

Особенности контроля прочности сталефибробетона на сжатие в возведённых конструкциях

Л.Х. Сафина

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ),

Аннотация: Статья посвящена особенностям определения фактической прочности сталефибробетона на сжатие в существующих зданиях. Приведены результаты экспериментальных исследований конструкций строящегося торгово-развлекательного центра. Испытания монолитной фибробетонной плиты пола проводились тремя разными разрушающими и неразрушающими методами. Проанализированы полученные результаты. Подтверждена высокая корреляция ($r_{рм-ос}=0,855$) значений прочности сталефибробетона, полученных при разрушении образцов и методом отрыва со скалыванием. Представленные результаты экспериментальных исследований вносят свой вклад в накопление статистической информации по вопросу определения фактической прочности сталефибробетона в натуральных конструкциях возведенных зданий.

Ключевые слова: фибробетон, натурные конструкции, контроль прочности, неразрушающие методы контроля (НК), механические методы НК, ультразвуковые методы НК.

За последние полтора века самым распространённым материалом в строительной отрасли стал железобетон. Работа железобетонных конструкций под нагрузкой непрерывно изучается экспериментально. Существующие подходы к расчёту железобетонных конструкций во многом базируются на результатах натурных и лабораторных испытаний. Экспериментальные исследования, которые позволяют регистрировать параметры напряжённо-деформированного состояния конструкции в процессе её нагружения, имеют основной целью усовершенствовать существующие расчётные модели и расчётные методики таким образом, чтобы теоретический расчёт позволял с высокой точностью предсказывать поведение конкретного конструктивного элемента из известного материала при действии эксплуатационных нагрузок. Поэтому, чем больше результатов экспериментов будет представлено профессиональному инженерному сообществу, тем быстрее поставленная цель будет достигнута.

При проведении экспериментов на железобетонных конструкциях точность совпадения результатов, полученных расчётным путём, и результатов, полученных в ходе испытаний, часто оказывается существенно ниже, чем точность совпадения результатов при аналогичных экспериментах, проводимых с металлическими конструкциями. Это вызвано неоднородностью свойств, недетерминированностью физико-механических характеристик железобетона, идеализацией принятых расчётных моделей. Поведение конструкций под нагрузкой и их несущая способность зависят от десятков случайных факторов, которые могут возникнуть на протяжении всего жизненного цикла здания, начиная с корректности заложенных проектных характеристик, а затем фактических свойств материалов, соответствия исполнения конструкции проекту, соблюдения технологии изготовления и особенностей последующей эксплуатации. Проявления неоднородности и случайности свойств конструкций из «обычного» бетона со стержневым армированием присущи в полной мере и фибробетону.

Область применения фибробетона в строительстве достаточно обширна [1,2] и распространяется от архитектурных деталей или конструкций полов до несущих элементов особо ответственных сооружений. Так, несъемная сталефибробетонная опалубка, как часть железобетонных конструкций используется при строительстве объектов атомной энергетики [3]. В отношении конструкций из фибробетона всеобъемлющей расчетной теории пока не существует. В 2020г. был объявлен приём материалов для публикации в специальном выпуске журналов MDPI на тему «Механика разрушения фибробетона», что лишний раз подтверждает высокую актуальность исследований, направленных на изучение свойств данного материала. Объединение усилий заинтересованных специалистов, публикация и последующее обобщение данных, полученных в ходе экспериментальных и теоретических исследований, позволили бы

существенно продвинуться в изучении свойств и особенностей поведения конструкций из фибробетона под нагрузкой. Свойства фибробетона и их изменения при различных воздействиях исследуются экспериментально для разных типов фибры, а также способов её распределения по объёму бетонной матрицы [4-6]. Необходимость в определении фактической прочности материала существующей натурной конструкции неизбежно возникает при строительном контроле, когда устанавливается соответствие изготовленных или возведённых конструкций проектным решениям; а также при обследовании технического состояния сооружений для расчета их реальной несущей способности, оценки эксплуатационной пригодности и остаточного ресурса. В 2018г. в РФ впервые появился свод правил СП 360.1325800.2017, регламентирующий проектирование сталефибробетонных конструкций; в нем как нормативные, так и расчетные сопротивления сталефибробетона на сжатие (призменная прочность), считаются равными тем же значениям для соответствующего класса «обычного» бетона. Там же нормативные сопротивления сжатию $R_{fb,n}$ приняты в качестве основных прочностных характеристик материала.

