

Применение фибробетона в железобетонных конструкциях

И.В. Белоусов¹, А.В.Шилов¹, З.А.Меретуков², Л.Д.Маилян¹

¹Донской государственный технический университет

²Майкопский государственный технологический университет

Аннотация: В данной статье рассматривается область применения фибробетонов, выявляется преимущество использования фибробетонов по сравнению с обычным бетоном. Проводится анализ эффективности использования фибробетонов.

Ключевые слова: фибробетон, бетон, железобетон, конструкции, технологии, монтаж, стеклофибробетон, железобетонные конструкции, растяжение, преднапряжение, базальтофибробетон.

Область применения фибробетонов определяется технико-экономической эффективностью, которое обуславливается наиболее полным использованием положительных свойств фибробетона по сравнению с обычным бетоном, а также бетоном, армированным стальной арматурой.

При выборе конструктивных решений учитываются методы изготовления, монтажа и условия эксплуатации конструкций. Форма и размеры элементов должны приниматься исходя из наиболее полного использования особенностей свойств фибробетона, возможности механизированного и автоматизированного заводского изготовления, удобства транспортирования и монтажа конструкций [1].

Целесообразно учитывать также специфические свойства дисперсно-армированных бетонов. Например, стеклофибробетон радиопрозрачен и неподвержен зарастанию водорослями в водоемах.

Накопленный отечественный и зарубежный опыт позволил определить первоначальную номенклатуру экономически выгодных конструкций из стеклофибробетона. Наиболее эффективны тонкостенные конструкции: безрулонные панели покрытий, ребристые панели покрытий и перекрытий, элементы несъемной опалубки, элементы подземных коммуникаций, стеновые панели и перегородки, плиты полов, монолитные оболочки,

элементы ограждений лоджий, балконов и архитектурной отделки фасадов, элементов гидротехнических сооружений.

Важными в настоящее время являются вопросы экономии энергии, необходимой для производства различных строительных материалов. Количество энергии, требующейся для производства бетонов, оказывается минимальным по сравнению с количеством энергии (приведенной к единому эквиваленту), необходимой для изготовления стали, алюминия, стекла, кирпича, пластмасс. Производство бетонных материалов, помимо этого, требует меньшего по сравнению с производством стали расхода воды и в меньшей степени влияет на загрязнение окружающей среды. Армирование бетонов приводит к соответствующему повышению энергоемкости материала. Так как применение армированных сталью бетонов осуществляется в широких масштабах, становится существенной проблема максимального сокращения расхода металла и наиболее рационального его использования в бетоне.

Например, зачастую армирование бетонов стальной арматурой осуществляется только исходя из действующих на конструкцию усилий во время транспортировки или монтажа. При этом толщина конструктивных элементов устанавливается как правило, не менее 60-80 мм (поскольку необходимо предусматривать достаточную толщину защитного слоя бетона для предохранения арматуры от коррозии). Но в то же время, указанная толщина элементов с точки зрения прочности может оказаться неоправданной. Это приводит к конструктивному перерасходу бетона и арматуры, которая при эксплуатации конструкций практически не выполняет своего прямого назначения. Кроме того, значительное количество стали в железобетонных конструкциях расходуется на монтажную, поперечную и распределительную арматуру. Таким образом, имеются потенциальные возможности снижения расхода арматуры в конструкциях. Поэтому

дальнейшее совершенствование бетонных материалов должно предусматривать не только улучшение их механических характеристик, но и изыскание путей наиболее рационального использования металлической арматуры, а также создание новых эффективных армирующих материалов.

При выборе рационального вида дисперсного армирования в легком керамзитобетоне следует учитывать, что свойства и геометрические характеристики армирующих элементов должны быть такими, чтобы при достаточном их содержании для упрочнения бетона они не явились бы причиной появления дефектов, ослабляющих структуру бетона.

