

И.С. КУЗНЕЦОВА, канд. техн. наук (1747139@mail.ru),
В.Г. РЯБЧЕНКОВА, инженер, Д.В. АКОПЯН, инженер

Лаборатория температуростойкости и диагностики бетона и железобетонных конструкций НИИЖБ им. А.А. Гвоздева,
АО «НИЦ «Строительство» (141367, Московская обл., г. Сергиев Посад, пос. Загорские Дали, 6-11)

Огнестойкость плитных конструкций из фибробетона с добавкой стеклопластиковой макрофибры

Приведены результаты экспериментальных исследований огнестойкости плитных конструкций из фибробетона с добавкой стеклопластиковой макрофибры. Огневым испытаниям подлежали натурные плиты сплошного сечения с армированием стальной арматурой и арматурой стеклокомпозитной. В ходе экспериментов проверялась возможность повышения предела огнестойкости плит с композитной арматурой за счет введения стеклопластиковой макрофибры в бетон, по аналогии с полипропиленовой микрофиброй. По результатам исследований установлено, что введение стеклопластиковой макрофибры в бетон не увеличивает предела огнестойкости по потере несущей способности плитных конструкций, но повышает интенсивность взрывообразного разрушения бетона и степень поврежденности обогреваемой поверхности при пожаре, а в тонкостенных конструкциях толщиной 50 мм приводит к образованию сквозных трещин, отверстий и наступлению предела огнестойкости по потере целостности. Кроме того, стеклопластиковая макрофибра обладает повышенной токсичностью при пожаре, что обуславливает необходимость ограничения области ее применения для зданий жилищного, общественного и промышленного назначения, особенно разного рода тоннелей, где эксплуатация объектов связана с массовым пребыванием людей.

Ключевые слова: пожар, предел огнестойкости, плитные конструкции, взрывообразное разрушение бетона, фибробетон, стеклопластиковая макрофибра, арматура стеклокомпозитная.

Для цитирования: Кузнецова И.С., Рябченкова В.Г., Акопян Д.В. Огнестойкость плитных конструкций из фибробетона с добавкой стеклопластиковой макрофибры // *Бетон и железобетон*. 2022. № 2 (610). С. 10–19. DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-610-2-10-19>

I.S. KUZNETSOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (1747139@mail.ru),
V.G. RYABCHENKOVA, Engineer, D.V. AKOPYAN, Engineer

Laboratory of Temperature Resistance and Diagnostics of Concrete and Reinforced Concrete Structures, NIIZHB named after A.A. Gvozdev,
JSC "Research Center of Construction" (6-11, Zagorskiye Dali Settlement, 141376, Sergiyev-Posad, Moscow Oblast, Russian Federation)

Fire Resistance of Fibroconcrete Slab Structures with Addition of Fiberglass Macrofibre

The results of experimental studies of fire resistance of slab structures made of fibroconcrete with the addition of fiberglass macrofiber are presented. Full-scale plates of solid cross-section with steel reinforcement and glass composite reinforcement were subjected to fire tests. During the experiments, the possibility of increasing the fire resistance limit of plates with composite reinforcement due to the introduction of fiberglass macrofiber into concrete, by analogy with polypropylene microfiber, was checked. According to the research results, it was found that the introduction of fiberglass macrofiber into concrete does not increase the fire resistance limit by loss of bearing capacity of slab structures, but increases the intensity of explosion-like destruction of concrete and the degree of damage to the heated surface in case of fire, and in thin-walled structures with a thickness of 50 mm leads to the formation of through cracks, holes and the onset of the fire resistance limit by loss of integrity. In addition, fiberglass macrofibre has increased toxicity in case of fire, which makes it necessary to limit the scope of its application for housing, public and industrial buildings, especially various types of tunnels where the operation of objects is associated with the mass stay of people.

Keywords: fire, fire resistance limit, slab structures, explosion-like destruction of concrete, fibrous concrete, fiberglass macrofibre, glass composite reinforcement.

For citation: Kuznetsova I.S., Ryabchenkova V.G., Akopyan D.V. Fire resistance of fibroconcrete slab structures with addition of fiberglass macrofibre. *Beton i Zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2022. No. 2 (610), pp. 10–19. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0005-9889-2022-610-2-10-19>

Применение разного рода фибр в качестве добавки в бетон вошло в практику строительства в конце 1970-х гг., когда постановлением Совета Министров СССР от 3 января 1977 г. № 2 «О некоторых мерах по повышению технического уровня производства железобетонных конструкций и более эффективному использованию их в строительстве» было рекомендо-

вано усилить внимание к работам по созданию новых, более эффективных железобетонных конструкций, в том числе за счет применения новых видов армирования, включая дисперсное армирование с применением различных видов высокопрочных волокон [1, 2].

Одним из главных достоинств фибробетона является то, что фибробетон позволяет существенно сни-

зять трудозатраты на арматурные работы, повысить степень механизации бетонных работ и расширить область применения эффективных конструктивных решений зданий и сооружений [3].

Фибробетоны и конструкции из них широко применяются в Германии, Японии, США, ЮАР и других зарубежных странах.

