

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ УСИЛЕНИИ СЖАТОЙ ЗОНЫ МЕТОДОМ НАРАЩИВАНИЯ

Ю. Г. БОЛОШЕНКО

Белорусско-Российский университет

Основной целью экспериментальных исследований работы изгибаемых железобетонных элементов, усиленных наращиванием сжатой зоны, является определение наиболее эффективного метода усиления на основе сравнения различных материалов, используемых для усиления, как традиционных (тяжелый и мелкозернистый бетоны, набетонка с дополнительным армированием сетками), так и новых (сталефибробетон, самоуплотняющийся бетон на основе напрягающего цемента), ранее не применявшихся для усиления конструкций.

При проведении экспериментальных исследований в качестве опытных образцов для исследования работы железобетонных изгибаемых элементов были приняты железобетонные балки, которые испытывали двумя сосредоточенными силами, приложенными в пролете. При армировании опытных балок в соответствии со схемой загрузки в зоне чистого изгиба не устанавливали поперечную арматуру. Для каждого вида усиления изготавливали три балки: базовую балку без усиления; балку, нагруженную до уровня 0,7–0,8 от разрушающей нагрузки и затем усиленную наращиванием сжатой зоны; балку, усиленную наращиванием сжатой зоны без предварительного нагружения.

Для определения кубиковой прочности бетона на гидравлическом прессе испытывали образцы в виде кубов с размером ребра 150 или 100 мм, для определения цилиндрической прочности – образцы в виде цилиндров диаметром 150, высотой 300 мм. Для определения прочностных и деформативных характеристик бетона в соответствии с действующими нормами испытывали на осевое сжатие бетонные образцы в виде призм с размерами поперечного сечения 150×150 мм высотой 600 мм. Для определения прочности бетона на осевое растяжение испытывали призматические образцы размерами поперечного сечения 100×100 мм и высотой 400 мм на гидравлической разрывной машине. При испытании применяют анкерно-шарнирные приспособления, состоящие из замонтированных в призмы металлических торцевых плиток с четырьмя анкерами и специальных шарнирных тяг. Применение анкерно-шарнирных тяг позволяет добиться максимально возможного совпадения геометрической и физической осей при испытании призматического образца на растяжение.

Нагружение призматических образцов до их разрушения производится с постоянной скоростью роста напряжений ($0,6 \pm 0,2$ МПа/с) ступенями, равными 10 % ожидаемой разрушающей нагрузки. Значение ожидаемой разрушающей нагрузки при испытании призм принимается равным 75–80 % от средней разрушающей нагрузки образцов-призм. На каждой ступени в течение 4–5 мин осуществляется выдержка нагрузки.

При испытании призм продольные деформации измеряли индикаторами часового типа с ценой деления 0,001 мм на базе 300 мм для призм размерами 150×150×600 мм и на базе 250 мм для призм размерами 100×100×400 мм. Индикаторы устанавливали вдоль оси по четырем граням. Деформации фиксировали сразу после приложения очередной ступени нагрузки и в конце ее выдержки, что дало возможность выделить упругие деформации и деформации быстроснаблюдающейся ползучести.

При испытании железобетонной балки образец помещали на две опоры, одна из которых шарнирно подвижна, а другая – шарнирно неподвижна. Перед проведением с точностью до 1 мм измеряли размеры поперечного сечения балки, пролет, расстояния от опор до мест приложения сосредоточенной нагрузки. После испытания уточняли рабочую высоту сечения и защитный слой бетона. Балку загружали ступенями, не превышающими 10 % от прогнозируемой разрушающей нагрузки до условного уровня эксплуатации, равного $0,8P_{\text{разр}}$. После этого величину ступени уменьшали до 5 %. После каждой ступени приложения нагрузки для возможности проявления пластических деформаций делали пяти-десятиминутную выдержку под нагрузкой. Отсчеты по приборам снимали дважды: после приложения пяти-десятиминутную выдержку под нагрузкой. Прогибы балки измеряли в середине пролета прогибомером, продольные деформации по высоте сечения – при помощи компаратора с индикатором часового типа с ценой деления 0,001 мм. Для точности измерения деформаций при помощи компаратора по высоте балки наклеивали металлические пластинки с отмеченными на них точками установки ножек компаратора таким образом, чтобы расстояние между точками было равно базе компаратора. Деформации на уровне рабочей арматуры определяли при помощи индикатора часового типа с ценой деления 0,001 мм, установленного с базой, равной базе компаратора. Напряжения в растянутой арматуре определяли тензосметром Гугенбергера. Ширину раскрытия трещин измеряли прибором МПБ-2 с ценой деления 0,05 мм.

Анализ результатов экспериментально-теоретических исследований работы и напряженно-деформированного состояния усиленных в сжатой зоне изгибаемых железобетонных элементов возможен при использовании новых современных методов расчета, в частности, упругопластической и деформационной моделей, результаты расчета по которым дают отклонение до 10 % от экспериментальных данных.

