

05.23.01  
К 275

ЧЕЛЯБИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

КАРХУТ  
Игорь Иванович

УДК 621.039.538:624.012.035



ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ  
КОЛЬЦЕВЫХ ФРАГМЕНТОВ СТЕН СТАЛБЕТОННЫХ  
ЕМКОСТЕЙ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ДАВЛЕНИИ И ПОВЫШЕННОЙ  
ТЕМПЕРАТУРЕ

Специальность 05.23.01 - Строительные конструкции  
здания и сооружения

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск - 1991

Работа выполнена на кафедре "Строительные конструкции"  
Дзювского ордена Ленина политехнического института  
имени Ленинского комсомола.

**НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ**

- заслуженный деятель науки и  
техники Украинской ССР,  
доктор технических наук,  
профессор Ф.Б.Клименко

**ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ**

- заслуженный строитель РСФСР,  
доктор технических наук,  
профессор Сатул А.А.  
  
- кандидат технических наук,  
главный инженер Шматков С.Б.

**ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ**

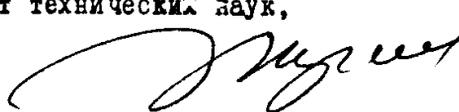
- научно-исследовательский и  
проектно-изыскательский  
институт "Атомтеплоэлектропроект"  
Рижское отделение

Защита состоится "18" окт. 1991 г. в 15 часов  
на заседании специализированного совета К.053.13.05 по  
присуждению ученой степени кандидата технических наук в  
Челябинском государственном техническом университете по  
адресу: 454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76, ауд. 244.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "   "                      1991 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
кандидат технических наук,  
доцент

 Г.В.Трегулов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Одним из важнейших направлений развития промышленности строительных конструкций является создание и применение эффективных конструкций высокой надежности, малой трудоемкости и металлоемкости.

Всем этим требованиям соответствуют сталебетонные конструкции с двойным листовым армированием, которым в последние годы уделяется особое внимание как в Советском Союзе так и за рубежом.

Актуальность работы состоит в том, что она включена в целевую программу 0.55.09.Ц.В. "Исследование напряженного состояния сталежелезобетонных аккумуляторов тепла с учетом трещинообразования". Работа входит в состав республиканской научно-технической программы Р.Н.55.08 "Материалоемкость". Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР № 859 от 29 июля 1967 г. работы в области конструкций с внешним армированием отмечены как одно из приоритетных направлений развития железобетона.

Цель работы является проведение экспериментальных и теоретических исследований прочности, деформативности и трещиностойкости сталебетонных кольцевых элементов при совместном действии перепада температур по толщине стенки и внутреннего давления для режимов эксплуатации и аварийных режимов, исследование особенностей определения температурных усилий и методики расчета по предельным состояниям с учетом температурных воздействий, исследование влияния повышенных температур на сцепление листовой арматуры периодического профиля с бетоном при сдвиге, уточнение методики его расчета для разработки конструктивных решений сталебетонных емкостей и учета основных особенностей их работы при расчете и проектировании.

Для реализации указанных целей решались следующие задачи:

- разработка методики исследования прочности и деформативности кольцевых сталебетонных элементов с двойным листовым армированием;

- разработка методики исследования сцепления листовой арматуры периодического профиля с бетоном при сдвиге и повышенной температуре;

- экспериментальное исследование прочности и деформативности кольцевых фрагментов стен сталебетонных емкостей с двойным ли-

- стовым армированием;
- экспериментальное исследование влияния повышенной температуры на свойства различных классов бетона и марок арматуры;
  - экспериментальное исследование влияния повышенных температур на сцепление листовой арматуры периодического профиля с бетоном при сдвиге с учетом различных способов анкеровки;
  - усовершенствование методики расчета сцепления листовой арматуры периодического профиля с бетоном при сдвиге и повышенной температуре;
  - уточнение методики расчета прочности и деформативности сталебетонных кольцевых элементов с двойным листовым армированием при внутреннем давлении и повышенной температуре;
  - изучение особенностей работы контактной зоны бетона и листовой арматуры кольцевых элементов;
  - разработка конструктивных решений стен сталебетонных емкостей с двойным листовым армированием, эксплуатируемых при внутреннем давлении и повышенной температуре.

