

УДК 691.328.1:624.046

Ивлев М.А. – аспирант

E-mail: m_ivlev@mail.ru

Струговец И.Б. – кандидат технических наук

E-mail: strugoves@avtodor.rbinfo.ru

Недосеко И.В. – доктор технических наук, профессор

E-mail: nedoseko1964@mail.ru

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Адрес организации: 450062, Россия, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1

Сравнительная оценка несущей способности, трещиностойкости и деформативности перемычек со стандартным и дисперсным армированием

Аннотация

Рассмотрены технические аспекты применения сталефибробетона в производстве перемычек жилых и гражданских зданий. Показаны преимущества сталефибробетонных перемычек по сравнению со стандартными 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 до 160 мм с временным сопротивлением до 1500 МПа.

Наибольшая эффективность достигается с использованием стальной фибры большей длины при относительно малых размерах поперечного сечения. В этом случае возможно эффективное использование фибры не только с повышенными ($R_f \geq 950$ МПа), но и средними ($R_f \approx 400-600$ МПа) прочностными показателями. 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].

Применение сталефибробетона может быть эффективным и обоснованным не только при строительстве объектов транспортного и специального назначения, но и в других сферах промышленного и гражданского строительства. В частности, рационально его использование для внецентренно сжатых конструкций (оболочки, купола, трубы), где прочности сталефибробетона вполне достаточно для восприятия растягивающих напряжений без дополнительного традиционного армирования, а также в виде комплексного или смешанного армирования в таких массовых изделиях, как перемычки для жилых и общественных зданий. Это позволяет либо значительно сократить, либо вообще отказаться от использования поперечной и монтажной арматуры в данных конструкциях, 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, [7, 8] были произведены расчеты и сравнительный анализ стандартных 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_e , учитывающего эффективность анкеровки фибры в бетоне-матрице, предложенная профессором В.В. Бабковым (табл. 1).

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	Коэффициент η_f , учитывающий анкеровку фибры в бетоне-матрице
1* (1' **)	440-580	35-50	≈ 50	0,6-0,7* (0,8-0,9**)
2* (2' **)		70-100	≈ 100	0,6-0,7* (0,8-0,9**)
3* (3' **)	950-1050	35-50	≈ 50	0,6-0,7* (0,8-0,9**)
4* (4' **)		70-100	≈ 100	0,6-0,7* (0,8-0,9**)

Примечание:

* тип фибры и соответствующее ему эффективное значение коэффициента η_f за счет завитости, шероховатости поверхности, анкеров на концах;

** тип фибры и соответствующее ему пониженное по эффективности значение коэффициента η_f (гладкая 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 рассмотрим на примере наиболее массовой брусковой перемычки ЗПБ16-37 с традиционным (рис. 1) 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. 2) армированием (Бетон В30, продольная арматура А400 Ø 10 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, $\mu_f=0,015$). Сталефибробетонная перемычка проектировалась под те же 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 Ø14 мм до Ø10 мм).