В отечественной строительной индустрии применение фибробетонов с добавлением разного рода микро- и макрофибр (полипропиленовых, стальных, базальтовых, стеклопластиковых, полиамидных) весьма ограничено, в том числе по причине того, что технические условия на изготовление изделий из фибробетона разработаны не для всех разновидностей фибр. Базовым нормативным документом, определяющим особенности расчета фибробетонных конструкций, в которых предусмотрено применение разных видов фибры, является СП 297.1325800.2017 «Конструкции фибробетонные с неметаллической фиброй. Правила проектирования (с Изменением № 1)».

Исследования при обычных температурных условиях показали, что дисперсное армирование бетонов повышает их трещиностойкость, ударостойкость, износостойкость, стойкость бетона к воздействию агрессивной среды, позволяет сократить рабочие сечения конструкций, а в ряде случаев позволяет заменить стержневую арматуру или уменьшить ее расход [4, 5].

Каждый род фибр оптимизирует определенные специфические свойства фибробетона. Выбор того или иного вида фибры в качестве добавки в бетон зависит от целей достижения заданных эффектов, так как все фибробетоны с добавками разного рода фибр имеют как преимущества, так и недостатки, которые необходимо учитывать.

Например, введение в бетон стальной фибры создает дисперсное армирование конструкции, способствует повышению прочности на растяжение и трещиностойкости железобетонных конструкций, в некоторых случаях может заменять стержневую арматуру [6]. Но при этом фибробетон со стальной фиброй отличается большим объемным весом и теплопроводностью по сравнению с обычным тяжелым бетоном. Кроме того, существует проблема равномерного распределения стальной фибры в объеме бетонной смеси.

Исследованиями установлено, что введение полипропиленовой микрофибры в бетон способствует уменьшению расслаивания бетонной смеси, повышению стойкости к истиранию, ударным нагрузкам, химическому воздействию, а также снижает интенсивность или исключает взрывообразное разрушение бетона при пожаре, что является важным эффектом для обеспечения предела огнестойкости железобетонной конструкции [7, 8]. Но при этом

следует учитывать, что полипропиленовая микрофибра не выполняет функцию дисперсного армирования как такового, а прочность бетона снижается на 5–15% после введения полипропиленовой микрофибры [9].

При рассмотрении вопроса о возможности повышения огнестойкости конструкций из фибробетона актуальны характеристики размеров и оптимального расхода волокна при дисперсном армировании. По данным исследований, при высоком расходе фибры фибробетон и конструкции на его основе предрасположены к взрывообразному разрушению, а при низком расходе применение фибры становится бесполезным, так как прочность фибробетона снижается и конструкции обладают меньшим пределом огнестойкости [8–9].

Способ снижения интенсивности или исключения взрывообразного разрушения бетона при пожаре путем введения в бетон полипропиленовой микрофибры широко известен и вошел в европейские нормы по огнестойкости (Еврокод 2, Ч. 1–2). Эффективным количеством полипропиленовой микрофибры считается 2 кг/м^3 .

В исследованиях от 2017 г., проведенных в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, установлено оптимальное количество полипропиленовой микрофибры в бетон в количестве 1 кг/м^3 , при котором сводится к минимуму или исключается взрывообразное разрушение обычного тяжелого бетона классов В30–В40 при пожаре (Отчет по научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе «Проведение огневых испытаний и формирование требований к огнестойкости и огнестойкости железобетонных конструкций». АО «НИЦ «Строительство», 2017. 271 с.).

Добавка стеклопластиковой макрофибры в бетон при нормальных температурных условиях применяется для дисперсного армирования. Абсолютные значения предела прочности у стеклопластика несколько ниже, чем у стали, но при этом стеклопластик показывает большую удельную прочность. Удельный вес стеклопластика в 3,5 раза меньше стали, что снижает собственный вес конструкций. Стеклопластиковая макрофибра относится к разновидности композитного материала и популяризируется в строительной индустрии.

До недавних пор оставалось неизученным влияние добавки стеклопластиковой макрофибры в бетон на эффект взрывообразного разрушения бетона при пожаре. Поскольку стеклопластиковая макрофибра при нормальных температурных условиях является дисперсной арматурой в бетоне, повышая его прочность и трещиностойкость, существовало предположение, что дисперсия стекловолокон, обладающих достаточной термостойкостью, обеспечит снижение

интенсивности взрывообразного разрушения бетона при пожаре и будет способствовать повышению предела огнестойкости конструкций.

Результаты испытаний фибробетонов со стеклопластиковой макрофиброй практически отсутствуют в периодических научных изданиях в связи со сравнительно недавним промышленным освоением выпуска данного вида композитного материала. Отдельные исследования позволяют сказать, что при применении стеклопластиковой макрофибры проявляются эффекты, присущие как высокомодульной фибре, так и синтетическим низкомодульным видам. Подробное изучение свойств этого вида фибры является предметом будущих исследований.

