип стальной фибры	Расчетное сопротивление растяжению R_f , МПа	Длина фибры l_f , мм	Относительная длина l_f/d_f , мм
1	440-580	35-50	≈50
2		70-100	≈100
3	950-1050	35-50	≈50
4		70-100	≈100

* Для двух видов фибры (с соответствующими эффективными значениями коэффициента η_f) с загибами и шероховатостями поверхности анкеров на концах ($\eta_f=0,6-0,7$) и гладкой фибры ($\eta_f=0,8-0,9$).

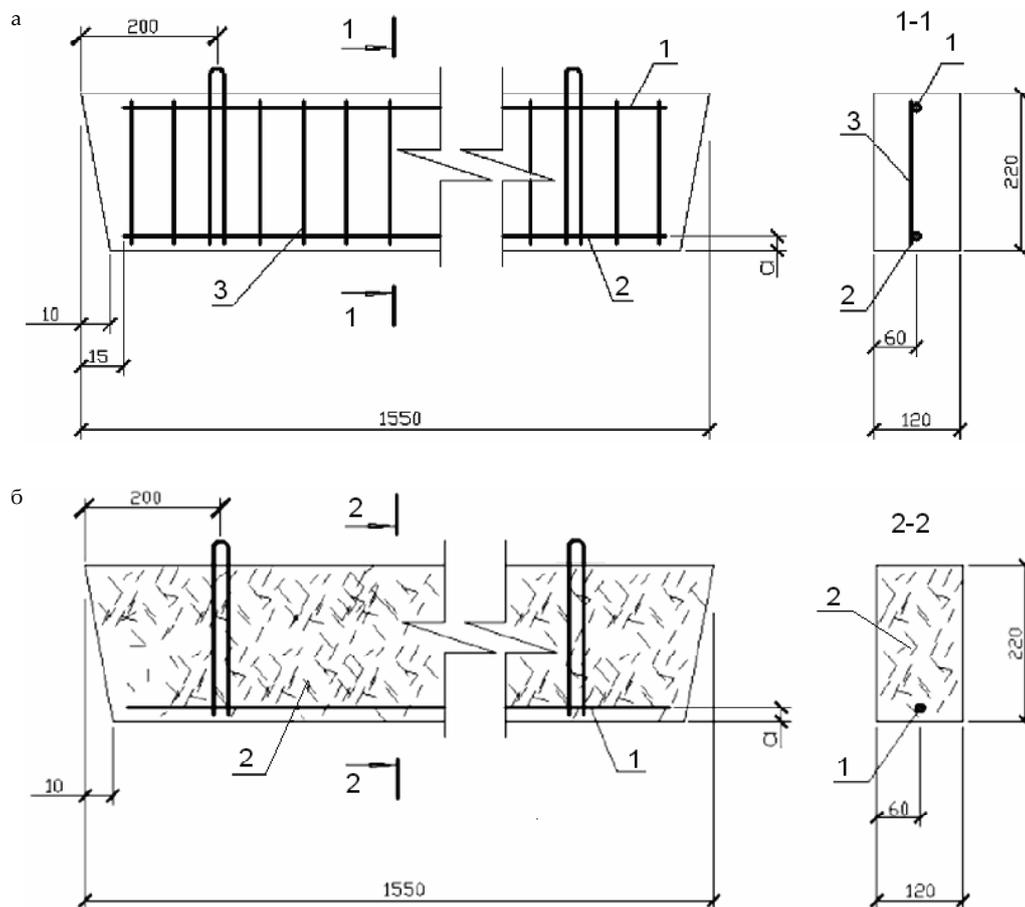


Рис. 1. Перемычка ЗПБ16-37-п:

а – с типовым армированием: 1 – конструктивная; 2 – рабочая продольная; 3 – поперечная арматура
 б – с использованием сталефибробетона: 1 – рабочая продольная арматура; 2 – стальная фибра

Проведены расчеты, согласно имеющейся нормативно-технической документации (СНиП 2.03.01-84, СП 52-101-2003 и СП 52-104-2006), по несущей способности на действие изгибающего момента и поперечных сил. Результаты расчетов приведены на примере наиболее массовой брусковой перемычки ЗПБ16-37 с типовым (рис. 1а) армированием (бетон

– В15, конструктивная арматура верхней зоны А400 Ø 6 мм, рабочая продольная арматура А400 Ø 14 мм; поперечная арматура А400 Ø 6 мм; шаг поперечной арматуры в приопорной зоне 60 мм; в середине пролета 120 мм) и комбинированным (рис. 1б) армированием (бетон В30, продольная арматура А400 Ø 10 мм, стальная фибра ОАО «Магнитогорский кали-