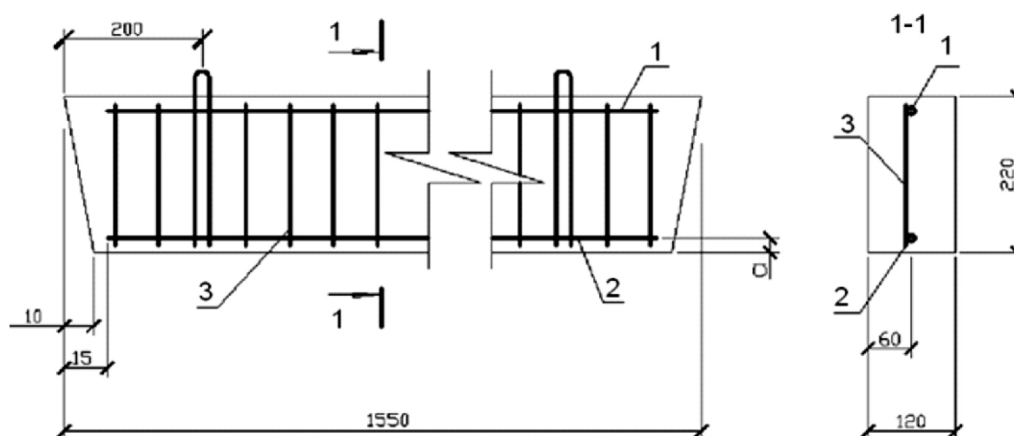


Рис. 1. Перемычка ЗПБ16-37-п с традиционным армированием:
1 – конструктивная; 2 – рабочая продольная; 3 – поперечная арматура

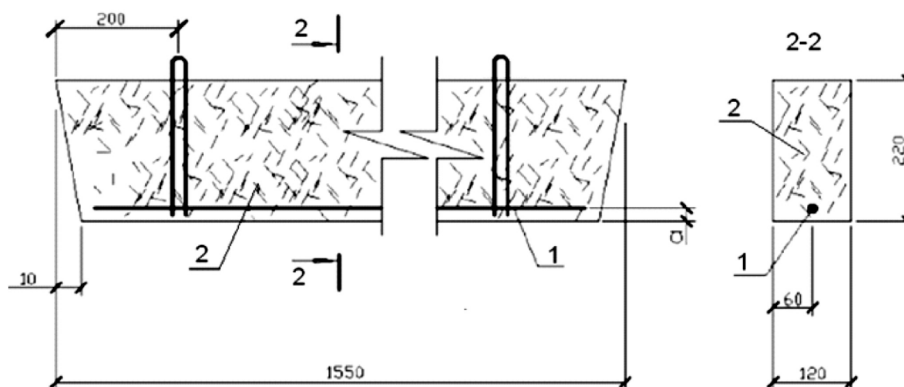


Рис. 2. Перемычка ЗПБ16-37-п на основе сталефибробетона:

1 – рабочая продольная арматура, 2 – стальная фибра

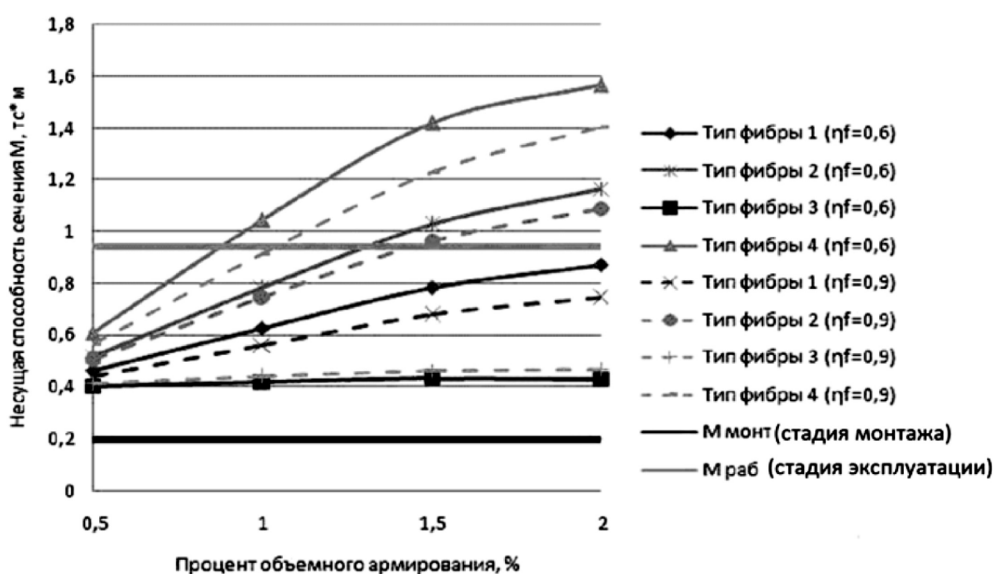


Рис. 3. Несущая способность фиброармированного сечения перемычки ЗПБ16-37 по чистому изгибающему моменту от объемного процента армирования для четырех типов стальной фибры

