

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ДИСПЕРСНО- АРМИРОВАННЫХ БЕТОНОВ

PROBLEMS OF CREATING NEW DESIGNS FROM DISPERSE REINFORCED CONCRETE

В. И. МОРОЗОВ, д-р техн. наук, проф.

Э. К. ОПБУЛ, канд. техн. наук

Ю. В. ПУХАРЕНКО, д-р техн. наук, проф.

О. С. ХЕГАЙ, канд. техн. наук

Статья посвящена экспериментально-теоретическим исследованиям новых строительных конструкций, к которым предъявляются требования повышенной трещиностойкости. Приводятся оригинальные решения и некоторые результаты экспериментально-теоретических исследований корпусов высокого давления из тяжелого армоцемента, а также рассмотрены некоторые особенности поведения сталефиброжелезобетонных конструкций в условиях сложных деформаций.

The article is devoted to experimental and theoretical research of new building constructions, the design of which is required to possess an increased crack resistance. Some original solutions and results of experimental and theoretical research of high pressure vessels made of heavy armored cement are presented. The behavior of steel fiber reinforced concrete designs in conditions of complex deformation is considered.

Ключевые слова:

дисперсно-армированный железобетон, тяжелый армоцемент, сталефиброжелезобетон, корпус высокого давления, трещиностойкость

Key words:

disperse reinforced concrete, heavy armored cement, steel fiber reinforced concrete, high pressure case, crack resistance

В статье затрагиваются проблемы создания новых строительных конструкций из двух разновидностей дисперсно-армированного железобетона: дисперсно-армированного железобетона с высоким (до 20% и более) содержанием арматуры диаметром 3 ... 5 мм (рис. 1), получившего название тяжелый армоцемент (ТАЦ) [1], и железобетона, армированного регулярной арматурой и короткими отрезками тонкой стальной проволоки (рис. 2), получившего название сталефиброжелезобетон (СФЖБ) [2].



Рис. 1. Опытный образец ТАЦ со следами трещин

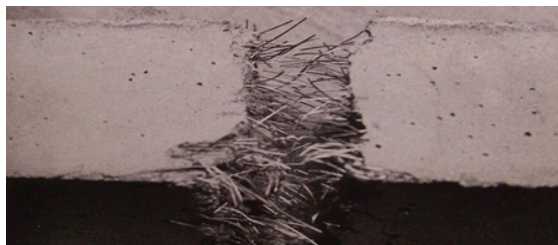


Рис. 2. Опытный образец из СФБ

Начало широких исследований обоих материалов и конструкций из них в нашей стране и за рубежом приходится на конец 60-х — 70-е годы XX века.

Появлению ТАЦ предшествовали исследования проблемы создания железобетонных корпусов высокого давления (КВД) для ядерных реакторов (ЯР), а впоследствии — аккумуляторов тепла (АТ) и автоклавов (АК) для строительных и специальных технологий.

Основная идея разрабатываемых конструкций КВД, предложенная Г.Н. Шоршневым, состояла в замене традиционного для таких конструкций (по опыту зарубежных стран) предварительно напряженного железобетона, который требует уникального и дорогостоящего оборудования, в нашей стране не производимого, на ТАЦ, который обеспечивал возможность размещения рабочей арматуры по всему бетонному сечению стенок КВД в соответствии с прочностным расчетом и исключительно высокую трещиностойкость, обусловленную спецификой поведения материала под нагрузками и воздействиями.

На рис. 3 и 4 показаны соответственно структура элемента из ТАЦ и графики зависимости «Нагрузка — относительные деформации» для образцов с разным процентом и разными диаметрами армирования при центральном растяжении (напряжения даны в мегапаскалях при ширине раскрытия трещины 0,1 мм) [3]. Фактически обнаруживалось, что ширина раскрытия трещин в ТАЦ не превышает допустимого уровня (0,2 ... 0,3 мм) даже к моменту разрыва проволок (т. е. при $\sigma_s = 600$ МПа), а при наиболее рациональном характере армирования (при $\mu = 12\%$ и $d = 3$ мм) возможно применение высокопрочной арматуры Вр-II практически с полным использованием ее прочностных свойств без предварительного напряжения: опыты с такими образцами показали, что трещины с раскрытием 0,1 мм наблюдались при напряжениях в арматуре порядка 1100 МПа.