Если слабым компонентом в бетоне является крупный заполнитель, то длина фибр должна быть соизмерима с ним, с той целью, чтобы крупный заполнитель находился в центре ячейки, образованной фибрами. При этом распространению трещин между слабыми компонентами будет препятствовать дисперсная арматура и нарушения, оплошности будут иметь локальный характер.

Если же слабым компонентом в бетоне является растворная часть, то и в этом случае дисперсная арматура будет препятствовать появлению трещин в растворной части и основную нагрузку при появлении напряжений будет нести заполнитель-керамзит.

При получении фибробетонов важное значение имеют не только правильный выбор и рациональное сочетание исходных материалов, но и технология их изготовления [2-4].

Принципы технологии и приемы дисперсного армирования зависят во многом от вида используемых бетонных матриц. Вид бетона определяет характер рационального для него вида дисперсного армирования и оптимальные значения геометрических параметров дисперсной арматуры.

При выборе дисперсной арматуры надо учитывать, что, например, стеклянные волокна обычного состава подвергаются интенсивной коррозии

в твердеющем бетоне на портландцементе и не вступают в химическое взаимодействие с продуктами гидратации гипсовых вяжущих. Стекланные волокна заметно корродируют в композициях на основе гипса, но надежно защищаются от процессов коррозии в гидратирующейся среде цементных вяжущих. То есть матрица должна быть химически инертной по отношению к используемым волокнам.

Также волокна в ходе технологического процесса должны сохранять значительную часть своей прочности и должны иметь хорошее сцепление с бетоном.

Основную сложность в приготовлении фибробетона представляет вопрос равномерного распределения волокон по всему объему матрицы, и они также не должны непосредственно соприкасаться друг с другом.

В настоящее время технология приготовления базальтофибробетона развивается по двум направлениям. Это метод виброэкструзии и метод принудительного перемещения [5-7].

Метод виброэкструзии позволяет получать базальтофибробетоны с ориентированным расположением волокон, что при меньшем расходе дает возможность добиться получения базальтофибробетонов с требуемыми физико-механическими свойствами.

Образцы, приготовленные этим методом, имеют на 17-25 % более высокую прочность на осевое растяжение, чем у образцов изготовленных традиционной технологией. Метод имеет недостатки: требует специального нестандартного оборудования - технологическую линию с виброэкструзером, обеспечивающим ориентированное расположение фибр в цементно-песчаной матрице; позволяет изготавливать конструкции только прямолинейной формы, в ходе бетонирования которых ориентация волокон не нарушается.

Метод принудительного перемешивания в свою очередь имеет

различные технологические приемы. Согласно рекомендациям, предварительно приготавливают цементно-песчаный раствор, затем вводят весь объем базальтовых волокон и вся смесь перемешивается в течение 45 секунд. При этом на частицах песка образуются цементные оболочки, снижающие абразивное действие песка на волокно, что способствует максимальному его сохранению. Потом вводят крупный заполнитель и подают воду. Затем смесь окончательно перемешивают. Общее время перемешивания - не более 5 минут. Уплотнение смеси при принудительном перемешивании осуществляется площадочными вибраторами, при применении глубинных в теле базальтофибробетонов образуются цементно-песчаные пробки, что значительно снижает прочностные показатели.

Принудительное перемешивание не требует дополнительного оборудования или специальной технологической линии. Приготовление смеси и транспортирование осуществляется обычным способом. При этом для получения фибробетона с требуемыми свойствами требуется несколько больший расход фибры в сравнении с методом виброэструзии.

Принудительный метод позволяет получать конструкции любой формы.

Ранее проводились исследования по изучению способа приготовления базальтобетонной смеси [8]. Рассматривались различные способы приготовления, в том числе:

- ручное перемешивание;
- бетоносмеситель принудительного перемешивания;
- растворомешалка;
- бетоносмеситель свободного падения.

В результате был сделан вывод, что способ перемешивания, в основном, не влияет на длину волокна в готовой смеси, а приготовление базальтобетонной смеси в бетоносмесителе принудительного действия наиболее приемлемо, так как прочностные показатели в сравнении с другими

способами приготовления наиболее высоки, что говорит о равномерном распределении базальтовых волокон по объему смеси.

