

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ БЕТОНА В УСЛОВИЯХ УГЛЕВОДОРОДНОГО ПОЖАРА

Представлены результаты экспериментальных исследований прочностных характеристик образцов тяжёлого бетона, торкрет-бетона и торкрет-фибробетона в температурном диапазоне от 25 до 1100 °С, необходимые для определения предела огнестойкости ограждений резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов, спроектированных с использованием рассмотренных типов бетона.

Ключевые слова: бетон, экспериментальные исследования, прочностные характеристики.

S.A. Shvyrkov, Y.I. Yuryev, D.N. Pristupyuk

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF STRENGTH CHARACTERISTICS OF VARIOUS TYPES OF CONCRETE IN CONDITION OF HYDROCARBON FIRE

The results of experimental research of the strength characteristics of samples heavy concrete, sprayed concrete and sprayed fiber concrete in the temperature range from 25 up to 1100 °C, that are necessary to determine the limit of fire resistance of fencing storage tanks for petroleum and petroleum products, designed using concrete types are represented.

Key words: concrete, experimental research, strength characteristics.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 20 декабря 2016 г.

В настоящее время при производстве работ, связанных с возведением, ремонтом несущих и ограждающих строительных конструкций зданий и сооружений, все большее применение находит **торкретирование**. По сравнению с обычным **тяжёлым бетоном (Б)**, **торкрет-бетонами (ТБ)** и **торкрет-фибробетонами (ТФБ)** характеризуются лучшим сцеплением с поверхностью обрабатываемых конструкций, повышенной механической прочностью, а также водонепроницаемостью [1]. Кроме этого, на порядок успешнее удерживая ударные нагрузки, растяжение и изгиб, ТБ и ТФБ, в отличие от Б, могут найти широкое применение и при строительстве ограждений **вертикальных стальных резервуаров (РВС)** для хранения нефти и нефтепродуктов, особенно, при необходимости обустройства ограждающих стен с волноотражающим козырьком [2]. Однако при проектировании таких строительных сооружений на основе ТБ или ТФБ необходимо учитывать специфику условий, в которых они могут оказаться в случае аварии РВС, трубопроводов или запорной арматуры, то есть необходимо знать изменения их состояния в условиях пожара пролива нефти или нефтепродуктов.

Важно отметить, что в соответствии с требованиями [2], ограждения РВС должны иметь предел огнестойкости не менее $E 150$. Однако, определение огнестойкости ограждений РВС в виде монолитных железобетонных ограждающих стен или ограждающих стен с волноотражающим козырьком, имеющих значительные геометрические размеры и конструктивные особенности (наличие волноотражающего козырька, тросовое армирование и др.), экспериментальным методом представляет собой крайне сложную задачу. Нормативными документами для подобных случаев допускается применение расчётно-аналитических методов определения времени появления признаков предельных состояний строительных конструкций по огнестойкости (в основе методов лежит решение теплотехнической и статической задач [3, 4]).

Для решения теплотехнической задачи необходимо знать теплофизические параметры бетонов, в данном случае, в условиях углеводородного режима пожара, к которым относятся удельная теплоёмкость материала, его плотность, коэффициент теплопроводности, коэффициент температуропроводности. Эти параметры для рассматриваемых видов бетонов были впервые получены авторами в результате экспериментов на высокоточном современном приборном оборудовании для термического анализа и измерений теплофизических характеристик материалов при температурах от 25 до 1100 °C [5].

Для решения статической задачи необходимы данные о физико-механических (прочностных) свойствах рассматриваемых типов бетонов в указанном диапазоне температур. Важно отметить, что проведённый анализ работ в области исследования влияния высоких температур на прочностные характеристики Б показал, что их механические свойства достаточно хорошо изучены в интервале температур от 200 до 300 °C, несколько меньше опытных данных имеется для температур от 300 до 800 °C и крайне мало данных для температур свыше 800 °C [6]. Такая ситуация обусловлена, прежде всего, редкостью проведения такого рода экспериментов ввиду их сложности и трудозатратности. Кроме этого, в литературных источниках отсутствуют данные по прочностным характеристикам ТБ и ТФБ в условиях воздействия высоких температур при пожарах проливов углеводородов.