Несмотря на всё большее распространение фибробетона, в качестве методов определения его прочности на сжатие в натуральных конструкциях предлагаются разрушающие и неразрушающие методы, применяемые для «обычного» бетона; эти методы регламентируются ГОСТами: 18105-2010, 28570-2019, 10180-2012, 22690-2015, 17624-2012. Таким образом, прочность фибробетона натурной конструкции определяется: разрушающими испытаниями контрольных образцов, изготовленных параллельно с бетонированием монолитных конструкций; или образцов-кернов, выбранных из уже существующей натурной конструкции. Допускается применение неразрушающих методов, имеющих различную физическую природу (ультразвуковой импульсный метод, прямые и косвенные механические

методы: отрыв со скалыванием, упругого отскока, ударного импульса, пластической деформации и др.). ГОСТ 31914-2021, объединяет все перечисленные выше методы испытаний в отношении бетонов высокой прочности, в частности, мелкозернистой структуры. Во всех вышеперечисленных нормативных документах подробно описываются процедуры и схемы проведения, число зон испытаний и расстояния между ними, размеры образцов, а также варианты статистической обработки результатов. Использование косвенных неразрушающих методов НК для определения прочности материала в возведённых сооружениях требует предварительного установления градуировочных зависимостей, т.е. связей между фиксируемым прибором косвенным параметром и измеряемой прочностью. Например, для ультразвукового импульсного метода эта связь – «скорость распространения ультразвука в материале – прочность материала». Возможность применения косвенных методов НК для фибробетона рассматривается в статьях российских и зарубежных специалистов [7-9]. В статье [10] приводятся результаты исследования сталефибробетона с применением ультразвука и отмечается, что влияние фибры на скорость ультразвука в сталефибробетоне связано с разуплотнением бетона матрицы при малых процентах армирования и ростом его плотности пропорционально проценту армирования.

В настоящей статье приводятся результаты экспериментальных исследований прочности сталефибробетона на сжатие, выполненных сотрудником лаборатории НИЛ ОРЗС НИУ МГСУ Ю.А. Воронцовым, в рамках работ по обследованию конструкций пола строящегося торгово-развлекательного центра, [10]. Согласно проекту, обследованные конструкции пола представляли собой монолитную плиту толщиной 200 мм из фибробетона класса В30, армированного стальной анкерной фиброй типа Hendix Prime с плотностью заполнения 35 кг/м^3 . Для определения прочности

фибробетона монолитной плиты пола был применён комплексный подход с использованием методов как разрушающего, так и неразрушающего контроля, рис.1.



Рис. 1. – Образцы-цилиндры и фрагменты сталефибробетона, извлеченные методом отрыва со скалыванием

При испытаниях образцов-цилиндров, отобранных из конструкций, прочность на сжатие определялась, как для «обычного» бетона по ГОСТ 28570-90 (заменен 2019), ГОСТ 10180-2012. Керны диаметром 143 мм и высотой, соответствующей фактической толщине монолитной сталефибробетонной плиты пола, отбирались из семи разных зон обследуемых конструкций. Из кернов изготавливались образцы-цилиндры, рис.1. Подготовленные образцы выдерживались в лаборатории при температуре $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха не менее 55% в течение 3 суток. Затем образцы в воздушно-влажностном состоянии были испытаны на сжатие до разрушения на испытательной машине Instron Sattec 1000HDX. В качестве неразрушающих применялись: метод отрыва со скалыванием и ультразвуковой импульсный метод. Для отрыва со скалыванием использовался прибор ОНИКС-ОС (анкеры $\varnothing 24$ мм, глубина заделки 48 мм), Обработка результатов испытаний производилась по ГОСТ 22690-2015 прил.В. Для ультразвукового метода использовался прибор ПУЛЬСАР-1.1 с базой прозвучивания 120 мм, ультразвуковые измерения были выполнены на 100 участках конструкции. Обработка результатов