Научная новизна:

- получены экспериментальные данные о характере работы и разрушения сталебетонных кольцевых элементов с двойным армированием листом гладким и периодического профиля при внутреннем давлении и повышенной температуре;
- получены экспериментальные данные о сцеплении листовой арматуры периодического профиля с бетоном при сдвиге и повышенной температуре;
- уточнена методика расчета сцепления листовой арматуры с бетоном при сдвиге и повышенной температуре с применением ЭВМ;
- определены особенности расчета кольцевых сталебетонных элементов с двойным листовым армированием при внутреннем давлении и повышенной температуре;
- получены экспериментальные данные об особенностях работы контактной зоны бетона и листовой арматуры;
- разработано конструктивное решение конструкции сталебетонного сосуда давления, в основу армирования которого впервые положены пространственные каркасы с двойной листовой арматурой периодического профиля.

Практическое значение работы.

Результаты выполненных в диссертации исследований ис-

пользованы Рижским отделением института "Теплоэлектропроект" при разработке проекта сосудов высокого давления: аккумуляторов тепла для Татарской АЭС и испарителей воды для Северодвинской ТЭЦ-2.

Применение герметизирующей облицовки сосудов из листа периодического профиля позволяет в два раза сократить количество стержневых анкеров, а в некоторых конструкциях полностью отказаться от них. Сравнение, проведенное Рижским отделением, показало, что сталебетонные сосуды с листовым армированием в 1,5-2,0 раза дешевле монолитных и многослойных стальных и надежнее в эксплуатации.

#### Апробация работы.

Основные результаты работы доложены на Всесоюзном координационном совещании /Новополоцк, 1986/, на I Всесоюзном симпозиуме /Ужгород, 1988/, на Всесоюзном научно-техническом совещании /Нарва, 1988/, трех Всесоюзных, трех республиканских и пяти институтских конференциях.

Публикации. По теме диссертации опубликовано восемь печатных работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы, содержащего 188 наименования и приложений. Работа изложена на 102 стр. машинописного текста, содержит 14 таблиц и 28 рисунков.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена анализу состояния вопроса и постановке задач исследований. Проблемой исследования и применения внешнего армирования занимаются в Советском Союзе и за рубежом более 20 лет. За это время накоплен значительный опыт применения железобетона с внешней арматурой в различных конструкциях зданий и сооружений. Значительный вклад в развитие конструкций с внешним армированием внесли советские ученые Бердичевский Г.Н., Васильев А.П., Воронков Р.В., Клименко Ф.Б., Кириллов

А.П., Николаев Д.Б. и др.

Проведенные исследования показали, что двойное полосовое армирование дает положительный эффект за счет экономии стали и бетона, уменьшения габаритов конструкции при рациональном размещении арматуры на внешних гранях сечения. Полосовая арматура периодического профиля обеспечивает совместность работы с бетоном за счет рифов /рис. 1/ на всех стадиях загрузки конструкции. Однако вопросы работы сталебетонных конструкций кольцевого сечения с двойным листовым армированием в полном объеме не изучались, хотя имеющиеся исследования подтверждают экономичность и целесообразность такого решения. Исследования кольцевых элементов с двойным внешним армированием листом периодического профиля отсутствуют.

В конструкциях емкостного типа, эксплуатирующихся при внутреннем давлении и повышенной температуре широко применяется обычное стержневое армирование. Влияние повышенных температур на свойства тяжелого бетона, сцепления стержневой арматуры с бетоном, работу конструкций емкостного типа, изучено достаточно глубоко. Бесомным вкладом в решение этих проблем являются работы Александровского С.В., Альтшулера Б.А., Барашкова А.Я., Жукова В.В., Жунусова Т.Ж., Карпенко Н.И., Кричевского А.П., Милованова А.Ф., Сатула А.А., Холмянского М.М. и др.

Установлено, что повышенные температуры значительно понижают прочностные свойства бетона, отрицательно сказываются на сцеплении стержневой арматуры с бетоном. Температурные усилия достигают максимальных значений при первом кратковременном нагреве. Длительное воздействие повышенных температур приводит к значительному перераспределению напряжений между бетоном и арматурой вследствие усадки и ползучести бетона.

Для кольцевых сталебетонных элементов с двойным армированием не исследовано влияние повышенных температур на напряженно-деформированное состояние. Не исследована прочность и деформативность кольцевых элементов с листовым армированием при внутреннем давлении и повышенной температуре.