Стеклопластиковая макрофибра (далее – ФСК) является одной из разновидностей композитных материалов нового поколения и изготавливается по методу пултрузии путем протяжки стеклянных нитей через фильеру, нагретую до определенной температуры, при которой осуществляется полимеризация матрицы. По внешнему виду стеклопластиковая макрофибра напоминает стеклянные иглы с наружной оболочкой из полимерного материала (рис. 1). Длина фибр, как правило, составляет ~40 мм, толщина 0,7–0,9 мм, плотность 1,54 г/см³, модуль упругости ~50 ГПа (определенный на образцах арматуры диаметром 4 мм, изготовленных из тех же материалов и по той же технологии).

Фибробетон с ФСК в основном применяется при устройстве промышленных полов, подвальных стен, дорожных покрытий, фундаментных плит, плит на упругом основании и виброуплотненных сваях. Стремление к расширению области применения стеклопластиковой макрофибры в сферах гражданского и жилищного строительства на современном этапе требует изучения поведения фибробетонов и конструкций из них в условиях пожара. Это обусловлено необходимостью обеспечения требований конструктивной пожарной безопасности и огнестойкости строительных конструкций согласно ст. 8 Федерального закона от 30.12.2010 № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и ст. 87 Федерального закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

Поскольку стеклопластиковая макрофибра выполняет роль дисперсного армирования конструкций, в практике маркетинговых ходов она позиционируется не только в качестве эффективного средства для повышения трещиностойкости и сопротивляемости раскрытию трещин при нормальной температуре, но также в качестве средства повышения огнестойкости конструкций (последнее – без доказательной базы, по аналогии с полипропиленовой микрофиброй) при

строительстве различных типов зданий и сооружений, а также при строительстве тоннелей.

Следовательно, проверка эффективности введения ФСК в бетон с целью повышения огнестойкости железобетонных конструкций способствует решению вопросов пожарной безопасности конструкций и зданий в целом.

В 2017 г. специалистами АО «НИЦ «Строительство» проведены исследования огнестойкости фибробетонных плит из бетона с добавкой ФСК путем проведения огневых испытаний натурных плитных конструкций на базе испытательной лаборатории Научно-испытательного центра пожарной безопасности ФГБУ ВНИИПО МЧС России (Отчет по научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе «Исследование бетонных конструкций, армированных фиброй композитной полимерной и арматурой композитной полимерной (АКП), на воздействие пожара». М.: АО «НИЦ «Строительство», 2019. 128 с.).

Огневые испытания подвергались крупногабаритные плиты перекрытий сплошного сечения размерами 4200×1200 мм и толщиной 140 мм (два образца), а также малогабаритные тонкие плиты размерами 1100×1100 мм и толщиной 50 мм (четыре образца), имитирующие тонкостенные полки ребристых плит.

Все образцы плит были изготовлены из обычного тяжелого бетона класса В45 с добавкой полипропиленовой микрофибры в количестве 1 кг/м³ в сочетании со стеклопластиковой макрофиброй в количестве 8 кг/м³. Комплексная добавка фибр вводилась с це-



Рис. 1. Стеклопластиковая макрофибра ФСК
Fig. 1. FSK fiberglass macrofiber



Рис. 2. Вид огневой установки и крупногабаритных плит, нагруженных равномерно распределенной нагрузкой, перед огневым испытанием

Fig. 2. View of the fire installation and large-sized plates, loaded with a uniformly distributed load, before the fire test

люю изучения их влияния на огнестойкость и процесс взрывообразного разрушения бетона при пожаре.

Рабочее армирование крупногабаритных плит выполнено горячекатаной арматурой класса A500С в количестве семи стержней диаметром 16 мм при толщине нижнего защитного слоя бетона касательно к арматуре 25 мм.

Армирование малогабаритных тонких плит было выполнено проволоочной сеткой $\varnothing 5$ с ячейкой 200×200 мм класса Вр-I. Толщина нижнего защитного слоя бетона касательно к арматурной сетке (со стороны обогреваемой поверхности) составляла 15 мм.

Для сопоставительного анализа огневыми испытаниям также подлежали контрольные серии идентичных крупногабаритных и мелкогабаритных плит из обычного тяжелого бетона класса В45 без добавок фибр.

Огневые испытания крупногабаритных и малогабаритных ЖБК плит перекрытий проводились под действием постоянной равномерно распределенной нагрузки по методикам ГОСТ 30247.0–94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования» и ГОСТ 30247.1–94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции» (рис. 2).

Для крупногабаритных плит перекрытий за предельное состояние по потере несущей способности принималось достижение предельного прогиба согласно методике приложения А ГОСТ 30247.1–94 (200 мм). Фактическая влажность крупногабаритных плит из фибробетона перед испытанием составляла 5,35–5,85%.

Для малогабаритных тонких плит перекрытий за предельное состояние принимались критерии поте-



Рис. 3. Характерный вид образца № 1 малогабаритной тонкой плиты на огневой установке после огневого испытания

Fig. 3. Typical view of sample No. 1 of a small-sized thin plate on a fire installation after a fire test

ри целостности вследствие образования сквозных отверстий, трещин и потери теплоизолирующей способности при нагреве необогреваемой поверхности свыше 220°C (рис. 3). Фактическая влажность в образцах малогабаритных плит из фибробетона перед испытанием варьировалась в пределах 5,4–6,2%.

