

ИСПЫТАНИЕ КОЛОНН ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ТОРКРЕТ-ФИБРОБЕТОНА

Бугаевский, к.т.н., В.С. Шмуклер, д.т.н., С.А., В.И. Кондращенко д.т.н.

Харьковский национальный университет городского хозяйства

имени А.Н. Бекетова

ул. Революции, 12, 61002, г. Харьков, Украина,

E-mail: shmukler@vlink.Kharkov.ua

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ул. Петровского, 25, 61002, г. Харьков, Украина,

E-mail: bugaevsky73@mail.ru

Московский государственный университет путей сообщения

ул. Образцова, 9, 127994, г. Москва, Россия,

E-mail: kondrashenko@mail.ru

Целью работы являлась отработка технологии торкретирования при изготовлении фрагментов колонн из торкрет-бетона и торкрет-фибробетона с применением ПАН-фибры. После набора проектной прочности проводились их прочностные испытания. Вся работа проводилась на базе Испытательного центра технических средств железнодорожного транспорта Московского государственного университета путей сообщения.

Образцы колонн изготовлены в соответствии с ТУ 5745-001-16216892-06 «Торкрет-бетон» методом мокрого торкретирования. Фрагмент колонны представлял собой полую колонну с внешним диаметром 400 мм, с внутренним 280 мм и высотой 1000 мм. Толщина бетона в верхней и нижней части составляла 100 мм. Было изготовлено четыре образца (два из торкрет-бетона и два из торкрет-фибробетона). Основное армирование колонны выполнено из 8 стержней диаметром 12 мм класса А500. В качестве неизвлекаемого вкладыша-пустото-образователя использовался пенополистирол. ПАН-фибра отвечает требованиям СТО 22272-007-8266421-2011 длиной 6 мм, линейной плотностью 0,33 Тэкс при расходе 0,3 % от объема торкрет-бетона.

Состав торкрет-фибробетона: цемент М300 – 750 кг, песок – 1500 кг, вода – 200 л, пластификатор С-3 – 10 л, наполнитель – 30 кг минерального порошка, ПАН-фибра – 5 кг.

Предварительно по чертежам были связаны арматурные каркасы фрагментов колонны. Внутри каркаса с помощью фиксаторов, для создания защитного слоя толщиной в 30 мм, был зафиксирован вкладыш из пенополистирола. Для предотвращения смещения каркасов, в процессе торкретирования бетонной смеси, их фиксировали арматурными стержнями между собой. По окончании работ стержни удаляли, а получившиеся пустоты в местах контакта арматуры и каркаса затирались раствором.

Приготовление бетонной смеси производилось в передвижном циклическом растворосмесителе принудительного действия типа РН-200. По окончании приготовления смесь подавалась в шнековый растворонасос типа S5 Putzmeister. Для торкретирования бетонной смеси на каркас фрагментов

колонн к растворонасосу подключался передвижной компрессор Kaeser Mobilair M43. При торкретировании расход бетонной и фибробетонной смеси составлял $0,1 \text{ м}^3/\text{мин}$, давление в системе 5-6 атм.

По окончании торкретирования с помощью ручных инструментов, были удалены излишки смеси и произведено выравнивание формы фрагментов колонн. Одновременно с торкретированием смеси были изготовлены образцы-кубы из обоих составов для контроля прочности бетона в проектном возрасте. Все образцы были помещены на хранение при температуре $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ и влажности 40-60 % на 28 суток для набора проектной прочности.

Производился расчет методом конечных элементов железобетонной пустотелой цилиндрической колонны с помощью программы «Ansys» для определения разрушающей нагрузки и сравнение ее с экспериментальной.

Для расчета железобетонной колонны применялся бетон класса В40 со следующими характеристиками:

- модуль упругости 36000 МПа;
- прочность на сжатие 55 МПа;
- коэффициент поперечных деформаций 0,2.

Для учета физической нелинейности бетона строилась диаграмма « σ - ϵ » в соответствии с требованиями СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения»

Для армирования применялась арматура класса А500 со следующими характеристиками:

- модуль упругости 200000 МПа;
- прочность на растяжение 435 МПа;
- коэффициент поперечных деформаций 0,3.

Для учета физической нелинейности стали арматуры строилась диаграмма « σ - ϵ » в соответствии с требованиями СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения».

Для моделирования нагружающей пластины применялся материал со следующими характеристиками:

- модуль упругости $200000 \cdot 10^9$ МПа;
- коэффициент поперечных деформаций 0,1.

Данный материал создавался для имитации «абсолютно» жесткого материала.

Для решения данной задачи расчетная схема колонны состояла из четверти в виду симметричности конструкции. Бетонное тело колонны задавалось объемным конечным элементом (как впрочем, и для нагружающей пластины), а моделирования арматуры применялся одномерный стержень. В последующем узлы элементов тела бетона и узлы арматурных стержней были объединены в один для обеспечения совместной работы.