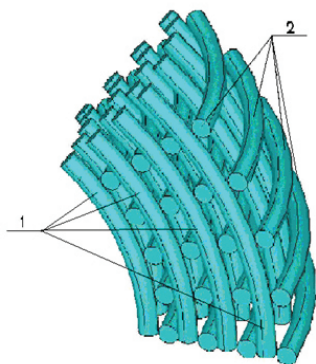


Рис. 3. Структура элемента из ТАЦ

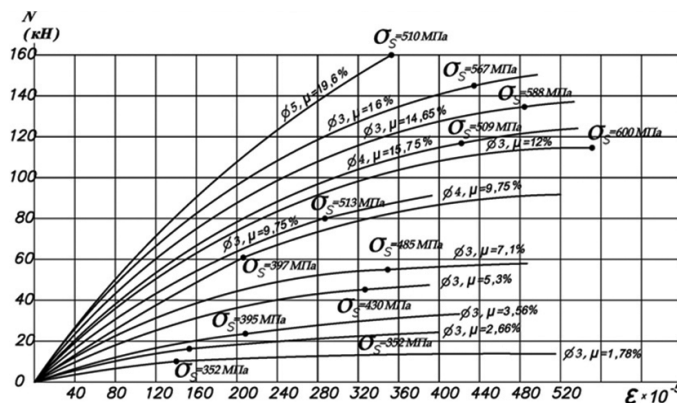


Рис. 4. График «Нагрузка — относительные деформации» для образцов с разным процентом и разными диаметрами армирования при центральном растяжении (напряжения даны в мегапаскалях при $a_{кр} = 0,1$)

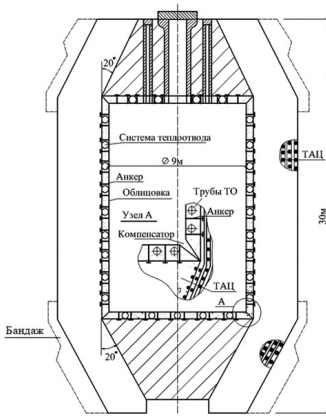


Рис. 5. Принципиальная конструкция КВД

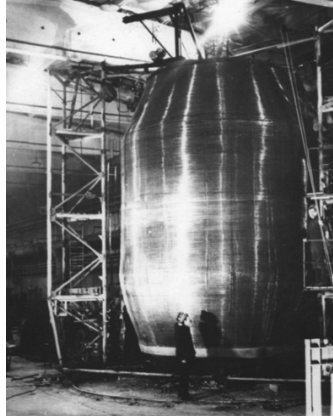


Рис. 6. Общий вид крупномасштабной модели ЯР после намотки последнего слоя арматуры перед бетонированием

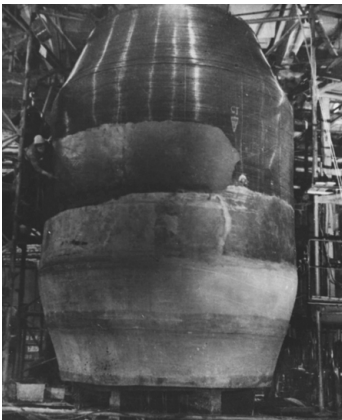


Рис. 7. Бетонирование последнего слоя



Рис. 8. Модель корпуса реактора из ТАЦ в $\frac{1}{3}$ натуральной величины после изготовления

На рис. 9 показана оригинальная конструкция полусферического КВД. В этом решении торцовые элементы (см. поз. 3 на рис. 9) выполнены не из обычного железобетона, принятого в цилиндрических конструкциях, а из сталефибробетона (СФБ) без регулярной арматуры.

С использованием аналитических и численных методов получены решения ряда задач о термонапряженном состоянии и трещиностойкости созданных конструктивных решений. Обнаружена перспективность повышения надежности КВД из ТАЦ полусферической формы по сравнению с цилиндрической (рис. 10) [4]. При этом отмечается повышенная технологичность выполнения арматурных работ, в частности, вблизи торцовых элементов.