ультразвуковых испытаний проводилась по ГОСТ 17624-2012 прил. Г. Универсальная градуировочная зависимость (1) из этого стандарта, была скорректирована для конкретной натурной конструкции. На 10 участках конструкции параллельно проводились испытания ультразвуковым методом и методом отрыва со скалыванием. После статистической обработки по ГОСТ 17624-2012 прил. коэффициент совпадения составил $K_c = 0,889$.

$$R = 0,016 \cdot V - 27,3, \quad (1)$$

где R – прочность, МПа; V – скорость распространения ультразвука, м/с.

Результаты и особенности проведенных испытаний.

- Разброс значений прочности, полученных при разрушении образцов-цилиндров (коэффициент вариаций $v_{pm}=26,1\%$), может говорить о реальной неоднородности свойств фибробетона в зонах отбора проб, а также усугубляться ограниченностью выборки.
 - Особенность при испытании контрольных образцов – получение явных конусообразных форм разрушения образцов, свойственных «обычному» бетону, для образцов-цилиндров из сталефибробетона маловероятно.
 - Особенность испытания фибробетона методом отрыва со скалыванием в сравнении с «обычным» бетоном – отсутствие чёткого, явного момента вырыва фрагмента материала (рис.1), фиксируемого визуально. Звук, характерный для отрыва, не столь отчётлив. Факт отрыва фиксируется на основании показаний прибора, происходит резкое падение усилия нагружающего устройства. Для извлечения вырванного фрагмента материала из массива конструкции после фиксации максимального усилия, требовалось дополнительное увеличение нагрузки.
 - Особенность испытания фибробетона ультразвуковым методом – значительное количество участков (4 участка из 10), которые были отбракованы при уточнении универсальной градуировочной зависимости из-за невыполнения условий, предусмотренных ГОСТ 17624-2012, прил.Д.
-

Предполагая, что результаты, полученные методом разрушения образцов-цилиндров, являются наиболее достоверными, эти результаты были сопоставлены с результатами испытаний неразрушающими методами. Для возможности такого сравнения, количество результатов каждого метода было приведено к количеству обследованных зон конструкции пола. Результаты испытаний (после статистической обработки) представлены на рис.2. Коэффициенты корреляции Пирсона вычислены по формуле (2)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(R_{i,pm} - \overline{R_{pm}}) \cdot (R_{i,nm} - \overline{R_{nm}})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_{i,pm} - \overline{R_{pm}})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (R_{i,nm} - \overline{R_{nm}})^2}}, \quad (2)$$

где $R_{i,pm}$ – результат, полученный разрушающим методом, МПа,

$\overline{R_{pm}}$ – среднее значение, полученное разрушающим методом, МПа,

$R_{i,nm}$ – результат, полученный неразрушающим методом, МПа,

$\overline{R_{nm}}$ – среднее значение, полученное неразрушающим методом, МПа.

Выводы.

1. Представленные результаты экспериментальных исследований вносят свой вклад в накопление статистической информации по вопросу определения фактической прочности фибробетона в существующих конструкциях.

2. Сопоставление результатов, полученных различными методами и определение особенностей их применения, позволят выбрать оптимальные методы и их сочетания для получения достоверных данных о прочности фибробетона в возведённых конструкциях.

3. Полученные результаты подтверждают, что использование неразрушающих методов определения прочности фибробетона в возведенных конструкциях возможно. Результаты определения прочности методом отрыва со скалыванием показали высокий коэффициент корреляции

($r_{pm-oc}=0,855$) со значениями прочности при разрушении образцов-кернов. Использование ультразвукового метода возможно (с учетом более низкого коэффициента корреляции $r_{pm-уз}=0,596$) только для оценки однородности значений прочности фибробетона в исследуемой конструкции.