По результатам огневых испытаний установлено, что предельное состояние опытных образцов крупногабаритных плит наступило по критерию предельного прогиба через 184 мин от начала огневого воздействия. К моменту окончания огневого испытания средняя температура на необогреваемой поверхности плит не превышала 171°C . В процессе огневого испытания и на момент его окончания образования сквозных трещин или отверстий в плитах не зафиксировано. Предел огнестойкости крупногабаритных плит наступил по признаку потери несущей способности и составил R 184.

В ходе эксперимента взрывообразное разрушение бетона плит присутствовало с 15-й по 30-ю минуту испытания. По результатам визуального осмотра после огневого испытания выявлено присутствие локальных зон взрывообразного разрушения бетона в виде сколов на глубину не более 20 мм, без оголения продольной рабочей арматуры. Наиболее глубокие сколы бетонных лещадей наблюдались вдоль граней плит и в местах скопления макроволокон ФСК в поверхностном слое плит (рис. 4).

В контрольной серии крупногабаритных плит из обычного тяжелого бетона предел огнестойкости наступал по признаку потери несущей способности и составил R 175. Поверхность контрольных плит после испытания имела повреждения целостности вследствие взрывообразного разрушения бетона на

глубину не более 15 мм, без оголения продольной рабочей арматуры (рис. 5).

Сопоставительный анализ результатов огневых испытаний и осмотра поверхностей плит после испытаний (рис. 4, 5) показывает, что комплексная добавка полипропиленовой микрофибры и макрофибры ФСК в бетон повышает предел огнестойкости крупногабаритных плит сплошного сечения на 5%, несмотря на наличие взрывообразного разрушения бетона при нагреве. Наибольшая интенсивность и область распространения взрывообразного разрушения бетона наблюдались по поверхности плит из бетона без добавки фибр.

В параллельно испытанной серии аналогичных крупногабаритных плит из бетона с добавкой полипропиленовой микрофибры в количестве 1 кг/м^3 (без добавки ФСК) взрывообразное разрушение бетона отсутствовало. Следовательно, можно предположить, что снижение интенсивности взрывообразного разрушения в плитах из бетона с комплексной добавкой фибр достигнуто за счет введения полипропиленовой микрофибры, но не стеклопластиковой макрофибры.

Следует обратить особое внимание на выявленный в эксперименте факт, что фибробетон с ФСК обладает токсичностью при пожаре. В процессе огневого испытания крупногабаритных плит из бетона с комплексной добавкой фибр в вентилируемом помещении испытательной лаборатории ощущался устойчивый едкий токсичный запах, вызывавший удушье и слезотечение у экспериментаторов, негативно повлиявший на их самочувствие в течение последующих двух-трех дней. В процессе огневого испытания токсичный запах распространялся на значительное расстояние от здания испытательной лаборатории. В ранее проведенных огневых испытаниях аналогичных плит из фибробетона с добавкой полипропиленовой микрофибры (без ФСК) подобного токсичного явления не наблюдалось. Следовательно, ФСК обладает повышенной токсичностью при огневом воздействии и в случае реального пожара может негативно влиять на работу пожарной команды, самочувствие пожарных, вызывать отравление людей в смежных или близко расположенных



Рис. 4. Характерный вид обогреваемой поверхности крупногабаритной плиты из фибробетона после испытания

Рис. 4. Typical view of the heated surface of a large-sized fiber-reinforced concrete slab after testing



Рис. 5. Характерный вид обогреваемой бетонной поверхности контрольной серии плит после огневого испытания

Fig. 5. Typical view of the heated concrete surface of the control series of slabs after the fire test

к пожару помещений и пространствах. Токсичность ФСК при пожаре обуславливает необходимость ограничения области ее применения для зданий жилищного, общественного и промышленного назначения.

В последующих исследованиях был проведен отдельный эксперимент по проверке токсичности макрофибры ФСК при горении по методике ГОСТ 12.1.044–2018 «Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Пожаро-взрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения», но фактор опасной токсичности не был освидетельствован вследствие несовершенства существующей методики испытаний на токсичность (по летальному исходу группы лабораторных мышей в камере с продуктами горения). По результатам испытаний на токсичность установлено, что бетон с добавкой ФСК относится к группе малоопасных материалов (Т1).

Далее приведены результаты огневых испытаний тонких малогабаритных плит толщиной 50 мм, имитирующих полки ребристых плит перекрытий.

По результатам огневых испытаний выявлено, что при огневом воздействии в тонких плитах образовались сквозные трещины или отверстия, предел огнестойкости наступал по признаку потери целостности

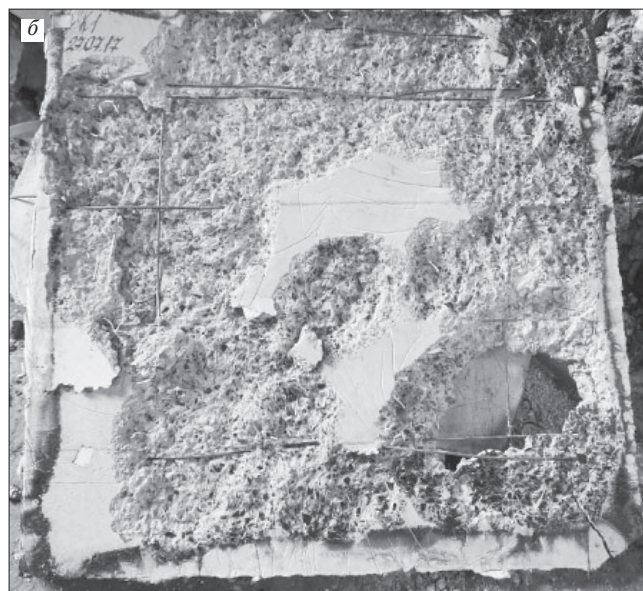


Рис. 6. Характерный вид бетонных поверхностей тонких малогабаритных плит из обычного тяжелого бетона (а) и фибробетона с добавкой ФСК (б) после огневого испытания