С использованием ТАЦ были разработаны оригинальные конструктивные решения КВД ЯР, АТ и АК на основе базовой конструкции, показанной на рис. 5 [1].

На рис. 6, 7, 8 показаны стадии возведения крупномасштабной физической модели ЯР в $\frac{1}{3}$ натуральной величины.

Экспериментальные исследование и полученные при этом результаты, в том числе не имеющие аналогов в мировой практике исследования подобных сооружений, обнаружили исключительно высокую трещиностойкость, повышенный предел упругой работы конструкций и абсолютное отсутствие опасности хрупкого разрушения, что свидетельствует о высокой надежности принятых конструктивных решений.

Вместе с тем анализ полученных результатов на цилиндрических моделях КВД позволил перейти к рационализации конструктивного решения на базе замены цилиндрической формы на полусферическую.

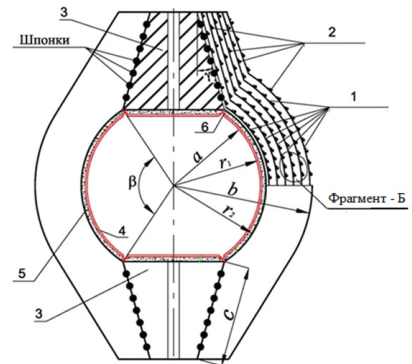


Рис. 9. Принципиальная конструктивная схема полусферического КВД (фрагмент Б – см. рис. 3): 1 – вертикальная арматура; 2 – кольцевая арматура; 3 – верхний и нижний торцовые элементы с проходками; 4 – внутренняя герметизирующая облицовка; 5 – теплоизоляция; 6 – компенсатор облицовки

В настоящее время исследуется НДС и прочность торцовых элементов из СФБ в форме толстых конических плит, опертых по боковой поверхности. Рассматривается два варианта сопряжения днищ со стенками: со шпонками и без них. В последнем случае предусматривается возможность смещение днища относительно стенок, когда торцовый элемент по сути превращается в «пробку».

Расчетная схема строится с использованием аппарата теории деформирования железобетона с трещинами в сочетании с методом предельного равновесия, развитых в трудах профессора А.А. Гвоздева [5, 6].

Учитывая сложный характер НДС днища и определенную трудность прогнозирования характера трещинообразования СФБ, был выполнен ряд исследований СФБ в сочетании с регулярным армированием (СФЖБ), а именно: в условиях чистого [7] и поперечного изгиба, в том числе для элементов круглого сечения [8], плоского [9] и косоугольного [10] внецентренного сжатия, а также изгиба с кручением [11]. При этом прорабатывался вопрос об использовании высокопрочной арматуры без предварительного напряжения. Заметим, что в настоящее время в нормативной литературе отсутствуют рекомендации по расчету и проектированию сталефибро-железобетонных конструкций в условиях сложных деформаций.

На рис. 11 приводятся некоторые результаты испытания опытных балок круглого сечения из СФЖБ в условиях поперечного изгиба.



Рис. 11. Характер трещинообразования СФЖБ элементов круглого сечения при поперечном изгибе

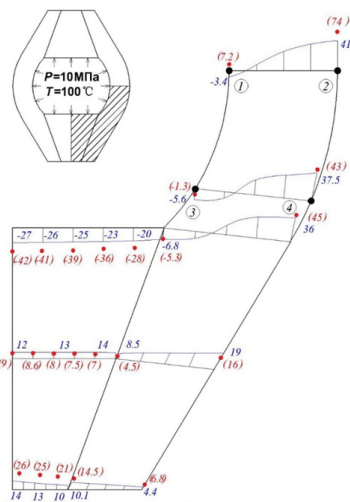


Рис. 10. Значения тангенциальных деформаций ($\epsilon_{\theta} \cdot 10^5$, отн. ед.) в нелинейных расчетах цилиндрического (в скобках) и сферического (без скобок) КВД на совместное действие давления 10 МПа и температуры 100 °С

Проведенные уже на данном этапе экспериментально-теоретические исследования расширили перспективы создания эффективных конструкций из СФЖБ для энергетического и специального назначения. Дальнейшие исследования, по мнению авторов, целесообразно направить на совершенствование конструктивно-технологических решений и развитие нормативно-технической базы и рекомендаций по проектированию и возведению таких сооружений.

