

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 ± 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.

Анализ экспериментально полученных значений самонапряжения бетонного ядра сталетрубобетонных элементов свидетельствует о равенстве тангенциальных и осевых напряжений (разница между средними напряжениями по двум направлениям не превышает 9 %). Таким образом, бетонное ядро самонапряженных сталетрубобетонных элементов находится в условиях равномерного объемного сжатия.

Марка напрягающего бетона, использованного для изготовления опытных образцов, по самонапряжению, определенная в условиях одноосного стандартного ограничения (1 %), но при хранении в изолированных условиях (моделирующих условия твердения бетона в трубе), составила $\sigma_{CE} = 2,0$ МПа. Определив марку, был выполнен расчёт самонапряжения бетонного ядра по мультипликативной зависимости В. В. Михайлова и С. Л. Литвера, представленной в Пособии по проектированию самонапряженных железобетонных конструкций к СНиП 2.03.01-84. Для элементов с толщиной стенки оболочки 1; 1,5; 2 мм самонапряжение бетонного ядра соответственно составило 3,3; 3,4; 3,5 МПа.

Таким образом, значения самонапряжения, рассчитанные по мультипликативной зависимости, значительно занижены в сравнении с экспериментально полученными значениями самонапряжения бетонного ядра сталетрубобетонных элементов. Следует также отметить, что ряд конструктивно-технологических коэффициентов мультипликативной зависимости трудно применимы к трубобетонным конструкциям.

Выполненные экспериментальные исследования свидетельствуют об эффективности применения комплексной расширяющейся добавки для получения самонапряженных сталетрубобетонных элементов. При этом возможно получать необходимую величину самонапряжения, варьируя количественный состав напрягающего цемента и его расход.

Применение комплексной расширяющейся добавки позволило решить основную проблему использования классических напрягающих бетонов в трубобетоне – рост собственных деформаций в условиях изоляции без доступа дополнительной влаги, необходимой для перекристаллизации моносульфата в этtringит.

УДК 691.332

СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ КАРБОНИЗАЦИИ БЕТОНА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А. А. ВАСИЛЬЕВ

Белорусский государственный университет транспорта

Карбонизация бетона является самым распространенным видом коррозии бетона. В настоящее время оценку и прогнозирование карбонизации осуществляют по изменению толщины нейтрализованного слоя бетона. Ее определяют с помощью 0,1%-ного спиртового раствора фенолфталеина (индикаторным тестом). При этом считается, что бетон в неокрашенной зоне нейтрализован и потерял свои защитные свойства по отношению к арматуре, а в окрашенной – находится в удовлетворительном состоянии. На основании лабораторных исследований принято, что карбонизация развивается фронтально с поверхности в глубь бетона. При этом поглощение углекислого газа в капиллярах некарбонизированного влажного бетона происходит в узкой зоне, глубина которой не превышает 1 мм. Также процесс карбонизации рассматривается как конечный во времени и по сечению конструкции.

В соответствии с общепринятым представлением механизм карбонизации включает в себя: диффузию CO_2 в порах и капиллярах бетона, заполненных воздухом; растворение CO_2 в жидкой фазе бетона, образование угольной кислоты, ее диссоциация на ионы водорода, бикарбонат- и карбонат-ионы; диффузию образовавшихся ионов в жидкой фазе; растворение $\text{Ca}(\text{OH})_2$, его диссоциацию и диффузию ионов Ca^{2+} и OH^- ; химическое взаимодействие углекислоты с растворенным гидратом окиси кальция с образованием бикарбоната и карбоната кальция; кристаллизацию карбоната кальция. Контролирующим процессом считается диффузия CO_2 в глубь бетона. При этом поглощение углекислого газа в капиллярах некарбонизированного влажного бетона происходит в узкой зоне, глубина которой не превышает 1 мм.

Многолетние авторские исследования эксплуатируемых железобетонных конструкций (ЖБК) по глубине полностью опровергают такие представления. Они показывают, что карбонизация бетона продолжается все время эксплуатации конструкций. Она развивается с поверхностных слоев в глубь бетона не фронтально, а по экспоненциальной зависимости (степень карбонизации бетона максимальна в поверхностных слоях). В лабораторных условиях выявлено, что на границе перехода неокрашенной зоны бетона в окрашенную показатель вытяжки поровой жидкости бетона – $\text{pH} \approx 10$, а в соответствии с исследованиями В. И. Бабушкина коррозия