Fig. 6. A characteristic view of the concrete surfaces of thin small-sized slabs of ordinary heavy concrete (a) and fiber-reinforced concrete with the addition of FSK (b) after a fire test

и составил Е30–Е36. Начало взрывообразного разрушения бетона в виде сколов лещадей со стороны обогреваемой поверхности наблюдалось на 13-й – 15-й минутах огневого испытания, и после испытания поверхности плит имели повреждения целостности практически по всей площади поверхности плит на глубину до 25–30 мм (рис. 6, б).

В контрольной серии малогабаритных тонких плит из обычного тяжелого бетона предел огнестойкости наступил по признаку потери теплоизолирующей способности и составил I 59, т. е. превышал предел огнестойкости тонких фибробетонных плит почти в два раза. При этом сквозные отверстия и трещины в контрольной серии отсутствовали (рис. 6, а).

Сопоставительный анализ результатов огневых испытаний тонких плит показал, что применение стеклопластиковой макрофибры в качестве добавки в бетон для тонких плит неприемлемо, так как ФСК дестабилизирует структуру бетона, является концентратором напряжений, приводит к сквозным повреждениям плит в виде трещин и отверстий, значительно снижает их предел огнестойкости.

В 2019 г. исследования огнестойкости фибробетона с добавкой ФСК были продолжены для плит, армированных арматурой композитной полимерной (АКП). В отличие от огневых испытаний 2017 г. в бетоне присутствовала добавка только стеклопластиковой макрофибры (ФСК), без добавления полипропиленовой микрофибры, что позволило наблюдать эффект влияния ФСК на огнестойкость конструкций.

В статье не приведены производители стеклопластиковой макрофибры, поскольку выявленные эф-

фекты от ее введения в бетон идентичны и не зависят от производителя.

Целью исследований являлось получение экспериментальных данных по техническим параметрам, определяющим возможность применения ФСК для армирования бетонных конструкций со стеклокомпозитной арматурой для повышения огнестойкости.

Огневым испытаниям подвергались крупногабаритные плиты перекрытий сплошного сечения размерами 4200×1200 мм и толщиной 140 мм, по геометрии аналогичные серийным огневым испытаниям, проведенным в 2017 г. Фибробетонные плиты изготавливались из обычного тяжелого бетона клас-

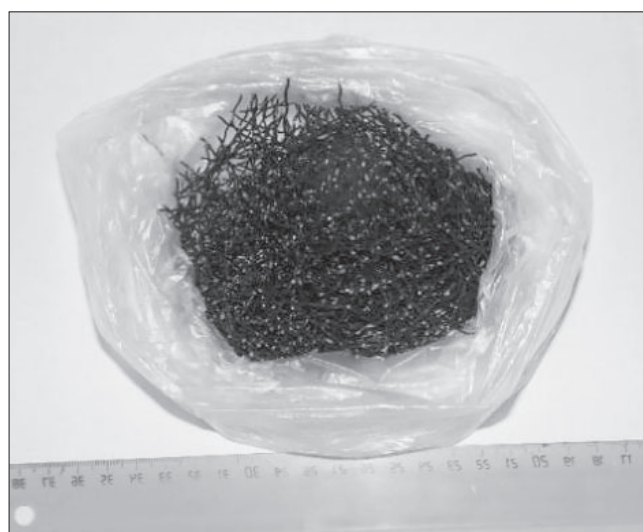


Рис. 7. Внешний вид фибры композитной полимерной (ФКП)
Fig. 7. Appearance of composite polymer fiber (PCF)

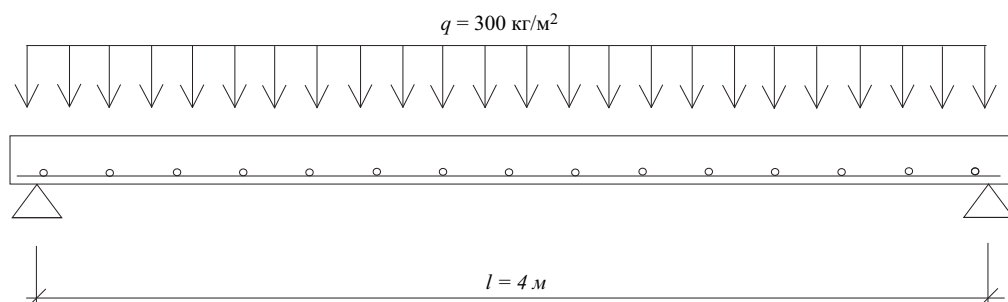


Рис. 8. Принципиальная схема нагружения плит из фибробетона с ФКП равномерно распределенной нагрузкой 300 кг/м^2

Fig. 8. Schematic diagram of the loading of fiber-reinforced concrete slabs with FKP with a uniformly distributed load of 300 kg/m^2

са В40 с добавкой только макрофибры ФСК в количестве 8 кг/м^3 (рис. 7), без добавления полипропиленовой микрофибры.