Из рис. 3 следует, 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 арматуре. Однако, во избежание хрупкого разрушения фиброармированной перемычки, на наш взгляд, необходима установка рабочей продольной арматуры. С рабочей арматурой согласно типовой серии 1.038.1-1 (стержневая рабочая арматура $\varnothing 14$ А400 – 1 шт) несущая способность сечения перемычки на действие изгибающего момента значительно превосходит значение рабочего момента и в этом случае возможно сокращение диаметра рабочей арматуры до $\varnothing 10$ мм (рис. 4).

Следует отметить, что методика расчета элементов на действие поперечной силы по СП 52-101-2003 значительно изменилась по сравнению со СНиП 2.03.01-84. Перемычки по серии 1.038.1-1 не удовлетворяют требованиям СП 52-101-2003, в связи с нехваткой несущей способности на действие поперечных сил (по СП 52-101-2003 недостаток более 20 %). Поэтому необходимо менять 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 в данных конструкциях может быть вполне обоснованным.

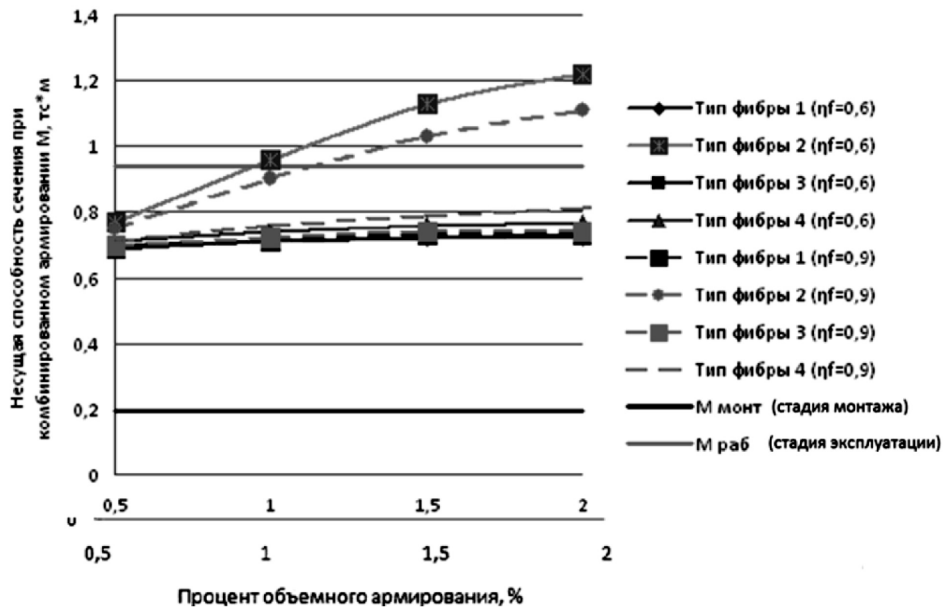


Рис. 4. Зависимость несущей способности комбинированно армированной перемычки ЗПБ16-37 по чистому изгибающему моменту от объемного процента армирования для четырех типов стальной фибры (рабочая продольная арматура 1 Ø10 А400)

Таблица 2

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

Способ армирования \ Усилие	Изгибающий момент	Поперечная сила	Момент образования трещин
Комбинированное сталефибробетонное Бетон В30, продольная арматура А400 Ø10 мм, стальная фибра ОАО «Магнитогорский калибровочный завод» с характеристиками: $R_f=440\text{МПа}$, $d_f=0,85\text{ мм}$, $l_f=40-42\text{ мм}$, $b \times h=0,7 \times 0,8\text{ мм}$, $\mu_{fv}=1,5\%$	$M_{ult}=12,5\text{кН}\cdot\text{м}$	$Q=103,29\text{кН}$	$M_{crs}=3,05\text{кН}\cdot\text{м}$
Традиционное по серии 1.038.1-1 вып.1 «Перемычки железобетонные для зданий с кирпичными стенами»	$M_{ult}=8,63\text{кН}\cdot\text{м}$ по СП 52-101-2003 $M_{ult}=8,83\text{кН}\cdot\text{м}$ и СНиП 2.03.01-84	$Q=59,57\text{кН}$ по СНиП 2.03.01-84 $Q=46,69\text{кН}$ по СП 52-101-2003	$M_{crs}=1,47\text{кН}\cdot\text{м}$ по СП 52-101-2003 $M_{crs}=1,98\text{кН}\cdot\text{м}$ СНиП 2.03.01-84