бровочный завод» с характеристиками: $R_f=440$ МПа, $d_f=0,85$ мм, $l_f=40-42$ мм, $b \times h=0,7 \times 0,8$ мм, $\mu_{iv}=0,015$). Сталефибробетонная перемычка конструировалась под проектные нагрузки с исключением поперечной и конструктивной продольной арматуры, причем в отличие от предыдущего опыта [2], теоретические расчеты несущей способности нормальных сечений показали принципиальную возможность существенного уменьшения площади продольной рабочей

арматуры (практически в два раза, с $A_s=153,9$ мм² ($\varnothing 14$ мм) до $A_s=78,5$ мм² ($\varnothing 10$ мм)).

Расчеты показывают, что несущей способности фиброармированного сечения перемычки ЗПБ16-17, даже при близких к минимальным процентам объемного армирования, достаточно для восприятия не только монтажной нагрузки, но и в некоторых случаях рабочей нагрузки, что подтверждает отсутствие необходимости в верхней монтажной арма-

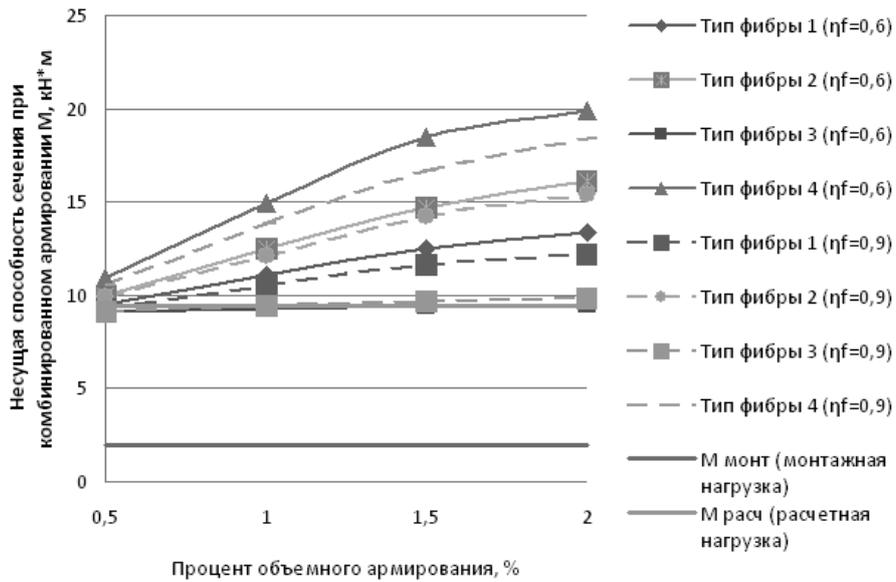


Рис. 2. Зависимость несущей способности комбинированно армированной перемычки ЗПБ16-37 по чистому изгибающему моменту от объемного процента армирования для четырех типов стальной фибры (рабочая продольная арматура 1 Ø10 A400)

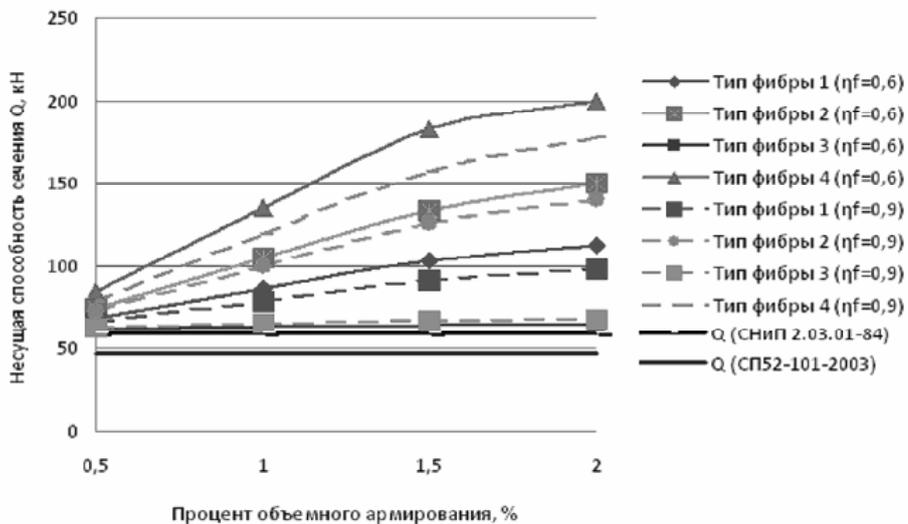


Рис. 3. Зависимость несущей способности комбинированно армированной перемычки ЗПБ16-37 на действие поперечной силы от объемного процента армирования для четырех типов стальной фибры (стержевая рабочая арматура 1 Ø10 A400)

туре. Однако, во избежание хрупкого разрушения фиброармированной перемычки, на наш взгляд, целесообразна установка рабочей продольной арматуры. С рабочей арматурой, согласно типовой серии 1.038.1-1 (Ø 14 мм А400 – 1 шт.), несущая способность сечения перемычки на действие изгибающего момента значительно превосходит значение расчетного разрушающего момента, и в этом случае возможно уменьшение диаметра рабочей арматуры до Ø 10 мм (рис. 2).