Практически не изучено влияние повышенных температур на сцепление листовой арматуры периодического профиля с бетоном при различных способах анкеровки. Не исследованы особенности работы контактной зоны бетона при действии внутреннего давле-

ния, сдвигающих усилий и повышенных температур.

Исследование указанных проблем позволяет расширить область применения листовой арматуры, в том числе периодического профиля, использование которой позволяет значительно повысить технико-экономические показатели, эксплуатационные качества, экологическую безопасность конструкций. Поэтому проведение таких исследований является актуальной задачей.

Во второй главе описаны содержание и методика проведения экспериментальных исследований, материалы и конструкции опытных образцов.

Разработаны и изготовлены четыре серии линейных элементов и две серии кольцевых элементов с двойной листовой арматурой гладкой и периодического профиля.

Все линейные элементы имели прямоугольное сечение высотой 240 мм, длину 2,4 м.

Первая серия линейных элементов с листовой арматурой периодического профиля из бетона класса В40 состояла из 3-х образцов шириной 80 мм. Листовая арматура из стали марки С5 Г0. Поперечная арматура из стали А 8 А-І с шагом 300 мм.

Вторая серия линейных элементов с листовой арматурой периодического профиля из бетона класса В30 состояла из 4-х образцов шириной 120 мм. Листовая арматура внутренней обливки из Ст45, внешней обливки из стали марки О9Г20 гр2. Поперечная арматура из стали А 8 А-І с шагом 300 мм.

Два образца второй серий имели обвязку из пластичного материала концевых участков поперечной арматуры для исследования концентраторов напряжений сцепления при сдвиге.

Третья серия линейных элементов с листовой арматурой периодического профиля из бетона класса В45 состояла из 4-х образцов шириной 120 мм. Листовая и поперечная арматура аналогичны образцам второй серии. У двух образцов отсутствовала поперечная арматура и сцепление листовой осуществлялось только за счет рифов.

Четвертая серия линейных образцов из бетона класса В50 состояла из двух образцов с листовой гладкой арматурой и двух образцов с листовой арматурой периодического профиля шириной 120 мм. Марки листовой и поперечной арматуры идентичны маркам арматуры элементов второй серии. Элементы имели забетонированные перфорированные трубки А  $\frac{1}{2}$ , изолированные стеклотканью,

для исследования контактного давления.

Для элементов первой серии процент армирования внешней облицовки составил 2,27-3,85, внутренней облицовки 1,84-3,5.

Процент армирования внешней облицовки для элементов второй-четвертой серии составлял 2,18-2,89, внутренней облицовки 1,45-1,84.

Кольцевые элементы имели высоту 120 мм, толщину стенки 240 мм, листовую арматуру внутренней облицовки гладкую и периодического профиля из стали Ст45, листовую арматуру внешней облицовки гладкую и периодического профиля из стали О9Г20 гр.2. Поперечная арматура из стали 18 А-1 с шагом 300 мм по периметру. Диаметр колец по нейтральной оси составил 1,5 м. Процент армирования внешней облицовки для всех колец составил 2,08-2,37, внутренней облицовки 1,58-1,85. Образцы проектировались афинноподобными натурной конструкции. Размеры сечения, процент армирования, класс бетона и арматуры принимались такими, чтобы соблюдались условия подобия физических процессов для натурной конструкции и моделей.

Первая серия кольцевых элементов состояла из двух образцов с листовой гладкой арматурой и двух образцов с листовой арматурой периодического профиля из бетона класса В30...В35.

Вторая серия кольцевых элементов также состояла из двух образцов с листовой гладкой арматурой и двух образцов с листовой арматурой периодического профиля из бетона класса В20...В45.

Кольцевые элементы, предназначенные для исследований температурных усилий, имели разрез по сечению и забетонированные двугавни для создания внешнего изгибающего момента.

Испытания линейных элементов проводили на специальном стенде. Элементы рабочим пролетом 1,8 м опирали на два цилиндрических динамометра, один из которых служил катком, а второй неподвижной опорой. Стенд имел специальные захваты для создания сдвигающего и растягивающего усилий по длине балки, создававшегося гидравлическим домкратом мощностью 2000кН. Для элементов, испытывавшихся по балочной схеме, нагрузка создавалась гидравлическим домкратом мощностью 250 кН и распределительной траверсой. Опоры траверсы находились на расстоянии 0,6 м от опор элемента. Нагрузка прикладывалась ступенями, равными 0,1 от разрушающей, с выдержкой после каждого нагружения 15 мин.