Приготовление фибробетонов, содержащих полипропиленовые волокна и базальтовый ровинг осуществляется методом принудительного перемешивания. Введение подобных волокон в бетоносмеситель лучше осуществлять несколькими партиями незадолго до окончания перемешивания смеси, так как эти волокна достаточно эластичны и имеют несколько меньшую тенденцию к комкованию при перемешивании по сравнению с грубым базальтовым волокном [9,10].

Обобщения влияния физико-механических свойств компонентов легкого бетона на его прочностные свойства, выполненные А.И. Вагановым, И.А. Ахвердовым, Р.К. Житкевич и др. позволяют представить механизм разрушения легкого бетона в следующем виде. В зависимости от соотношения прочностей, модулей деформации и объемов компонентов бетона разрушение может начаться по раствору или по заполнителю в зависимости от того, прочность какого компонента будет исчерпана раньше под действием локальных концентраций напряжений. Таким образом, прочность легкого бетона определяется не только прочностью конкретного заполнителя или раствора, но также и характером их взаимодействия.

Согласно данным модуль упругости и прочность заполнителя (E_z , R_z) и растворной части (E_p , R_p) в легком бетоне могут иметь следующие соотношения:

Если $R_z > R_p$, $E_z > E_p$ в большинстве зерен крупнозаполнителя создаются напряжения, превосходящие напряжения в растворной части. Разрушение бетона при сжатии происходит в основном по растворной части, то есть по цементному камню, причем трещины зарождаются на поверхности раздела “цементный камень - заполнитель” в местах наибольшей концентрации напряжений.

При $R_3 < R_p$, $E_3 < E_p$ вследствие повышенных деформативных свойств пористого заполнителя в сравнении с раствором в процессе деформирования бетона повышается концентрация напряжений вокруг заполнителя - “эффект обоймы”. Напряжения распределяются таким образом, что большую часть нагрузки воспринимает раствор, крупный заполнитель оказывается недогруженным. Процесс разрушения происходит в результате раздробления заполнителя и раскола растворной части [11-13].

При сближении деформативных свойств обеих компонентов бетона $E_3 = E_p$ и $R_3 = R_p$ при внешнем силовом воздействии возникает незначительная концентрация напряжений. Использование прочности обеих фаз становится практически равными. Прочностные свойства крупного заполнителя в этой композиции проявляется наиболее полно, а ее прочность достигает максимального значения.

Улучшение физико-механических и эксплуатационных свойств легкого бетона можно добиться введением фибры в растворную часть. При этом эффективность дисперсного армирования будет тем выше, чем меньше будет разница между R_p и R_f , а также E_p и E_f .

Упрочнение волокнами основывается на предположении, что материал бетонной матрицы передает волокнам нагрузку посредством касательных сил, действующих на поверхности раздела, и, если модуль волокна больше модуля упругости матрицы, то основную долю приложенных напряжений воспринимают волокна [14].

Конкретные данные о влиянии различных видов фибровой арматуры и ее процентном содержании на свойства получаемых фибробетонов в зарубежных источниках, как правило, не содержатся [15]. Что касается анализа отечественных исследований, наиболее полно указанная информация изложена в [16,17].

ВЗИСИ совместно с НИИЖБом изучали физико-механические

показатели фибробетона, армированного различными волокнами. Для армирования бетона использовали щелочестойкое стекловолокно Щ-15ЖТ, углеродное волокно УКН-5000 и синтетическое высокомодульное волокно (СМВ) по ТУ 606-453-78.

Испытаниями установлено, что введение различных волокон для армирования бетона повысило прочность на сжатие до 30 %, на растяжение при раскалывании в 3,2 и 2,4 раза.

Наиболее высокими физико-механическими характеристиками обладал фибробетон с СВМ-волокном (сопротивление растяжению составило 24,7 Мпа). По сравнению с бетоном без волокон прочность на растяжение при изгибе у фибробетона выше в 5 раз, прочность на растяжение при раскалывании в 2,4 раза, в то время как прочность при сжатии - только в 1,2 раза.