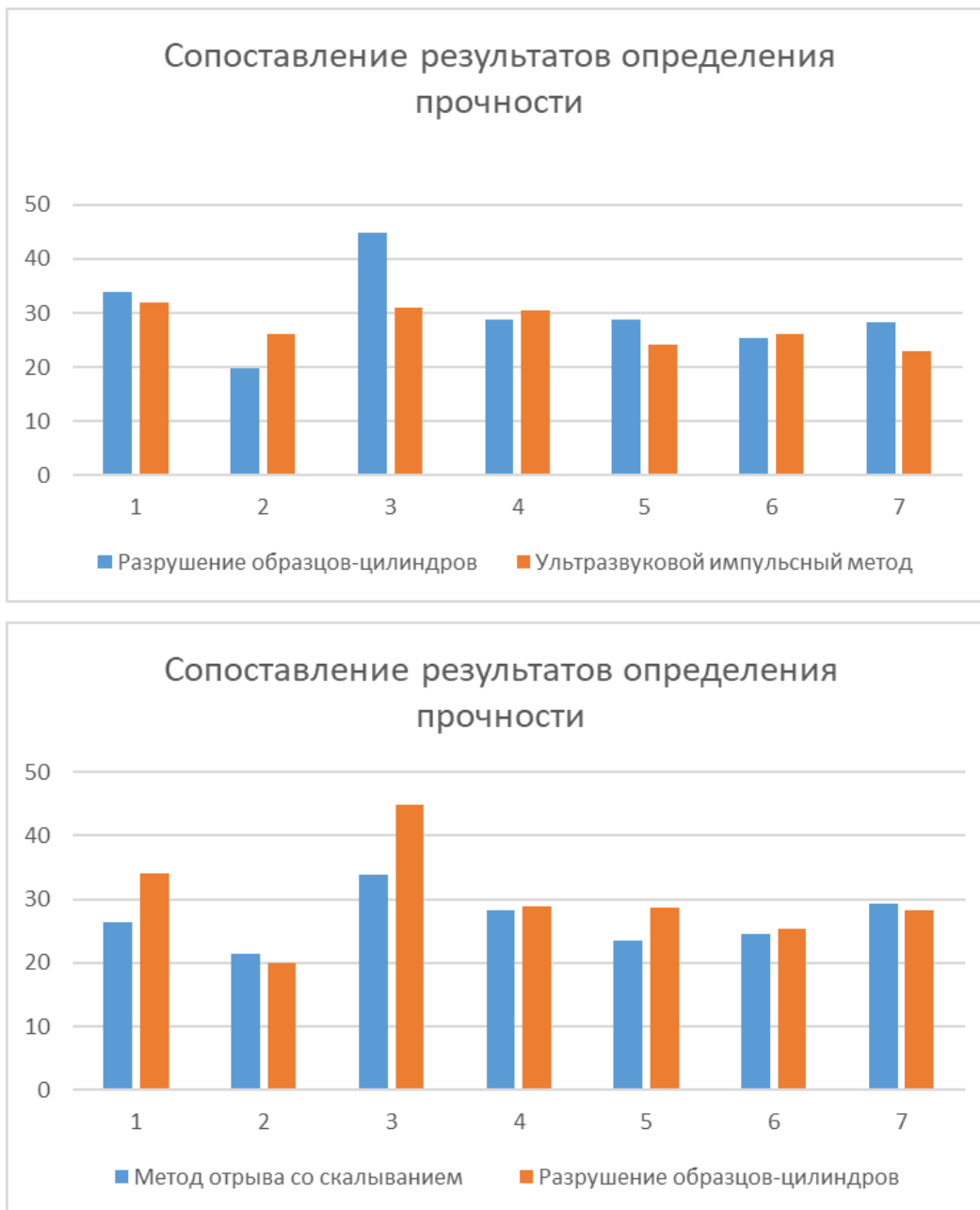


Рис. 2. – Результаты определения прочности фибробетона

Литература

1. Абрамян С.Г., Пиунов Е.М., Курбанов И.З. Краткий обзор научных публикаций: современный взгляд на проблему получения и применения фибробетона // Инженерный вестник Дона. 2018. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4840.
 2. Белоусов И.В., Шилов А.В., Меретуков З.А., Маилян Л.Д. Применение фибробетона в железобетонных конструкциях // Инженерный вестник Дона. 2017. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4421.
 3. Дорф В.А., Красновский Р.О., Капустин Д.Е., Нуриев Р.Р. Несъемная сталефибробетонная опалубка как несущий элемент железобетонных конструкций // Северный регион: наука, образование, культура. 2015. №2. С. 148-153.
 4. Зерцалов М.Г., Хотеев Е.А. Экспериментальное определение характеристик трещиностойкости фибробетона // Вестник МГСУ. 2014. №5. С.91-99.
 5. Ремнев В.В., Красновский Р.О., Шкутов Н.С. Влияние характеристик стальной фибры на технологические и физико-механические свойства фибробетонов // Вестник отделения строительных наук РААСН. 2012. Вып. 16, Т. 2. С. 103–104.
 6. Klyuev S.V., Khezhev T.A., Pukharensko Yu.V., Klyuev A.V. the fiber-reinforced concrete constructions experimental research // Materials science forum. Trans Tech Publications Ltd. ISSN: 0255-5476. 2018. Vol.931. P. 598-602 (In English)
 7. Дорф В.А., Красновский Р.О., Капустин Д.Е., Горбунов И.А., Нуриев Р.Р. Скорость распространения ультразвука в сталефибробетонах с цементно-песчаной матрицей // Бетон и железобетон. 2014. № 3. С. 5–8.