Кольцевые элементы испытывались на специальном стенде, со-

стоявшем из гидравлических 4 домкратов мощностью 500 кН и набора распределительных траверс для создания возможности приложения усилий в 32 точках по внутреннему периметру кольца.

На температурные воздействия конструкция испытывалась в специальных камерах, заданный температурный режим в которых поддерживался автоматически комплексом следящих и записывающих устройств в течение до 250 часов. Мощность ТЭНов составляла 11,2 кВт.

Кратковременные силовые испытания проводились при:

- нормальной температуре;
- первом кратковременном нагреве до 240°C;
- длительном нагреве до 240°C;
- повторном нагреве до 240°C.

Деформации арматуры измерялись тензодатчиками с базой измерения 20 мм по всей длине линейных элементов и по периметру кольцевых элементов.

Деформации бетона измерялись тензодатчиками с базой 50 мм, расположенными на гранях в пять рядов по высоте. Прогнбы измеряли 3-4 индикаторами часового типа по длине линейного элемента и периметру кольцевого элемента. Деформации сдвига измеряли 10 микроиндикаторами часового типа с шагом 150 мм по длине линейного элемента и по периметру кольцевого элемента.

При температурных испытаниях деформации бетона и арматуры, сдвига измерялись микроиндикаторами часового типа на базе 200 и 400 мм, выведенными за пределы камер и имеющими экстензометры из кварцевых трубок.

Внешний изгибающий момент в кольце измерялся динамометром ДСОСМЗ-М.

Корректировка момента, замеры ширины раскрытия трещин, осуществлялись на каждом этапе загрузки.

В третьей главе представлены результаты исследований свойств бетона и арматуры при нормальной и повышенной температуре и линейных образцов на сдвиг при нормальной и повышенной температуре и различных способах анкеровки листовая арматуры периодического профиля в бетоне.

Приведена методика определения напряжений сцепления листовой арматуры периодического профиля с бетоном при сдвиге и повышенной температуре и сравнение теоретических и опытных величин.

Влияние повышенных температур на свойства бетона и арматуры в нормах оценивается коэффициентами условий работы. Опытные коэффициенты, полученные по максимальному отклонению, хорошо соответствовали нормативным /отклонение составило  $-9,7...+14,1\%$ . В то же время для прочности бетона на растяжение опытные коэффициенты превышали нормативные для длительного нагрева на  $84,2\%$ , для кратковременного на  $80\%$ .

Деформации листовой арматуры периодического профиля при сдвиге по длине зоны анкеровки зависят от наличия и вида анкеров. Гибкие анкеры являются значительными /до 6 раз/ концентраторами деформаций, искажающими картину распределения сцепления по длине зоны анкеровки. Применение пластической обмотки позволяет значительно снизить концентрацию напряжений /в 2-3 раза/, чем значительно улучшить условия работы контактной зоны бетона при сдвиге. Отсутствие анкеров не влияет на прочность контакта листовой арматуры периодического профиля с бетоном и полностью устраняет концентраторы деформаций в арматуре /рис. 2/. Аппроксимация опытных данных производилась из условия равенства работ, затраченных на деформацию листовой арматуры, т.е. из условия равенства площадей под кривыми.

Описание полученных гладких кривых производилось на основании теоремы о производной обратной функции. В первом приближении обратная функция  $x(E_s)$  описывается полной кубической параболой, коэффициенты которой определяются из известных граничных условий: критической длины зоны сцепления и максимальных деформаций арматуры.