Следует отметить, что методика расчета элементов на действии поперечной силы существенно изменилась по сравнению со СНиП 2.03.01-84 и СП 52-101-2003. Перемычки по серии 1.038.1-1 не удовлетворяют требованиям СП 52-101-2003 в связи с недостатком несущей способности на действие поперечных сил (по СП 52-101-2003 недостаток более 20 %). Поэтому необходимо изменять конструкцию

перемычек и приводить их в соответствие с требованиями новых нормативных документов. Однако увеличение диаметра или уменьшение шага поперечной арматуры сопряжено с большими практическими сложностями и применение сталефибробетона с целью исключения поперечного армирования в данных конструкциях может быть вполне обоснованным (рис. 3).

Данные расчеты (табл. 2) полностью подтверждают то, что применение сталефибробетона в подобных изделиях позволит исключить поперечное армирование, а при определенных условиях даже сократить металлоемкость, существенно снизить стоимость и трудоемкость изготовления для таких массовых изделий, как перемычки жилых и общественных зданий.

Выполненное компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния пере-

Таблица 2

Результаты расчетов несущей способности и трещиностойкости типовой и сталефибробетонной перемычек ЗПБ16-37

Способ армирования	Усилие		
	Изгибающий момент $M_{изг}$, кН·м	Поперечная сила Q , кН	Момент образования трещин $M_{тр}$, кН·м
Комбинированное сталефибробетонное Бетон В30, продольная арматура А400 Ø10 мм, стальная фибра ОАО «Магнитогорский калибровочный завод» с характеристиками: $R_f=440$ МПа, $d_f=0,85$ мм, $l_f=40-42$ мм, $b \times h=0,7 \times 0,8$ мм, $\mu_{fv}=1,5$ %	12,5	103,29	3,05
Типовое по серии 1.038.1-1 вып. 1 «Перемычки железобетонные для зданий с кирпичными стенами»	8,63* 8,83**	46,69* 59,57**	1,47* 1,98**

* по СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры»;

** по СНиП 2.03.01-84* «Бетонные и железобетонные конструкции».

Таблица 3

Сравнение данных, полученных при испытаниях типовых и сталефибробетонных перемычек

Показатель	Способ армирования	
	Типовое армирование	Сталефибробетонная перемычка
Контрольная кратковременная нагрузка $R_{доп}$ при проверке жесткости	1870 кгс	1870 кгс
Фактический прогиб от кратковременной нагрузки	2,1мм	1,4 мм
Контрольная нагрузка $R_{доп}$ при проверке трещиностойкости	2255 кгс	2255 кгс
Фактическая нагрузка трещинообразования, $R_{доп}$	1035 кгс	3015 кгс
Фактическая ширина раскрытия трещин	0,20 мм	≤0,01мм
Величина контрольной разрушающей нагрузки $R_{доп}$	3615 кгс	3615кгс
Фактическая разрушающая нагрузка $R_{доп}$	4500 кгс	4415 кгс