При помощи линейного корреляционного анализа зависимости «секущий модуль упругости – напряжение» ($E - \sigma$) представляется возможность оценить в аналитической форме зависимость «напряжение – деформация» ($\sigma - \epsilon$) и другие упругопластические характеристики бетона при центральном сжатии. Вычисление коэффициента корреляции и средней ошибки коэффициента корреляции позволяет оценить корректность проведения экспериментальных исследований и обработки их результатов. При условии корректно проведенного эксперимента теоретическая обработка экспериментальных данных позволяет определить такие характеристики, как кривизна, жесткость элемента, предельные и средние относительные деформации, зависимость «момент – кривизна» ($M - 1/r$), а также графическим методом определить момент трещинообразования по зависимости $M - M/a$ (a – прогиб конструкции).

УДК 624.012.45.001.5(043.2)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ САМОНАПРЯЖЕНИЯ СТАЛЕТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ЯДРОМ ИЗ БЕТОНА НА НАПРЯГАЮЩЕМ ЦЕМЕНТЕ

В. М. БОНДАРЕНКО, И. П. ПАВЛОВА

Брестский государственный технический университет

Как известно, одной из основных проблем, возникающих в процессе эксплуатации и нагружения стале-трубобетонных элементов зданий и сооружений, является обеспечение совместной работы бетонного ядра и стальной оболочки во всем диапазоне нагружения конструкции. По причине развития усадочных деформаций в бетоне (главным образом – аутогенной усадки), а также вследствие разности коэффициентов Пуассона стали и бетона ($\nu_s \approx 0,3$, $\nu_c \approx 0,2$) существует возможность отслоения бетонного ядра от стальной оболочки. Для компенсации усадки бетонного ядра и создания начального благоприятного напряженного-деформированного состояния элемента в целом предлагается использовать бетон на напрягающем цементе.

Для проведения экспериментальных исследований использованы тонкостенные стальные электросварные прямошовные трубы. Трубы изготовлены из углеродистой стали обыкновенного качества с пределом текучести 240 МПа. Внутренний диаметр труб составляет 200 мм, толщина стенки – 1; 1,5; 2 мм.

Напрягающий бетон для заполнения внутренней полости стальных оболочек изготовлен на основе портландцемента и комплексной расширяющейся добавки, механизм расширения которой осуществляться по двум вариантам:

- образование высокосульфатной формы гидросульфатоалюмината кальция;
- образование гидроксида кальция.

Для приготовления бетонной смеси в качестве мелкого заполнителя использован песок с модулем крупности $M_k = 2,3$, а в качестве крупного заполнителя – гранитный щебень фракции 5–20 мм.

Экспериментальная серия состояла из 9 образцов высотой 600 мм (по 3 «образца-близнеца» для каждой толщины стенки оболочки). Коэффициенты продольного ρ_z и поперечного ρ_θ армирования исследованных элементов соответственно равны 2; 3; 4 и 1; 1,5; 2 %.

Для измерения продольных и тангенциальных деформаций оболочек стале-трубобетонных элементов на стадии расширения напрягающего бетона использовали тензорезисторы с базой 20 мм, наклеенные в соответствующих направлениях. По высоте элементов тензорезисторы наклеивали в трех уровнях – по центру и на расстоянии 100 мм от торцов, а в поперечном направлении – через 120° . Таким образом, деформации образца измеряли с помощью 18 тензорезисторов (по 9 тензорезисторов для каждого из направлений).

По экспериментально измеренным продольным и тангенциальным деформациям оболочки стале-трубобетонного элемента с помощью обобщенного закона Гука вычисляли напряжения в оболочке по соответствующим направлениям. Затем, учитывая коэффициенты армирования, определяли напряжения в ядре элемента.

Деформации исследуемых элементов измеряли до возраста 43 суток. При этом рост деформаций всех образцов стабилизировался в возрасте около 30 суток. Дальнейшие колебания деформаций до возраста 43 суток составили $\pm 2\%$, что находится в пределах погрешности измерений.

В результате экспериментальных исследований средние тангенциальные $\sigma_{CE,\theta}$ и осевые $\sigma_{CE,z}$ (продольные) напряжения сжатия в бетоне самонапряженных стале-трубобетонных элементов достигли следующих значений: в элементах с толщиной стенки оболочки $t = 1$ мм ($\rho_\theta = 1\%$, $\rho_z = 2\%$) – $\sigma_{CE,\theta} = 4,83$ МПа, $\sigma_{CE,z} = 5,27$ МПа; $t = 1,5$ мм ($\rho_\theta = 1,5\%$, $\rho_z = 3\%$) – $\sigma_{CE,\theta} = 6,23$ МПа, $\sigma_{CE,z} = 5,97$ МПа; $t = 2$ мм ($\rho_\theta = 2\%$, $\rho_z = 4\%$) – $\sigma_{CE,\theta} = 7,57$ МПа, $\sigma_{CE,z} = 7,13$ МПа.