Фибробетон с СВМ-волокном по сравнению с фибробетоном на стекловолокне имеет в 2 раза более высокую прочность на растяжение при изгибе и в 1,5 раза на растяжение при раскалывании. Армирование бетона указанными волокнами (1...2 % массы) позволяет увеличить в 3-4 раза морозостойкость по сравнению с эталоном.

Технико-экономические расчеты свидетельствуют о том, что использование отходов СВМ-волокна для армирования бетона дает возможность снизить для различных изделий и конструкций расход бетона на 15...25 %, трудоемкость на 20...30 %, расход арматурной стали до 75...80 % (некоторые изделия и конструкции можно изготавливать вообще без арматуры) [18].

Проводились опыты по повышению качества дисперсно-армированной смеси с использованием рубленого щелочестойкого стекловолокна Щ-15ЖТ Московского опытного завода ГИСа. Равномерность распределения неметаллических фибр достигалась устройством специального

разбрасывателя, который монтировался на циклическом смесителе принудительного действия СО-46. Установлено, что в возрасте 28 суток прочность при изгибе образцов балочек размером 40 x 40 x 160 мм по предлагаемому способу составляла 12,6 МПа (состав смеси: П : Ц = 1 : 1, В/Ц = 0,45; 2 % массы цемента стекловолокно длиной 20 мм, 0,4 % массы цемента пластификатор ПР-1, песок с Мкр 1,6), $R_{сж.} = 56,9$ МПа, в то время как у образцов, изготовленных из смеси в смесителе СО-46, в который фибры подавались вручную - 8,9 и 43,9 МПа.

В первом случае коэффициент вариации отклонений показателей прочности на растяжение при изгибе и на сжатие от средних их значений не превысил 2,5 и 3,5 %, во втором эти величины составляли 8,5 и 9,0 %.

В КИСИ проводились экспериментальные исследования прочностных и деформативных характеристик базальтофибробетона с содержанием волокон в пределах $\mu_f = 0... 20$ % (по массе от твердых компонентов матрицы, а также изучалась работа опытных образцов при различных силовых воздействиях. В результате установлено следующее:

- максимальная прочность композита на сжатие ($R_c = 75$ МПа), превышающая на 30...40 % аналогичный показатель бетонной матрицы, обеспечивается при $\mu_f = 15$ %; дальнейшее увеличение содержания волокон приводит к ее снижению;

- прочность композита при осевом растяжении увеличивается с повышением содержания базальтовых волокон до $\mu_f = 20$ %, после чего следует значительное ее снижение; максимальная прочность базальтофибробетона ($R_{сж} = 7,8$ МПа) в 3,5...4 раза выше прочности матрицы 4;

- предельная сжимаемость композита увеличивается на 50...70 %, а предельная растяжимость в 2...2,5 раза;

- деформации свободной усадки и ползучести при сжатии снижаются на

20...40 %;

- ударная вязкость композита повышается в 3...4 раза.

Изучение работы изгибаемых базальтофибробетонных и комбинированно армированных элементов показало, что введение в бетон базальтовых волокон позволяет:

- повысить прочность нормальных сечений в 2...3 раза, а железобетонных - до 13 %;

- увеличить момент трещинообразования бетонных элементов на 10...15 %, а прочность наклонных сечений и момент трещинообразования железобетонных элементов - в 1,5...2,0 раза;

- уменьшить ширину раскрытия нормальных и наклонных трещин в 2...10 раз, а деформативная железобетонных элементов до 40 %.