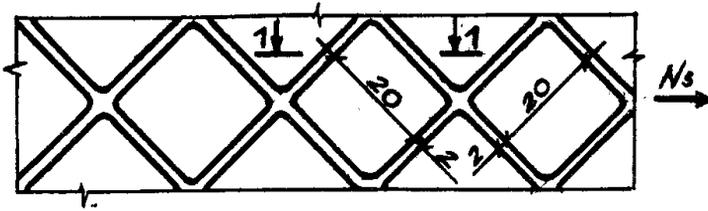
При действии повышенных температур влияние их на прочность контакта бетона и листовой арматуры учтено коэффициентами  $\gamma_{bt}$ ,  $\beta_s$  отображающими снижение  $R_B$  и  $E_s$

$$\tau_{coh t} = \frac{\gamma_{bt} \beta_s E_s A_s \cdot 10^{-5}}{\beta_s (3A E_s^2 + 2B E_s + C)} \quad (1)$$

Знак модуля в знаменателе необходим, так как функция  $x(E_s)$  монотонно убывающая.

Сравнение с опытными данными показало, что определенные для различных уровней нагрузки коэффициенты кубической параболы позволяют с достаточной точностью описать характер деформаций арматуры по длине зоны анкеровки. Расхождение составляет  $-5...+5\%$ .

Листовая арматура периодического профиля  
и особенности ее работы при сдвиге



1-1

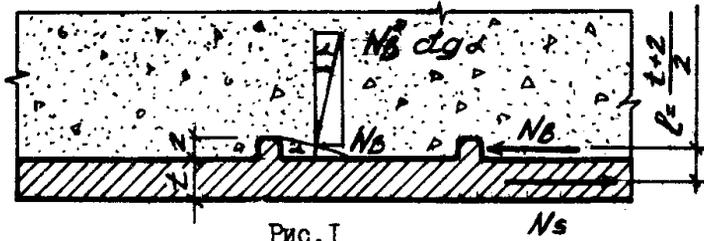
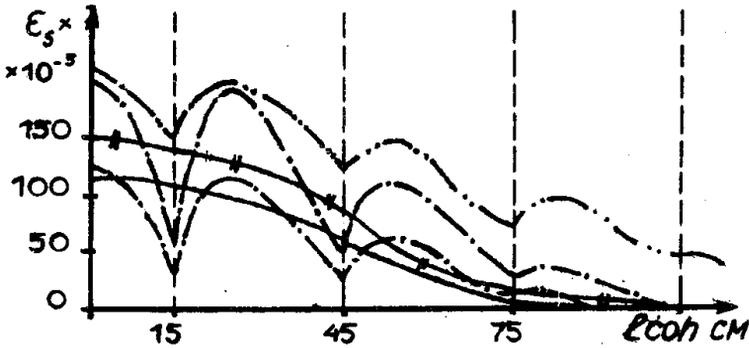


Рис. I

Деформации по длине зоны анкеровки



- опыт. без анкеров
- - - опыт. гибкие анкеры
- · - · - опыт. гибкие анкеры с обмазкой
- + — аппроксимация на ЭВМ
- - - - места постановки анкеров

Рис. 2

На линейных элементах четвертой серии исследовано влияние ширины раскрытия нормальных трещин на величину контактного давления и скорость его падения. Резкое падение давления начинается при ширине раскрытия 0,125 мм. При этом обеспечивается быстрое снижение контактного давления до атмосферного, что предотвращает хрупкое разрушение конструкции. Система эффективно работает при эксплуатационных нагрузках, при которых ширина раскрытия трещин удовлетворяет требованиям третьей категории трещиностойкости.

В четвертой главе приведены результаты исследований прочности и деформативности кольцевых элементов при термосиловых воздействиях, сравнение опытных данных с теоретическими расчетами по различным методикам, технико-экономическая эффективность сталебетонных емкостных конструкций с листовой арматурой.

Максимальные температурные моменты достигались через 18-20 часов нагрева и составили 6,1-6,3 кНм в кольцах и 6,0-6,2 кНм в линейных элементах IV серии, имевших неизгибаемую ось. Большие значения соответствуют образцам с гладкой листовой арматурой, меньшие - образцам с листовой арматурой периодического профиля. При дальнейшем нагреве наступало быстрое, в течение последующих 5-7 суток, снижение температурных моментов вследствие появления сквозных трещин и падения жесткости кольцевых элементов, развития температурной усадки и ползучести бетона. Стабилизировались моменты при значениях 1,05-1,2 кНм. Аварийный режим охлаждения привел к появлению отрицательных моментов величиной 0,8-0,86 кНм. При полном охлаждении происходило их дальнейшее уменьшение. Характер изменения температурных моментов соответствовал результатам экспериментов проведенных другими авторами.