Для решения статической задачи были проведены испытания по определению кубической и призмной прочностей образцов из рассматриваемых типов бетонов для температур от 25 до 1100 °C. Для исследований были изготовлены образцы кубической формы со стороной грани 150 мм и призмы с линейными размерами 150×150×600 мм, изготовленные из бетонов по классической технологии, методом торкретирования и торкретирования с добавлением стальной фибры диаметром 0,4 мм и длиной 20 мм. При подготовке бетонной смеси по ГОСТ 7473-2010 "Смеси бетонные. Технические условия" для всех образцов применялся цемент марки М400 и крупный заполнитель в виде гранитной крошки с максимальным размером не более 5 мм.

Перед испытаниями бетонные образцы в течение 8 ч были постепенно прогреты в горизонтальной муфельной печи до заданной температуры. Затем они остывали до комнатной температуры внутри печи в течение суток. Такие условия прогрева и остывания исключали возникновение температурных напряжений внутри исследуемых образцов, связанных с градиентом температур по глубине сечения, и позволили добиться равномерного прогрева по всему сечению образца. Далее производились испытания на прочность исследуемых образцов бетонов. Важно отметить, что возможность исследования прочностных характеристик на образцах бетонов после их остывания доказана, в частности, в работе [6], где по результатам обработки данных, полученных в ходе многочисленных экспериментов по изучению изменений физико-механических свойств Б на гранитном заполнителе, сделан вывод о практически неизменных его свойствах как в нагретом, так и в остывшем состояниях.

Эксперименты по определению призмной и кубической прочности образцов бетонов производились на аттестованном оборудовании в испытательной лаборатории ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. Так, испытания на прочность производились на лабораторном испытательном гидравлическом прессе с электрическим силоизмерением марки ИП 6013-2000-1 (рис. 1), предназначенном для статических испытаний на сжатие и проверки стандартных образцов бетонов по ГОСТ 10180-2012 [7].



Рис. 1. Общий вид прессы

Пресс состоял из нагружающего устройства (силовая рама вертикального исполнения с нижним расположением гидроцилиндра), пульта с насосной установкой и системы измерения. Для измерения нагрузки использовался датчик давления.

Нагружающий модуль пресса был оснащён двумя винтовыми вертикальными колоннами, по которым вручную перемещалась подвижная траверса. Ниже представлены основные технические характеристики пресса:

- наибольшая создаваемая нагрузка – 2000 кН;
- диапазон измерения основной/дополнительный – 40-2000/20-40 кН;
- погрешность при нагружении – $\pm 1\%$;
- рабочий ход гидравлического поршня – 100 мм;
- высота рабочего пространства – 610 мм;
- расстояние между колоннами – 530 мм;
- размеры плит сжатия – 320×320 мм;
- максимальная скорость перемещения поршня – 60 мм/мин.;
- масса испытательной машины – 3160 кг;
- тип привода и силоизмерителя – электрогидравлический, торсионный.

Призменная прочность ($R_{пр}$, МПа) для каждого образца бетона определялась в соответствии с ГОСТ 24452-80 "Бетоны. Методы определения призменной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона" по формуле:

$$R_{пр} = P / F ,$$

где P – разрушающая нагрузка, измеренная по шкале силоизмерителя пресса, кН;

F – среднее значение площади поперечного сечения образца, определяемое по его линейным размерам [7], см².

Перед началом испытаний на боковых поверхностях образцов размечались центральные линии для центрирования образцов по оси испытательного пресса. Для точного центрирования на каждый образец устанавливались стальные рамки с закрепленными в них индикаторами (тензометрами). Индикаторы устанавливались на боковых гранях образца по осевым размеченным линиям. Образец с приборами устанавливался центрально по разметке плиты пресса и проверялось совмещение начального отсчёта с делением шкалы прибора. Начальное усилие обжатия образца, которое в последующем принималось за условный нуль, не превышало 2 % от ожидаемой разрушающей нагрузки. Значение ожидаемой разрушающей нагрузки при испытании образцов устанавливалось по данным о прочности бетона, полученной по результатам определения прочности на сжатие образцов-кубов, изготовленных из одного замеса. Её значение при одинаковых сечениях кубов и призм принималось от 80 до 90 % от средней разрушающей нагрузки образцов-кубов, полученной в соответствии с [7].