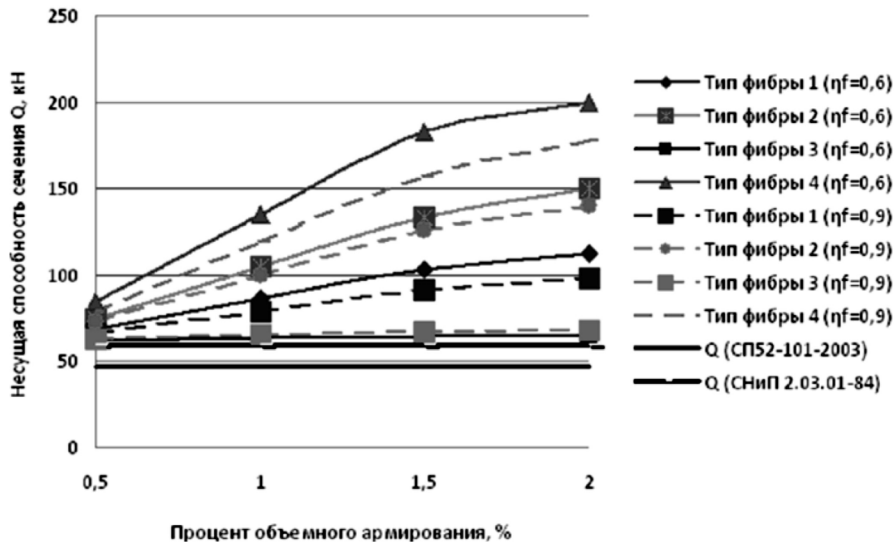


Рис. 5. Зависимость несущей способности комбинированно армированной перемычки ЗПБ16-37 на действие поперечной силы от объемного процента армирования для четырех типов стальной фибры (стержневая рабочая арматура 1 Ø 10 А400)

Данные расчеты полностью подтверждают то, что применение сталефибробетона в данных 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.

Для подтверждения выдвинутых предположений и выполненных расчетов 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. 1 [6] на эквивалентную нагрузку (рис. 7).



Рис. 6. Испытание железобетонных перемычек марки ЗПБ 16-37 разрушающей нагрузкой

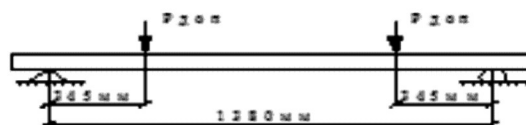


Рис. 7. Схема испытания перемычки

Таблица 3

**Сравнение данных,
полученных при испытаниях стандартных и сталефибробетонных перемычек**

Показатель \ Способ армирования	Стандартное армирование	Сталефибробетонная перемычка
Контрольная кратковременная нагрузка $R_{доп}$ при проверке жесткости	1870 кгс	1870 кгс
Фактический прогиб от кратковременной нагрузки	2,1 мм	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	$\leq 0,01$ мм
Величина контрольной разрушающей нагрузки, $R_{доп}$	3615 кгс	3615 кгс
Фактическая разрушающая нагрузка, $R_{доп}$	4500 кгс	4415 кгс

Испытания показали, что трещиностойкость сталефибробетонных перемычек существенно выше, чем стандартных, что подтвердило ранее выполненные теоретические расчеты. Разрушение обеих типов перемычек, как стандартных, 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 - $A_s = 78,5 \text{ мм}^2$), по сравнению со стандартным ($\varnothing 14$ мм - $A_s = 153 \text{ мм}^2$) практически не снижает ее несущей способности по нормальным сечениям.