НИИЖБом совместно с АрмНИИСА исследовались стеклофибробетоны и изделия на их основе класса В 25...40. Содержание стеклофибры составляло: $\mu = 0; 1,2; 2$ и $2,8$ % объема композита. Испытания показали, что нагрузка образцов при растяжении и изгибе стеклофибробетона в момент образования трещин возрастала до 10 % с увеличением μ в пределах 1,2...2,8 %. При этом предельные относительные деформации растяжения стеклофибробетона к моменту обнаружения первых трещин шириной раскрытия a_T 3...5 мкм составила до $20 \cdot 10^{-5} \dots 30 \cdot 10^{-5}$, что в 2...2,5 раза больше, чем предельная растяжимость бетона матрицы. Наибольшая прочность при сжатии стеклофибробетона (при абсолютных значениях 29...32 МПа) получена при $\mu = 2$ %, она превышала прочность бетона - матрицы всего на 10 %. Коэффициент Пуассона стеклофибробетона находился в пределах от 0,20 до 0,23.

Прочность стеклофибробетона при растяжении R_{fst} при опытных значениях 3,7...6,04 МПа увеличивалась с повышением прочности матрицы и при увеличении содержания в ней фибры. При $\mu = 2,8$ % она в 2...2,3 раза

больше прочности бетона-матрицы.

Исследования, проведенные на образцах - плитках размером 1 x 9 x 40 см имеющих комбинированное проволочное (B500) и фибровое (стекловолокно) армирование позволили изучить работу центрально растянутых элементов на различных стадиях загрузки. Установлено, что фибровая и стальная арматура работали совместно, но доля усилия, воспринимаемая стекловолокном, достигает максимального значения, соответствующего временному сопротивлению стеклофибробетона при осевом растяжении при значительном раскрытии трещин, а затем несколько снижается [18].

При испытаниях на изгиб комбинированно армированных складчатых элементов получены данные, что эпюра напряжений в растянутой зоне имеет нелинейный характер, ее можно учитывать коэффициентом ω^1 , принимая $\omega^1 = 0,5$ при $\mu = 1,2 \%$; $\omega^1 = 0,7$ при $\mu = 2 \%$; $\omega^1 = 0,9$ при $\mu = 2,8 \%$.

В работе исследовалась работа тонкостенных складок из стеклофибробетона, а также комбинированно армированных элементов при длительном действии нагрузки. Прочность нормальных сечений складчатых изгибаемых элементов с комбинированным армированием рекомендуется определять, принимая расчетную схему с прямоугольными эпюрами напряжений в сжатой и растянутой зонах по нормам. При этом сопротивление стеклофибробетона растяжению в растянутой колке сечения равно 0, а в растянутой зоне стенки сечения по формуле:

$$R_{fet}^* = \mu_{fv} m R_f^* \eta_{\theta} \eta_e$$

где R_f^* - условный предел текучести при разрыве моноволокна при длительном действии нагрузки: $R_f^* = 0,7 \gamma_{fv} R_f$;

μ_{fv} - коэффициент фибрового армирования по объему;

m - коэффициент, учитывающий влияние прочности матрицы на

прочность композита;

η_{θ} - коэффициент, учитывающий ориентацию волокон; $\eta_{\theta} = 0,3 \dots 0,375$ в зависимости от размеров сечения элемента;

η_f - коэффициент, учитывающий влияние длины волокон;

φ - коэффициент, учитывающий влияние агрегатного состояния армирующего стекловолокна: $\varphi = 0,9$; m , η_{θ} , η_f при длительном действии нагрузки, в соответствии с полученными экспериментальными данными, допускается принимать такими же, как и при кратковременном действии нагрузки.

Изгибаемые элементы из стеклофибробетона по деформациям при длительном действии нагрузки рассчитывают из условия их работы без трещин. Повышение объемного содержания стекловолокна 1,5 % вызывает интенсивный рост деформаций ползучести в сжатой зоне и увеличение прогибов элемента, что учитывается в расчете коэффициентом φ , а в растянутой зоне - более медленное развитие деформаций ползучести, что учитывается в расчете введением η_f .

Таким образом анализ выполненных исследований показывает высокую эффективность конструкций из фибробетонов. Вместе с тем, необходимы дальнейшие исследования с целью определения областей наиболее рационального применения бетонов с использованием фибр из различных материалов.