Следует отметить, что особое внимание к центрированию образцов обусловлено необходимостью соблюдения условия, когда в начале испытания от условного нуля до нагрузки, равной $(40 \pm 5\%)P$, отклонения деформаций по каждой грани (образующей) не превышали 15 % их среднего арифметического значения. При несоблюдении этого требования образец разгружался, смещался относительно его центральной оси разметки плиты пресса в сторону больших деформаций, и вновь производилось его центрирование.

На рис. 2 представлены результаты экспериментального исследования изменений призмной прочности образцов рассматриваемых бетонов при их нагреве от 25 до 1100 °С. Анализ полученных данных показал, что, как и предполагалось, ТФБ обладает более высокой начальной прочностью, значение которой в 2,3 раза превышает аналогичный показатель у Б и в 1,3 раза – у ТБ. При этом ТБ также имеет высокий показатель начальной прочности, значение которого более чем в 1,7 раза превышает аналогичный показатель у Б. Таким образом, можно сделать вывод о перспективности использования метода торкретирования для строительства ограждений РВС, особенно, при необходимости обустройства ограждающих стен с волноотражающим козырьком, расчёт которых должен производиться на гидродинамические нагрузки от волны прорыва [2].

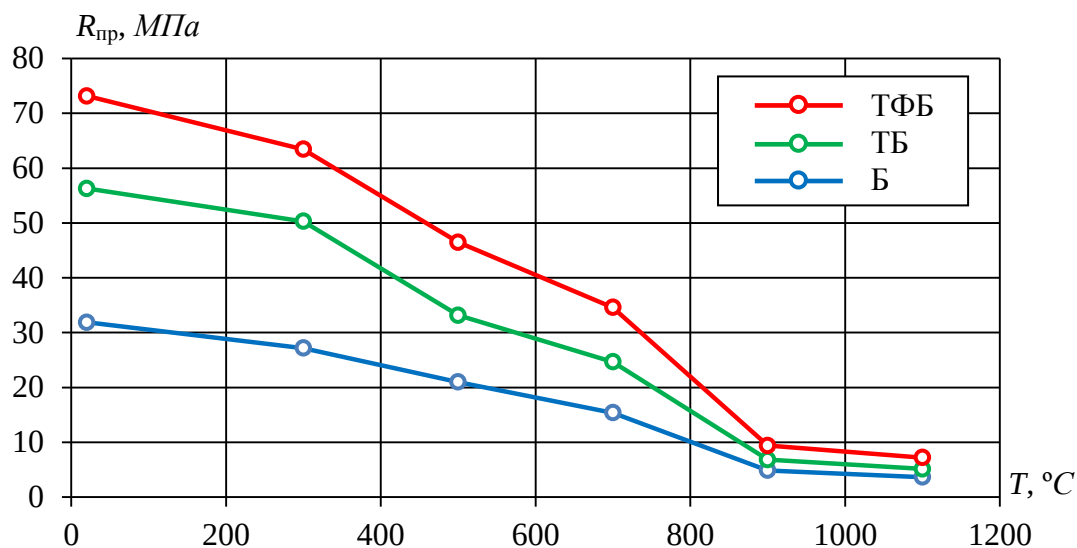


Рис. 2. Экспериментальные зависимости изменений призмной прочности в образцах бетонов от температуры

Необходимо также отметить, что в диапазоне температур от 800 до 1100 °С показатель прочности у всех рассматриваемых бетонов становится практически идентичным. Это объясняется тем, что, независимо от метода изготовления, к этому моменту бетоны начинают размягчаться, у них значительно снижается модуль упругости и увеличивается ползучесть [6]. На рис. 3 представлены графические зависимости изменений коэффициента снижения прочности бетонов (γ_{bt}) от температуры, который представляет собой отношение прочности бетона при нагреве (R_{bt}) к его начальной прочности (R_b). Для сравнения, на рис. 3 также представлены аналогичные зависимости для различных типов бетонов [6, 8].