При первом кратковременном нагреве до 240°C в кольцевых элементах с листовой гладкой арматурой возникали четыре сквозных трещины по взаимноперпендикулярным диаметрам. Кольцевые элементы с листовой арматурой периодического профиля разделялись двумя сквозными трещинами. В элементе Кп-Ц-1 после первого нагрева трещины не были обнаружены. При последующем нагреве новые трещины не образовывались.

Температурные моменты для кольцевых элементов листовой арматурой гладкой и периодического профиля определяются аналогично рекомендациям норм по формуле

$$M_t = \left(\frac{1}{2}\right)_t B \quad (2)$$

где  $\left(\frac{1}{2}\right)_t$  - температурная кривизна оси элемента;  
 $B$  - жесткость сечения.

Для элементов со сквозными трещинами температурная кривизна оси элемента и жесткость сечения определяются, исходя из особенностей их армирования. Коэффициенты  $\gamma_s$ ,  $\gamma'_s$ , учитывающие работу растреснутого бетона между трещинами, определяются как для сталебетонных элементов:

$$\gamma_s = \gamma'_s = 0,89 + 0,11 \frac{M_t - M_{tcrсг}}{M_{tраз} - M_{tcrсг}} \quad (3)$$

где  $M_t$ ,  $M_{tcrсг}$ ,  $M_{tраз}$  - момент в сечении при вычислении деформаций нейтральной оси, момент трещинообразования, разрушающий момент.

Температурные моменты, возникающие в кольцевых элементах с несимметричным, более рациональным армированием, меньше чем в кольцах с симметричным армированием за счет перемещения усилия  $N_{сгso}$  к более нагретой грани.

При использовании теории упругости для вычислений напряжений в бетоне и арматуре кольцевых элементов, радиальных перемещений, экспериментально установлено, что при кратковременном действии нагрузки и температуры перемещения можно определять как для конструкции, работающей в упругой стадии:

$$u = \frac{R}{E_s} (\sigma_\theta - \mu \sigma_z) \quad (4)$$

Перемещения кольцевых элементов с гладкой листовой арматурой превышали перемещения колец с листовой арматурой периодического профиля на 20 % при действии внутреннего давления при нормальной температуре, на 17 % при термосиловых испытаниях при первом кратковременном нагреве. Длительная выдержка при повышенных температурах в течение первых 10-12 сут привела к росту перемещений на 0,9-1,0 мм. В течение последующих 16-18 суток произошло уменьшение радиальных перемещений на 0,5-0,58 мм. Остаточные перемещения составили 0,35-0,55 мм и обусловлены необратимыми температурно-усадочными деформациями бетона.

Для случая длительного действия повышенных температур и нагрузки определение перемещений и температурных усилий следует производить, используя развитую теорию старения. При этом расхождение с опытными данными не превышает 5-10 %.

При использовании листовой арматуры периодического профиля значительно повышается момент трещиностойкости по сравнению с арматурой гладкой. При нормальной температуре повышение зафиксировано в два раза, при повышенной температуре на 20-26 %. При этом достигнута полная совместность работы листовой арматуры периодического профиля с бетоном на всех этапах загрузки.

При исследовании сцепления арматуры колец с бетоном зафиксированы деформации сдвига при образовании трещин, значения которых достигали  $8,55 \cdot 10^{-2}$  мм для арматуры периодического профиля и  $17,8 \cdot 10^{-2}$  мм для гладкой листовой арматуры. При этом сцепление листовой гладкой арматуры с бетоном полностью нарушалось. Сравнение деформаций сдвига в кольцах и линейных элементах с листовой арматурой периодического профиля показало, что максимальные напряжения сцепления в кольцах составили 0,25-0,3 от разрушающих, т.е. полностью обеспечена совместность работы арматуры и бетона.

Предельное состояние сталебетонных элементов, подвергнутых воздействию внутреннего давления и нагрева, принципиально не отличается от предельного состояния железобетонного элемента и определяется сопротивлением арматуры растяжению с учетом температурных воздействий. В сечениях со сквозными трещинами происходит почти полная релаксация температурных моментов. При обеспечении надежной совместной работы внутренней облицовки из листа периодического профиля ее можно учитывать в расчете по прочности

$$N = \gamma_{st} (R_s 'A_s' + R_s A_s) \quad (5)$$

Сравнение опытных и расчетных данных показало хорошую сходимость результатов -3...+15 %.