Литература

1. Бердичевский Г.И., Светов А.А., Курбатов Л.Г., Шикунов Г.А. Сталефибробетонные ребристые плиты размером 6 x 3 м для покрытий. Бетон и железобетон. 1984, № 4. с. 33-34.
2. Волков И.В. Фибробетонные конструкции. Обзорная инф. Серия

"Строительные конструкции", вып.2. М., ВНИИИС Госстроя СССР, 1988, с. 70

3. Волынец Н.П., Дьяченко Н.Г., Лошанюк В.И. Справочник инженера-технолога предприятия сборного железобетона. Киев, 1983, с.85

4. Вальт А.Б., Кучин В.Н. Прочность бетонов на растяжение. М., "Бетон и железобетон", 1993. № 4. с.4.

5. Гайна А.Л., Кривошеев П.И., Катруца Д.А., Турчин П.М. Состояние и перспективы развития преднапряженных железобетонных конструкций в УССР. М., Бетон и железобетон. № 4, 1990, с.4.

6. Долголаптев В.М. Напряженно-деформированное состояние изгибаемых бетонных элементов, армированных стеклянными стержнями. Автореф. дисс. канд. техн. наук, Киев, 1991, с.36

7. Di-Hua Tong, Xue-Ren Wu, Analysis of crack opening stresses for center and edge crack tension specimens, Chinese Journal of Aeronautics, 2014, № 27, pp.291-298.

8. Колбаско Э.Б., Кусов Д.А., Гребенщиков О.В. Надежность и долговечность железобетонных конструкций, армированных базальтовым волокном. В сб. "Реализация научно-технических достижений – основа совершенствования сельского строительства". Ростов-на-Дону, СвквквНИПИАгропром, 1986, с. 79.

9. Лобанов И.А., Пухаренко Ю.В., Лезов В.Ю. Области эффективного использования низко модульных волокон в фибробетонах. "Фибробетон: свойства, технология, конструкции". Тез. докл. Респ. сов. Рига, 1988, с. 25.

10. Литвинов Р.Г. Стабилизация развития трещины в изгибаемых железобетонных элементах. М., "Бетон и Железобетон", 1993, № 6, с.27.

11. Михайлов В.В. Расчет прочности нормальных сечений изгибаемых элементов с учетом полной диаграммы деформирования бетона.

М., "Бетон и железобетон", 1993, № 3, с.26.

12. Маилян Р.Л., Маилян Л.Р., Шилов А.В., Абдал-лах М.Т. Изгибаемые элементы из керамзитобетона с высокопрочной арматурой без преднапряжения и при частичном преднапряжении. Известия высших учебных заведений "Строительство". Изд-во Новосибирской академии строительства, 1995, №12 с. 19.

13. Маилян Л.Р., Шилов А.В., Абдал-лах М.Т. Работа конструктивного керамзитобетона и балок с преднапряженной и ненапрягаемой арматурой. В кн. эффективные технологии и материалы для стеновых и ограждающих конструкций (Материалы международной научно-технической конференции 12-15 декабря РГАС), Ростов-на-Дону, 1994, с.172.

14. Осадченко С.А., Дахно С.Н. Эффективность дисперсного армирования керамзитобетона синтетическими волокнами. Совершенствование расчетов, проектирования и технологии изготовления конструкций для сельского строительства. СевкавНИПИагропром, Ростов-на-Дону, 1992 г,с.29.

15. C. Fischer, C. Schweizer, T. Seifert, A crack opening stress equation for in phase and out-of-phase thermo mechanical fatigue loading , International Journal of Fatigue,2016, № 88, pp.178-184.

16. Шилов А.В. Конструктивные решения сборных железобетонных крыш малоэтажных зданий. Совершенствование проектирования и расчета железобетонных конструкций. РГАС, Ростов-на-Дону, 1993, с. 98.

17. Польской П.П., Маилян Д.Р. Универсальный метод подбора композитной арматуры для изгибаемых элементов // Инженерный вестник Дона, 2016, №4, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3891.