Библиографический список

1. Морозов В.И. Корпуса высокого давления для энергетических, строительных и специальных технологий. — СПб.: СПбГАСУ, 2011.
2. Морозов В.И. Фиброжелезобетонные конструкции с высокопрочной арматурой / В.И. Морозов, Ю.В. Пухаренко, Э.К. Опбул, А.О. Хегай; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В. И. Морозова; — СПб., СПбГАСУ, 2017.

3. *Шоршнев Г.Н.* Физико-механические свойства тяжелого армоцемента / Г.Н. Шоршнев, В.И. Морозов, В.И. Жуков // Бетон и железобетон. – 1984. — №10. — С. 7-9.
4. *Юй Хуэй.* Напряженно-деформированное состояние корпуса сферической формы из тяжелого армоцемента при внутреннем нагреве и высоком давлении. / Х. Юй // Автореф. дис. ... канд. техн. наук; СПбГАСУ, СПб., 2013.
5. *Гвоздев А.А.* Метод предельного равновесия. — М.: Стройиздат, 1949.
6. *Гвоздев А.А.* Работа железобетона с трещинами при плоском напряженном состоянии / А.А. Гвоздев, Н.И. Карпенко // Строительная механика и расчет сооружений. — 1965. — №2. — С. 20 -23.
7. *Онбул Э.К.* Эффективное использование высокопрочной арматуры в изгибаемых элементах без предварительного напряжения / Автореф. дис. ... канд. техн. наук; СПбГАСУ, СПб., 2006.
8. *Хегай М.О.* Напряженно-деформированное состояние и прочность фиброжелезобетонных элементов круглого сечения при поперечном изгибе / Автореф. дис. ... канд. техн. наук; СПбГАСУ, СПб., 2013.
9. *Хегай А.О.* Внецентренно сжатые элементы из фибробетона, армированного высокопрочной арматурой / Автореф. дис. ... канд. техн. наук; СПбГАСУ, СПб., 2011.
10. *Евдокимова Т.С.* Экспериментальные исследования кососжимаемых железобетонных и фиброжелезобетонных элементов / Т.С. Евдокимова, В.И. Морозов // Вестник гражданский инженеров, СПбГАСУ. – СПб, 2015. – №6 (53). С. 37-41.
11. *Бахотский И.В.* Прочность фиброжелезобетонных конструкций в условиях кручения с изгибом./ Автореф. дис. ... канд. техн. наук; СПбГАСУ, СПб., 2013.

Авторы:

Валерий Иванович МОРОЗОВ, чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций СПбГАСУ, Санкт-Петербург

Valeriy MOROZOV, Correspondent Member of RAACS, Dr. Sci. Tech., Full Professor, Head of Department (Department of Engineering Constructions, SPSUACE), St. Petersburg
e-mail: gbk@spbgasu.ru

Эрес Кечил-оолович ОПБУЛ, канд. техн. наук, зав. лабораторией железобетонных конструкций СПбГАСУ, Санкт-Петербург

Ehres OPBUL, PhD in Sci. Tech., Head of Laboratory (Laboratory of Reinforced Concrete Designs, SPSUACE), St. Petersburg
e-mail: gbk@spbgasu.ru

Юрий Владимирович ПУХАРЕНКО, чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технологии строительных материалов и метрологии СПбГАСУ, Санкт-Петербург

Yuriy PUKHARENKO, Correspondent Member of RAACS, Dr. Sci. Tech., Full Professor, Head of Department (Department of Technology of Building Materials and Metrology, SPSUACE), St. Petersburg
e-mail: gbk@spbgasu.ru

Олег Сергеевич ХЕГАЙ, канд. техн. наук, доцент кафедры строительных конструкций СПбГАСУ, Санкт-Петербург

Oleg KHEGAY, PhD in Sci. Tech., Associate Professor (Chair of Engineering Constructions, SPSUACE), St. Petersburg
e-mail: gbk@spbgasu.ru