 8. Lampropoulos A., Tsioulou O., Paschalis S. Combined Non-destructive Method for Evaluating the Mechanical Performance of High Performance Fibre
-



- Reinforced Concrete (UHPFRC) // Construction and Building Materials. 2016. Vol.131, p.66-77. (In English)
9. Corbett D., Tronca G. Non-Destructive Testing of Steel Fibre Reinforced Concrete // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol.246, Iss.1, p. 012016. (In English)
10. Технический отчёт (шифр № К.739-18 х/д). НИУ МГСУ. 2018. С.82.

References

1. Abramyan S.G., Piunov E.M., Kurbanov I.Z. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4840.
2. Belousov I.V., SHilov A.V., Meretukov Z.A., Mailyan L.D. Inzhenernyj vestnik Dona. 2017. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4421.
3. Dorf V.A., Krasnovskij R.O., Kapustin D.E., Nuriev R.R. Severnyj region: nauka, obrazovanie, kul'tura. 2015. №2. P. 148-153.
4. Zercalov M.G., Hoteev E.A. Vestnik MGSU. 2014. №5. P. 91-99.
5. Remnev V.V., Krasnovskij R.O., SHkutov N.S. Vestnik otdeleniya stroitel'nyh nauk RAASN. 2012. Vyp. 16, Vol. 2. P. 103–104.
6. Klyuev S.V., Khezhev T.A., Pukharenko Yu.V., Klyuev A.V. Materials science forum. Trans Tech Publications Ltd. ISSN:0255-5476. 2018. Vol.931. P. 598-602
7. Dorf. V.A., Krasnovskij R.O., Kapustin D.E., Gorbunov I.A., Nuriev R.R. Beton i zhelezobeton. 2014. № 3. P. 5–8.
8. Lampropoulos A., Tsioulou O., Paschalis S. Combined Construction and Building Materials. 2016. Vol.131, p.66-77.
9. Corbett D., Tronca G. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol.246, Iss.1, p. 012016.
10. Tekhnicheskij otchyot (shifr№K.739-18 h/d). NIU MGSU. 2018. P.82