Армирование плит было выполнено стержневой арматурой стеклокомпозитной (далее – АСК) в количестве, требуемом по расчету по первой группе предельных состояний.

Огневые испытаниям подвергалось несколько серий плит с вариативностью параметров, позволяющих проанализировать влияние добавки макрофибры ФКП в бетон на огнестойкость и взрывообразное разрушение конструкции при пожаре:

Серия Б – серия плит, изготовленных из обычного тяжелого бетона класса В40 с армированием стержневой АСК;

Серия Г – серия плит, изготовленных из фибробетона с добавкой макрофибры ФСК по ТУ 23.14.12-072-17411121-2019 в количестве 8 кг/м^3 с армированием стержневой АСК.

Толщина защитного слоя бетона касательно к нижней рабочей арматуре во всех сериях плит составляла 25 мм.

Огневые испытания плит проводились в испытательной лаборатории ООО НИЭЦ «Стройтест» (г. Алексин, Тульская обл.) по методикам ГОСТ 30247.0-94 и ГОСТ 30247.1-94, согласно которым для изгибаемых элементов критериями наступления предела огнестойкости являются следующие предельные состояния:

– потеря несущей способности (R) вследствие обрушения конструкции, или возникновения критического прогиба в середине пролета величиной $1/20$ пролета (для плит пролетом 4 м предельный прогиб составляет 200 мм), или критической скорости нарастания

деформации по приложению А ГОСТ 30247.1-94 (для опытных плит – более $1,3 \text{ см/мин}$);

– потеря целостности (E);

– потеря теплоизолирующей способности (I).

Одновременно проводилось огневое испытание двух идентичных плит в каждой серии. Нагружение плит производилось равномерно распределенной нагрузкой, равной 300 кг/м^2 для серий Б и Г. Принципиальная схема нагружения плит показана на рис. 8. Перед испытанием нагружение плит производилось бетонными блоками (рис. 9).

В ходе огневых испытаний прогиб плит контролировался по прогибомерам.

В серии Г плит из фибробетона с армированием АСК до огневого испытания начальный прогиб составил 16,1 и 20,5 мм. Фактическая средняя влажность бетона плит по массе составляла 4,1–4,3%.

В процессе огневых испытаний всех серий плит начало взрывообразного разрушения бетона зафиксировано на 12-й минуте огневого воздействия и продолжалось до 40-й минуты испытания. При этом в серии Г частота хлопков от взрывообразного раз-



Рис. 9. Характерный вид нагруженных плит из фибробетона с ФКП на огневой установке в процессе огневого испытания

Fig. 9. A typical view of loaded fiber-reinforced concrete slabs with FKP on a fire installation during a fire test

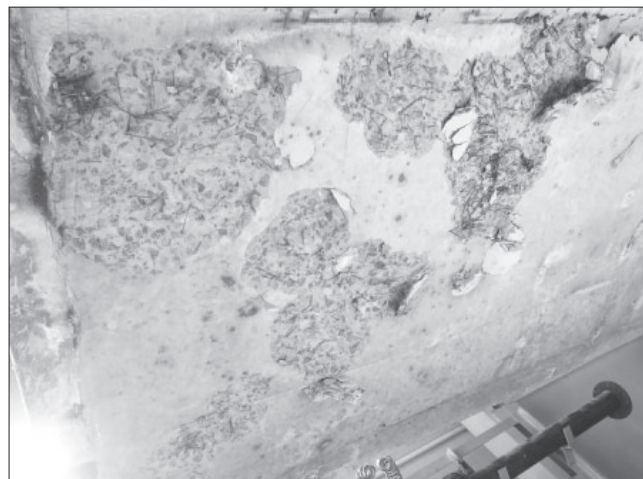


Рис. 10. Обширные участки взрывообразного разрушения обогреваемой поверхности плит из фибробетона с оголением АСК
Fig. 10. Extensive areas of explosive destruction of the heated surface of fiber-reinforced concrete slabs with exposure of ASC



Рис. 11. Характерный вид плит серии Б после обрушения в пространство печи и после охлаждения
Fig. 11. Characteristic view of series B slabs after collapse into the furnace space and after cooling

рушения высокая, с периодичностью 1–3 мин, звук хлопков приглушенный. В серии Б частота взрывообразного разрушения редкая (одиночные взрывы), звук громкий и резкий.

В серии Г на 47-й минуте огневого воздействия произошло обрушение одной из фибробетонных плит, и испытание было приостановлено. Предел огнестойкости плит из фибробетона с армированием композитной арматурой был достигнут по потере несущей способности и составил R 47.