Использование результатов работы в проектах аккумуляторов тепла Татарской АЭС и испарителей воды для Северодвинской ТЭЦ-2 позволило в 1,5-2,0 раза снизить стоимость конструкции по сравнению с монолитными и многослойными металлическими.

Применение листа периодического профиля в качестве герметизирующей облицовки позволяет в 2 раза сократить количество стержневых анкеров. При этом повышается надежность работы облицовки, а включение ее в расчет позволяет повысить несущую способность конструкции.

### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

Разработана и исследована конструкция сталебетонных кольцевых фрагментов стен баков-аккумуляторов тепла АЭС, различных резервуаров и других емкостей, подверженных действию внутреннего давления и повышенной температуры, в основу армирования которых впервые положены пространственные каркасы в виде внешней двойной листовой стали периодического профиля.

Усовершенствован расчет прочности и деформативности сталебетонных кольцевых элементов с двойным внешним листовым армированием при температурном воздействии до  $240^{\circ}\text{C}$ , работающих на внецентренное растяжение, посредством применения определенных на основании экспериментальных исследований коэффициентов.

Разработана методика экспериментальных исследований кольцевых сталебетонных элементов с двойным листовым армированием при внутреннем давлении и повышенной температуре, методика исследований сцепления листовой арматуры с бетоном при сдвиге и повышенной температуре, которые предусматривали создание и использование автоматизированного стенда для испытания строительных конструкций на термосиловые воздействия, позволяющего задавать различные режимы и автоматически их поддерживать в течение до 250 часов.

Экспериментально определены температурные усилия и напряжения в кольцевых сталебетонных сечениях с двойным листовым армированием гладким и периодического профиля листом при внутреннем давлении и перепаде температур по толщине стенки. Расчет при кратковременном действии нагрузки можно производить по упругой стадии, используя зависимости данной работы, ориентированные на применение ЭВМ. Расхождение при сопоставлении с данными экспериментов при этом не превышает 12 %.

При длительном действии температуры необходим учет процессов, происходящих в бетоне и расчет можно производить по рекомендациям норм. При этом расхождение с экспериментом со-

ставило до 10 %.

Использование листа периодического профиля в конструкциях сталебетонных емкостей кольцевого сечения с двойным армированием, имеющего надежную анкеровку в бетоне, позволяет включить в расчет внутреннюю облицовку и использовать ее не только как герметизирующую, но и как несущую. Учет особенностей листового армирования в кольцевых сечениях стен емкостей производится при определении коэффициентов  $\gamma_s, \gamma_s'$ .

При действии повышенной температуры происходит значительное перераспределение усилий между арматурой и бетоном, учет которого посредством рационального размещения листа на внутренней грани в количестве 0,3-0,4 от площади сечения внешней облицовки позволяет повысить несущую способность кольцевого элемента при действии повышенной температуры и внутреннего давления на 18-28 % за счет включения в работу и полного использования прочностных свойств внутренней облицовки и снижения температурных моментов.

Установлено экспериментом влияние температуры до 240°C и внутреннего давления на деформативность сталебетонных кольцевых элементов с двойным листовым армированием, радиальные перемещения которых можно определять как для конструкции, работающей в упругой стадии.

Определено влияние повышенной температуры и внутреннего давления на трещиностойкость кольцевых элементов с двойным листовым армированием. Использование листа периодического профиля приводит к повышению трещиностойкости при температуре до 240°C на 29-86 % по сравнению со стержневым армированием и на 20-26 % по сравнению с гладкой листовой арматурой. При температуре 18°C трещиностойкость повышается в два раза и при этом сохраняется высокая экологическая безопасность конструкции.

Экспериментально установлено, что при расчете сталебетонных кольцевых элементов с двойным армированием листом периодического профиля на осесимметричные термосиловые воздействия проверку контактной зоны бетона на сдвиг производить не требуется.

В процессе исследований выявлено, что применение обмазки гибких анкеров позволяет снизить концентрацию напряжений в листовой арматуре и контактной зоне бетона при сдвиге в два раза по сравнению с гибкими анкерами без обмазки.