Граничные условия прикладывались к симметричным плоскостям как колонны, так и нагружающего устройства. Нагрузка давалась в виде распределенной и прикладывалась к верхней плоскости нагружающей пластины. Все размеры конструкции задавались в метрах, а силы в Н. После

экспериментального определения нагрузки для контрольных колонн (примерно 100 тонн), в данной задаче прикладывалась эквивалентная распределенная нагрузка в $6,6 \cdot 10^6$ Па, которая при пересчете (радиус нагружающего устройства 0,22 м) в сосредоточенную силу дает ~ 1000 кН (рис. 1).

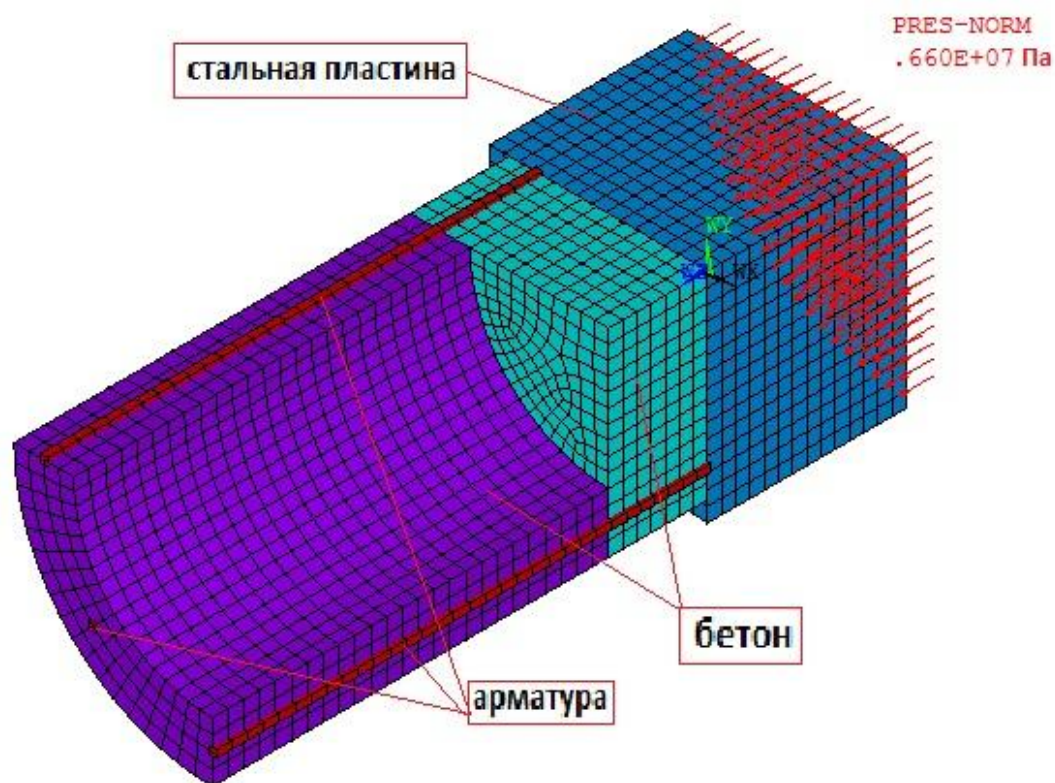


Рисунок 1 – Расчетная схема колонны

Расчет делался с учетом физической нелинейности материалов.

После проведения расчета производился анализ расчета по следующим показателям: общие деформации; главные растягивающие напряжения; напряжения по Мизесу; вертикальные деформации; линейные горизонтальные перемещения.

Анализирую результаты расчета полученных МКЭ и сопоставляя их с экспериментальными данными, можно сказать, что они сопоставимы.

Таблица 1 – Сводная ведомость результатов испытаний

Наименование параметра	Результаты испытаний	
	Эксперимент	ANSYS
Разрушающая сила, кН	1000*	1000

Вертикальные деформации, мм	0,0005	0,0004
Горизонтальные перемещения, мм	0,04**	0,02

* - для сравнения результатов бралась нагрузка в 1000 кН колонны изготовленной из торкрет-фибробетона;

** - данный результат получен следующим образом для бочкообразной формы деформации колонны: $(0,26-0,18)/2=0,04$ мм.

Совпала зона разрушения колонны при натурном и численном экспериментах, хотя более сильное разрушение бетона (растрескивание) наблюдается в нижней зоне бетонной «шапки» колонны. На рис. 2 видно разрушение бетона в зоне совпадающей с экспериментальной зоной (главные растягивающие напряжения в данной области составляют примерно 2 МПа, что характерно для бетона класса В40).



Рисунок 2 – Испытание фрагмента колонны

Из результатов испытаний видно, что применение МКЭ для расчетов конструкций позволяет получить сопоставимые данные. Отработана технология «мокрого» торкретирования позволяющая бетонировать вертикальные элементы зданий и сооружений без вибрации и применять минимальное количество инвентарных опалубок.