Прогиб плиты серии Г перед обрушением составлял 158 мм и был значительно меньше критического

прогиба по ГОСТ 30247.1–94 (200 мм). Прогиб второй необрушенной плиты к моменту отключения огневой установки составлял 119 мм, после отключения огневой установки в течение двух последующих минут наблюдалось уменьшение (обратимость) прогиба до 112,4 мм, затем прогиб плиты заново начал увеличиваться с нарастающей скоростью, что неминуемо привело к ее обрушению.

После остывания плит произведен осмотр обогреваемых поверхностей и выявлены обширные участки взрывообразного разрушения бетона на глубину до 25 мм и более с локальными участками оголения

стержней АСК (рис. 10). При этом установлено, что стержни АКП утратили целостность за счет полного выгорания связующего и превратились в пучок стеклонитей.

На момент обрушения температура нагрева стержней АСК варьировалась в пределах 240–430°C и в среднем составила 335°C. Максимальная температура необогреваемой поверхности плит к моменту обрушения составляла 55–60°C.

Следует упомянуть, что в процессе огневого испытания плит серии Г проявлялся эффект их токсичности, аналогичный испытаниям аналогичных конструкций на огнестойкость в 2017 г. И только благодаря заранее предусмотренной дополнительной интенсивной вентиляции и применению средств индивидуальной защиты удалось избежать негативного влияния токсических веществ на экспериментаторов.

Предел огнестойкости по потере несущей способности серии Б натурных плит (из обычного тяжелого бетона с армированием АСК) составил R47 и был достигнут вследствие обрушения плит (рис. 11). Перед обрушением прогибы плит составляли 143 и 135 мм, что значительно меньше критического прогиба по ГОСТ 30247.1–94.

Следует отметить, что в процессе огневых испытаний плит серий Б и Г прогибы нарастали практически с постоянной скоростью 2–3 мм/мин, которая резко увеличивалась за 1–2 мин до разрушения.

Анализируя общий характер поведения плитных бетонных конструкций с АСК при пожаре, следует отметить, что их предел огнестойкости наступает путем внезапного хрупкого разрушения, что связано с прогревом АСК до критической температуры [10].

Предельный прогиб бетонных и фибробетонных плит с АСК перед разрушением был значительно меньше предельного прогиба, указанного в приложении А ГОСТ 30247.1–94. Следовательно, критерий наступления предельного состояния по потере

несущей способности для изгибаемых конструкций, указанный в приложении А ГОСТ 30247.1–94, неприменим для бетонных изгибаемых конструкций, армированных АСК.

Сопоставляя результаты огневых испытаний плит серий Б и Г, отличающихся видом бетона (серия Б – из обычного тяжелого бетона, серия Г – из фибробетона), можно сделать следующие выводы:

1. Введение стеклопластиковой макрофибры в бетон неэффективно с позиций обеспечения огнестойкости конструкций, т. е. не влияет на предел огнестойкости по потере несущей способности плитных конструкций из фибробетона с ФСК, но способствует увеличению интенсивности взрывообразного разрушения бетона при пожаре.

2. Функция дисперсного армирования за счет введения стеклопластиковой макрофибры в бетон при пожаре не проявляется.

3. Введение стеклопластиковой макрофибры в бетон увеличивает интенсивность взрывообразного разрушения бетона при пожаре.

4. Не следует применять фибробетон с добавкой стеклопластиковой макрофибры в тонкостенных конструкциях (например, в ребристых плитах или панелях-скорлупах), т. е. введение макрофибры снижает как минимум в два раза их предел огнестойкости, приводит к образованию сквозных отверстий и трещин при пожаре. При этом предел огнестойкости тонкостенных конструкций наступает по признаку потери целостности.

5. При пожаре бетон с добавкой стеклопластиковой макрофибры обладает повышенной токсичностью, опасной для здоровья людей, что может являться причиной ограничения области его применения для зданий жилищного, общественного и промышленного назначения, особенно разного рода тоннелей, где эксплуатация объектов связана с массовым пребыванием людей.

Список литературы

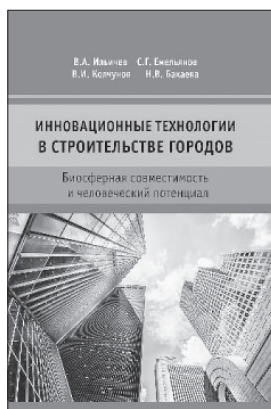
1. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Высшая школа, 1987. 529 с.
2. Волков И.В. Фибробетон: технико-экономическая эффективность применения // Промышленное и гражданское строительство. 2002. № 9. С. 23–25.
3. Абрамян С.Г., Пианов Е.М., Курбанов И.З. Краткий обзор научных публикаций: современный взгляд на проблему получения и применения фибробетона // Инженерный вестник Дона. 2018. № 2. С. 7–10.
4. Ключев С. В. Экспериментальные исследования фибробетонных конструкций с различными ви-

References

1. Bazhenov Yu.M. Tekhnologiya betona [Concrete technology]. Moscow: Vysshaya shkola. 1987. 529 p.
2. Volkov I.V. Fiber-reinforced concrete: technical and economic efficiency of application. Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2002. No. 9, pp. 23–25.
3. Abrahamyan S.G., Piunov E.M., Kurbanov I.Z. A brief review of scientific publications: a modern view on the problem of obtaining and using fiber-reinforced concrete. Inzhenernyy vestnik Dona. 2018. No. 2, pp. 7–10. (In Russian).
4. Klyuev S. V. Experimental studies of fiber-reinforced concrete structures with different types of fibers.