18.Сербиновский П.А., Маилян Д.Р. Оптимизация конструкций усиления многопустотных плит перекрытия // Инженерный вестник Дона, 2016, №2,URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3580.

References

1. Berdichevskij G.I., Svetov A.A., Kurbatov L.G., Shikunov G.A. Beton i zhelezobeton. 1984, № 4. pp. 33-34.
2. Volkov I.V. Serija "Stroitel'nye konstrukcii", vyp.2. M., VNIIS Gosstroja SSSR, 1988, p. 70
3. Volynec N.P., D'jachenko N.G., Loshanjuk V.I. Spravochnik inzhenera-tehnologa predprijatija sbornogo zhelezobetona [The reference book of the engineer-technologist of the enterprise of precast reinforced concrete]. Kiev, 1983, s.85
4. Val't A.B., Kuchin V.N. M., "Beton i zhelezobeton", 1993. № 4. p.4.
5. Gajna A.L., Krivosheev P.I., Katruca D.A., Turchin P.M. M., Beton i zhelezoeton. № 4, 1990, p.4.
6. Dolgolaptev V.M. Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie izgibaemyh betonnyh jelementov, armirovannyh stekljannymi sterzhnjami. [Stress-strain state of bent concrete elements reinforced with glass rods]. Avtoref.diss. kand.tehn.nauk, Kiev, 1991, p.36.
7. Di-Hua Tong, Xue-Ren Wu. Chinese Journal of Aeronautics, 2014, № 27, pp.291-298.
8. Kolbasko Je.B., Kusov D.A., Grebenshnikov O.V. V sb. "Realizacija nauchno-tehnicheskikh dostizhenij – osnova sovershenstvovaniija sel'skogo stroitel'stva". Rostov-na-Donu, SkvkavNIPIagroprom, 1986, p. 79.
9. Lobanov I.A., Puharenko Ju.V., Lezov V.Ju. "Fibrobeton: svojstva, tehnologija, konstrukcii". Tez.dokl. Resp.sov. Riga, 1988, p. 25.
10. Litvinov R.G. M., "Beton i Zhelezobeton", 1993, № 6, p.27.
11. Mihajlov V.V. M., "Beton i zhelezobeton", 1993, № 3, p.26.
12. Mailjan R.L., Mailjan L.R., Shilov A.V., Abdal-lah M.T. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij "Stroitel'stvo". Izd-vo Novosibirskoj akademii stroitel'stva,

1995, №12, p. 19.

13. Mailjan L.R., Shilov A.V., Abdal-lah M.T. V kn. jeffektivnye tehnologii i materialy dlja stenovyh i ograzhdajushhih konstrukcij (Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii 12-15 dekabrja RGAS), Rostov-na-Donu, 1994, p.172.

14. Osadchenko S.A., Dahno S.N. Jeffektivnost' dispersnogo armirovanija keramzitobetona sinteticheskimi voloknami. Sovershenstvovanie raschetov, proektirovanija i tehnologii izgotovlenija konstrukcij dlja sel'skogo stroitel'stva. [Efficiency of disperse reinforcement of claydite concrete with synthetic fibers. Perfection of calculations, designing and technology of manufacturing of designs for rural construction].Sevkav-NIPIagroprom, Rostov-na-Donu, 1992 g, p.29.

15. C. Fischer, C. Schweizer, T. Seifert, International Journal of Fatigue, 2016, № 88, pp.178-184.

16. Shilov A.V. Konstruktivnye reshenija sbornyh zhelezobetonnyh krysh malojetazhnyh zdanij. Sovershenstvovanie proektirovanija i rascheta zhelezobetonnyh konstrukcij. [Constructive solutions of prefabricated reinforced concrete roofs of low-rise buildings. Perfection of design and calculation of reinforced concrete structures]. RGAS, Rostov-na-Donu, 1993, p. 98.

17. Pol'skoj P.P., Mailjan D.R. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3891.

18. Serbinovskij P.A., Mailjan D.R. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2016/3580.