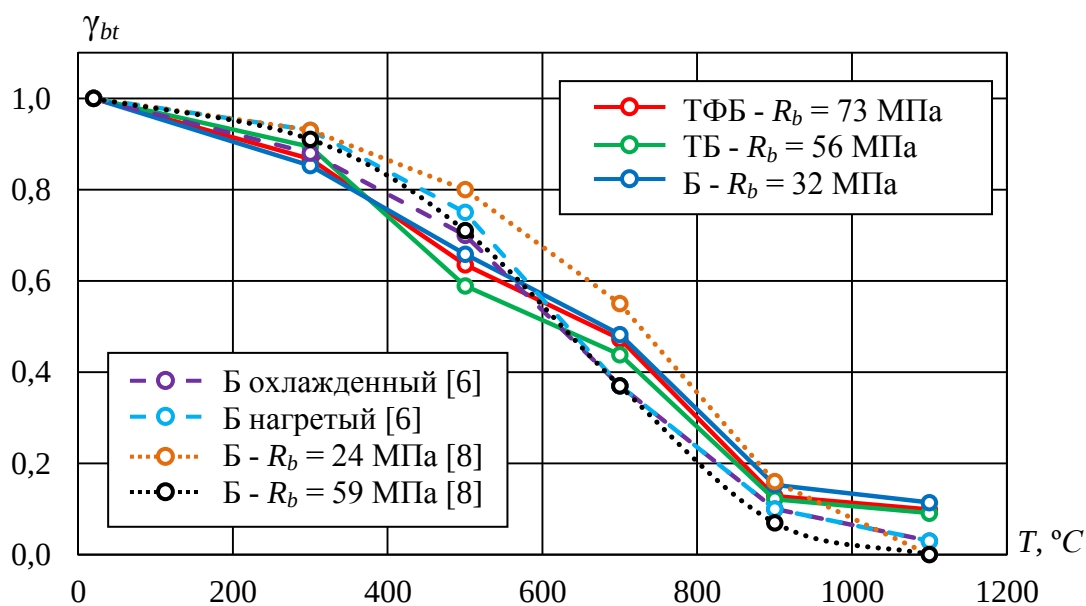


Рис. 3. Зависимости изменений коэффициента снижения прочности в образцах бетонов от температуры

Из рис. 3 видно, что все зависимости имеют схожий характер снижения прочности бетонов с ростом температуры, то есть можно говорить о достоверности полученных данных.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований получены данные по изменениям прочности на сжатие Б, ТБ и ТФБ в температурном диапазоне от 25 до 1100 °С, которые могут использоваться в инженерных расчётах для определения огнестойкости строительных конструкций, выполненных с использованием рассматриваемых видов бетонов, в том числе, и при строительстве ограждений резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов.

Литература

1. **Руководство** по применению торкрет-бетона при возведении, ремонте и восстановлении строительных конструкций зданий и сооружений (Шифр М10.1/06). М.: ОАО "ЦНИИПромзданий", 2007.
2. **ГОСТ Р 53324-2009.** Ограждения резервуаров. Требования пожарной безопасности.
3. **Федеральный закон** от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".
4. **СТО 36554501-006-2006.** Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций.
5. **Швырков С.А., Петров А.П., Назаров В.П., Юрьев Я.И.** Теплотехнические свойства бетона, торкрет-бетона и торкрет-фибробетона в условиях углеводородного пожара // Пожаровзрывобезопасность. 2016. № 12. С. 5-12.
6. **Милованов А.Ф., Соломонов В.В., Ларионов З.М.** Высокотемпературный нагрев железобетонных перекрытий при аварии на Чернобыльской АЭС. М.: Энергоатомиздат, 2000. 80 с.
7. **ГОСТ 10180-2012.** Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
8. **Яковлев А.И.** Расчёт огнестойкости строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1988. 143 с.