- дами фибр // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 2 (33). Ч. 1. С. 39–44.
5. Лабри Дж.А., Полдер Р.Б. Влияние полипропиленовых волокон на бетон: микроструктура после испытаний на огнестойкость и миграция хлоридов // TNO Build Environment and Geosciences, Delfi, Нидерланды, 2007.
 6. Seetha Lakshmi M.A., Sarania V., Surdeep S. Experimental study on mechanical properties of concrete with polypropylene fiber // International Refereed journal of Engineering and Science (IRJES). 2014. Апрель. Кн. 3. Вып. 4. С. 70–74.
 7. Кузнецова И.С., Рябченкова И.С., Корнюшина М.П., Саврасов И.П., Востров М.С. Полипропиленовая фибра – эффективный способ борьбы со взрывообразным разрушением бетона при пожаре // Строительные материалы. 2018. № 1. С. 15–20.
 8. Kumahara S., Masuda Y. and Tanano Y. Tensile Strength of Continuous Fiber Bar under High Temperature. International Symposium on Fiber-Reinforcement-Plastic Reinforcement for Concrete Structures. American Concrete Institute. 1993.
 9. Wang N. and Evans J.T. Collapse of Continuous Fiber Composite Beam at Elevated Temperature // Journal of Composites. 1996. 26 (1), pp. 56–61.
 10. Кузнецова И.С., Степанова В.Ф., Бучкин А.В., Миюсов С.П., Акопян Д.В. Исследование поведения бетонных плит с арматурой композитной полимерной при пожаре // Бетон и железобетон. 2021. № 4. С. 1–6.
 - Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. 2015. No. 2 (33), pp. 39–44. (In Russian).
 5. Larbi J.A. and Polder R.B. Effects of polypropylene fibres in concrete: Microstructure after fire testing and chloride migration. TNO Build Environment and Geosciences. Delfi. The Netherlands. 2007.
 6. Seetha Lakshmi M.A., Sarania V., Surdeep S. Experimental study on mechanical properties of concrete with polypropylene fiber. International Refereed journal of Engineering and Science (IRJES). 2014. April. Vol. 3. Iss. 4, pp. 70–74.
 7. Kuznetsova I.S., Ryabchenkova V.G., Korniyushina M.P., Savrasov I.P., Vostrov M.S. Polypropylene fiber is an effective way to combat the explosive destruction of concrete in a fire. Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]. 2018. No. 1, pp. 15–20. (In Russian).
 8. Kumahara S., Masuda Y. and Tanano Y. Tensile Strength of Continuous Fiber Bar under High Temperature. International Symposium on Fiber-Reinforcement-Plastic Reinforcement for Concrete Structures. American Concrete Institute. 1993.
 9. Wang N. and Evans J.T. Collapse of Continuous Fiber Composite Beam at Elevated Temperatures. Journal of Composites. 1996. 26 (1), pp. 56–61.
 10. Kuznetsova I.S., Stepanova V.F., Buchkin A.V., Miyusov S.P., Akopyan D.V. Investigation of the behavior of concrete slabs with composite polymer reinforcement in case of fire. Beton i zhelezobeton. 2021. No. 4, pp. 1–6. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ



ОТЗЫВ НА УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОРОДОВ. БИОСФЕРНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ И ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ»

Москва: Издательство: АСВ, 2019, 208 с.

Авторы: академик РААСН В.А. Ильичев, член-корр. РААСН С.Г. Емельянов, академик РААСН В.И. Колчунов, советник РААСН Н.В. Бакаева

В учебном пособии, подготовленном коллективом авторов под руководством академика РААСН В.А. Ильичева, представлен междисциплинарный подход, который направлен на формирование пространственных параметров качества жизни с позиции симбиоза города и биосферы. В настоящее время в учебной литературе недостаточно или практически отсутствуют издания, отражающие формирование нового мировоззрения человека через когнитивное, аффективное и духовное взаимодействие с природой, направленное на преодоление антагонистического отношения к окружающей город природной среде.

Настоящее пособие отражает опыт научных исследований авторов, который систематизирован в совокупность научных установок Российской академии архитектуры и строительных наук – парадигму биосферосовместимого развития человечества, послужившую в последующем методологической базой для разработки Доктрины градостроительства и расселения.

Научные положения учебного пособия основаны на фундаментальных знаниях экологии, безопасности жизнедеятельности, природопользования, социологии и других смежных наук. Исходят из оценки современного состояния городской среды и принципов сбалансированной природно-антропогенной совместимости, что не только не противоречит градостроительной теории и практике планировки и застройки городов, но и наоборот, дополняет ее.

Вопросы, освещенные в учебном пособии, также могут быть положены в основу развития нормативной базы технического регулирования в градостроительстве и строительстве.

Заведующий кафедрой «Градостроительство» Московского архитектурного института
академик РААСН, д-р архитектуры, проф. М.В. Шубенков