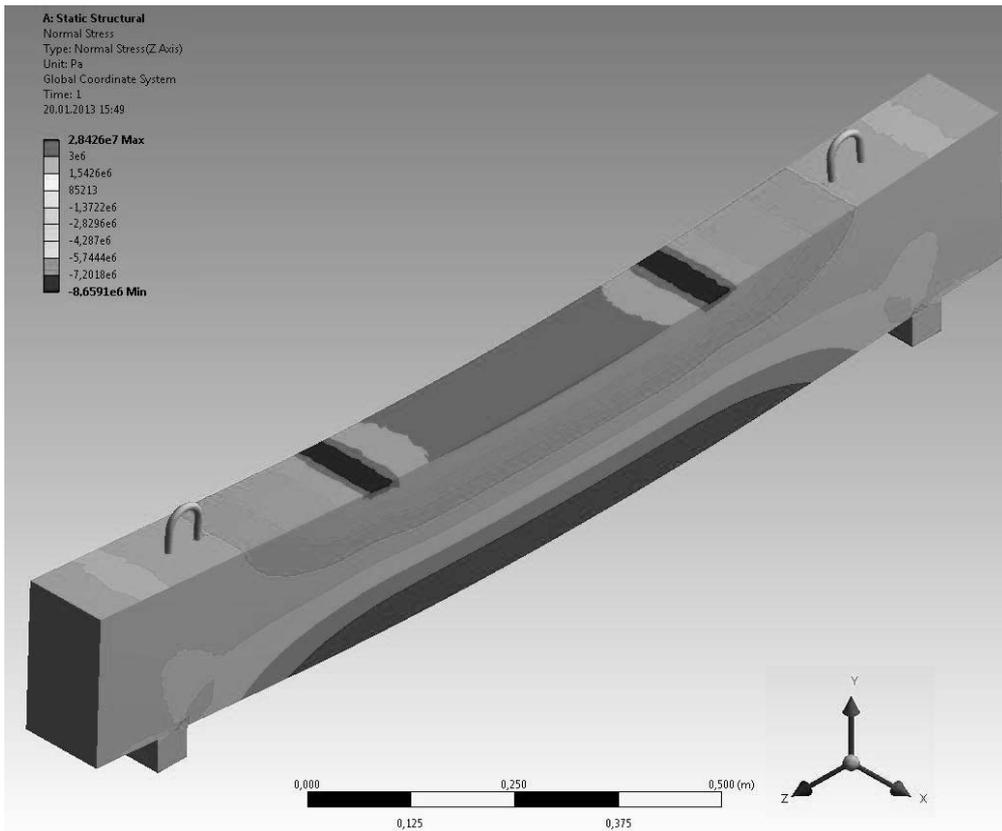


Рис. 4. Анализ напряженно-деформированного состояния в программном комплексе ANSYS 14.0



Рис. 5. Испытание железобетонных перемычек марки ЗПБ 16-37 разрушающей нагрузкой

мычки в программном комплексе ANSYS14.0 (рис. 4) подтвердило результаты проведенных теоретических расчетов и выдвинутых предположений. Наряду с этим в аккредитованной лаборатории ООО «Евробетон» были проведены натурные испытания двух типов перемычек в соответствии с действующими нормативными требованиями по Серии 1.038.1-1, вып. 1⁴ на эквивалентную нагрузку (рис. 5).

Испытания показали, что трещиностойкость сталефибробетонных перемычек существенно выше, чем типовых. Разрушение обоих типов перемычек, как типовых, так и сталефибробетонных, произошло по нормальным, а не по наклонным сечениям, в результате текучести продольной растянутой арматуры до наступления раздробления бетона сжатой зоны, с существенным запасом несущей способности по отношению к нагрузкам, указанным в серии. При этом почти двукратное сокращение площади рабочей продольной арматуры для сталефибробетонной перемычки с комбинированным армированием ($\varnothing 10$ мм - $A_s=78,5$ мм²), по сравнению с типовым ($\varnothing 14$ мм - $A_s=153$ мм²), практически не снижает ее несущей способности по нормальным сечениям.

Проведенные испытания позволяют сделать вывод о том, что сталефибробетонные малоформатные изгибаемые балочные элементы (перемычки и другие подобные изделия) могут быть конкурентоспособными по отношению к типовым. Они не только более технологичны в изготовлении, за счет исключения затрат на изготовление арматурного каркаса, но и имеют более высокую трещиностойкость и выносливость к действию динамических транспортных и монтажных нагрузок. Данные обстоятельства позволяют рекомендовать их к серийному производству.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабков, В.В. Технологические возможности повышения ударной выносливости цементных бетонов [Текст] / В.В. Бабков, В.Н. Мохов, М.Б. Давлетшин // Строительные материалы. – 2003. – № 10. – С. 19-20.
2. Ивлев, М.А. Сталефибробетон в производстве перемычек жилых и гражданских зданий [Текст] / М.А. Ивлев, И.Б. Струговец, И.В. Недосеко // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2010. – № 2 (14). – С. 223-228.
3. Маркидин, Н.И. Долговременная прочность модифицированных структур цементного камня [Текст] / Н.И. Маркидин, И.Н. Максимова, Ю.В. Овсюкова // Строительные материалы. – 2011. – № 7.
4. Рабинович, Ф.Н. Дисперсно армированные бетоны [Текст] / Ф.Н. Рабинович. – М.: Стройиздат, 1989. – 176 с.

© Ивлев М.А., Недосеко И.В., 2012

⁴ Серия 1.038.1-1, вып.1. Перемычки железобетонные для зданий с кирпичными стенами.