Проведенные испытания позволяют сделать вывод о том, что сталефибробетонные перемычки могут быть конкурентоспособными по отношению к стандартным. 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 сталефибробетонные перемычки к серийному производству.

Список литературы

1. Бабков В.В., Мохов В.Н., Давлетшин М.Б. Технологические возможности повышения ударной выносливости цементных бетонов // Строительные материалы, 2003, № 10. – С. 19-20.
2. Ивлев М.А., Струговец И.Б., Недосеко И.В. Сталефибробетон в производстве перемычек жилых и гражданских зданий // Известия КГАСУ, 2010, № 2 (14). – С. 223-228.
3. Маркидин Н.И., Максимова И.Н., Овсянюкова Ю.В. Долговременная прочность модифицированных структур цементного камня // Строительные материалы, 2011, № 7.
4. Рабинович Ф.Н. Дисперсно армированные бетоны. – М.: Стройиздат, 1989. – 176 с.
5. Рекомендации по проектированию и изготовлению сталефибробетонных конструкций. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1987. – 148 с.
6. Серия 1.038.1-1 вып. 1. Перемычки железобетонные для зданий с кирпичными стенами»
7. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М., 2004.
8. СП 52-104-2006. Сталефибробетонные конструкции. – М., 2007.

Ivlev M.A. – graduate student

E-mail: m_ivlev@mail.ru

Strugovets I.B. – candidate of technical sciences

E-mail: strugoves@avtodor.rbinfo.ru

Nedoseko I.V. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: nedoseko1964@mail.ru

Ufa State Oil Technical University

The organization address: 450062, Russia, Ufa, Kosmonavtov st., 1

Comparative evaluation of the carrying capacity, crack resistance and deformability jumper with standard and fiber reinforcement

Resume

This article provides an analysis of the existing technology of the most popular products of modern construction is reinforced concrete beams residential and civil buildings. It is shown that the standard construction of reinforced concrete bridges including virtually the entire range of reinforcement products – working the longitudinal and transverse reinforcement and constructive mounting hardware does not meet modern requirements in terms of complexity and cost of manufacturing and does not allow to use the advanced technology of formless molding for manufacturing these products. The use of particulate reinforcement for the type of products and designs, and eliminates cross-mounting hardware, reducing the overall effort required to make them. Theoretical calculations of the bearing capacity and crack standard beams 3PB16-37 with the traditional and steel fiber concrete confirmed the possibility of reinforcing the perception of lateral forces dispersed reinforcement. The presented experiments on the relative beams capacity and deformability crack steel fiber concrete standard and beams have confirmed the correctness of theoretical calculations. Our studies allow us to recommend steel fiber concrete beams to implementation in production.

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

References

1. Babkov V.V., Mokhov V.N., Davletshin M.B. Technological possibilities increase the impact endurance of cement concrete // *Stroitelnyie materialy*, 2003, № 10. – P. 19-20.
2. Ivlev M.A., Strugovets I.B., Nedoseko I.V. Steelfiberconcrete in manufacture of beams inhabited and civil buildings// *News of the KSUAE*, 2010, № 2 (14). – P. 223-228.
3. Markidin N.I., Maksimova I.N., Ovsyukova Y.V. Long-term durability of modified structures of cement // *Stroitelnyie materialy*, 2011, № 7.
4. Rabinovich F.N. Dispersion reinforced concrete. – M.: Stroiizdat 1989. – 176 p.
5. Recommendations for the design and manufacture of steel fiber concrete designs. – M.: USSR Gosstroy NIIZhB, 1987. – 148 p.
6. Seriya 1.038.1-1, № 1, Concrete beams for buildings with brick walls».
7. SP 52-101-2003. Concrete and reinforced concrete structures without prestressing reinforcement. – M., 2004.
8. SP 52-104-2006. Steel fiber concrete design. – M., 2007.