В эксперименте численно определено влияние ширины раскрытия трещин в бетоне на скорость падения контактного давления в системе перфорированных труб, размещенных в бетонном ядре для предотвращения внезапного разрушения конструкции при переходных режимах путем откола бетона и эффективно работающих при ширине раскрытия трещин, удовлетворяющей третьей категории трещиностойкости.

Для сохранения устойчивости внутренней облицовки кольцевого сталебетонного элемента с двойным армированием при аварийном режиме применительно к баку-аккумулятору тепла ASC можно дополнительно использовать компенсатор, расчет которого производится по приведенным зависимостям.

Усовершенствована методика расчета сцепления листовой арматуры периодического профиля с бетоном в линейных элементах при сдвиге и повышенной температуре с применением СВМ, позволяющая учитывать реальный характер деформирования арматуры и удовлетворительно описывающая ниспадающую ветвь графика напряжений сцепления по длине зоны анкеровки.

Установлена критическая длина зоны сцепления листовой арматуры периодического профиля с бетоном при сдвиге и повышенной температуре в линейных элементах при наличии и отсутствии гибких анкером.

Научно-исследовательская работа выполнена по техническому соглашению с Рижским отделением института "Атомтеплоэлектропроект" и Татарской ASC и реализована в проектах бака-аккумулятора тепла и других сосудов давления для атомных, тепловых электростанций и тепловых сетей.

Конструктивное решение кольцевых фрагментов стен сталебетонных емкостей, в основу которого впервые положены пространственные арматурные каркасы в виде внешней двойной листовой стали периодического профиля, позволяет уменьшить количество анкерующих средств до 50 % и расход металла на 20-26 % за счет включения в расчет внутренней облицовки.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Клименко Ф.Е., Гавриляк А.И., Кархут И.И. Изменение некоторых свойств полосовой арматуры периодического профиля при кратковременном нагреве // Вестн. Львов. политехн. ин-та. - 1988. - № 228: Резервы прогресса в архитектуре и строитель-

стве. - С.51-52.

2. Кархут И.И., Гавриляк А.И. Конструкции оболочки сталебетонного бака-аккумулятора тепла АЭС //В сб. Бетон и железобетон: ресурс- и энергосберегающие конструкции и технологии. - Киев, 1988. - С.86-89.

3. Гавриляк А.И., Лучко И.И., Кархут И.И. Деформации кольцевых сталебетонных сечений при термосиловых воздействиях //Механика и физика разрушения композитивных материалов и конструкций: Тез. докл. I Всесоюзного симпозиума. - Ужгород, 1988. - С.98-99.

4. Автоматизированный стенд для испытания железобетонных конструкций /Лучко И.И., Артым И.Т., Гавриляк А.И., Кархут И.И. //Строительные материалы и конструкции, 1989, № 2. - С.28-29.

5. Сцепление прокатной листовой арматуры периодического профиля с бетоном при сдвиге /Гавриляк А.И., Кархут И.И., Добрянский И.М., Штендера Ю.А. //Вестн. Львов. политехн. ин-та. - 1989. - № 238: Резервы прогресса в архитектуре и строительстве. - С.20-21.

6. Клименко Ф.Б., Кархут И.И. Перемещения кольцевых сталебетонных элементов при термосиловых воздействиях //Исследование работы и применение в строительстве эффективных элементов конструкций: Тез. докл. Республиканской конференции. - Ровно, 1990. - С.101.

7. Клименко Ф.Б., Гавриляк А.И., Кархут И.И. Деякі особливості роботи контактної шару бетону в сталобетонних кільцевих елементах //Вісн. Львів. політехн. ін-ту. - 1991. - № 252: Резерви прогресу в архітектурі та будівництві. - С.45-47.

8. Клименко Ф.Б., Кархут И.И. Расчет прочности сталебетонных колец при термосиловых воздействиях //Физико-механические проблемы материаловедения и новые технологии: Тез. докл. Всесоюзной конференции. - Белгород, 1991. - С.46-47.

Подп. и печати 14.05.1991. Формат 60x84<sup>1</sup>/16  
Бумага типограф. № 2. Офс. печ. Усл.печ. л 1  
Усл. крас.-отт. 1 Учетно-изд. л 0,93  
Тираж 100 экз. Зак. 81. Бесплатно

ЛПМ 290646 Львов-13, Мира, 12

Участок оперативной печати опытного завода ЛПМ  
Львов, ул. 1-го Мая, 286