

ность измерений. В этих условиях не всегда удастся применить методику высокоточного нивелирования, предписываемую инструкцией. В частности, соблюдать длину визирного луча, равного 50 м, в условиях строительной площадки бывает, как правило, невозможно. Специфика измерений состоит и в том, что необходимо определять осадки точек сооружения, расположенных на расстоянии от 5 до 25 м друг от друга. Именно поэтому при наблюдениях за осадками применяют нивелирование короткими лучами. Это обстоятельство, казалось бы, должно привести к увеличению средней квадратической ошибки в превышениях на 1 км хода, однако этого не происходит, так как при нивелировании короткими лучами ослабляется влияние ошибок от внешних условий (рефракция, конвекция и др.), а также повышается точность отсчета по рейке.

Общая схема определения осадок и деформаций сооружений с помощью метода геометрического нивелирования состоит из следующих этапов:

1 Создание геодезической сети, состоящей из точек, закрепленных на сооружении (осадочных марок), и исходных реперов высотой основы (одной или нескольких). При создании геодезической сети осадочные марки закрепляются обычно в местах, наиболее чувствительных к неравномерным осадкам и деформациям. Что касается размещения исходных высотных реперов, то здесь нет единых рекомендаций. Конечно, чем ближе репер к сооружению, тем выше точность определения осадки, однако и выше вероятность перемещения исходного репера. Поэтому здесь важно найти оптимальное решение. В среднем репер не должен быть удален от сооружения далее 0,5 км, а обычно это удаление составляет 100–200 м.

2 Периодическое измерение превышений между точками сети методом геометрического нивелирования. Между точками геодезической сети прокладываются ходы геометрического нивелирования, причем длина визирного луча при измерении превышений между осадочными марками составляет в среднем 10–15 м, а при передаче отметок от исходных реперов, как отмечено выше, – в среднем 30 м. Нивелирование производится периодически (по циклам). Расхождение между величиной одноименных превышений в разных циклах и является измерительной информацией о происходящих осадках (если, конечно, это расхождение выходит за пределы ошибок измерений).

3 Оптимальное оценивание параметров осадок и деформаций сооружений по результатам измерений. Задачей третьего этапа является определение величин осадок и деформаций сооружений и их оценке точности по результатам геодезических измерений. Поскольку результаты измерений всегда содержат случайные ошибки, то и величины осадок будут являться случайными величинами, которые называют оценками параметров осадок. Основным методом для получения оптимальных оценок является способ наименьших квадратов, который позволяет получить минимальные ошибки при оценивании осадок сооружений.

Таким образом, метод геометрического нивелирования является наиболее простым и надежным способом для наблюдений за осадками и деформациями, который в сочетании со способом наименьших квадратов позволяет получить наиболее точные результаты происходящих осадок сооружений.

УДК 624.016.001.24

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ОБЩЕЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ТРУБОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ЯДРОМ ИЗ БЕТОНА НА НАПРЯГАЮЩЕМ ЦЕМЕНТЕ

В. М. БОНДАРЕНКО

Брестский государственный технический университет

В последние годы широкое применение в строительстве получили конструкции, представляющие собой стальные полые элементы (профили) квадратного, прямоугольного и круглого сечений, заполненные бетоном. В отечественной литературе такие элементы принято определять как "стале-трубобетонные" или просто "трубобетонные", а в зарубежной практике подобные конструкции носят название "concrete-filled steel tubes" (CFST).

Отечественные и зарубежные исследователи в области сталетрубобетона выделяют целый ряд преимуществ таких конструкций. Вместе с тем одной из основных проблем, возникающих в процессе нагружения сталетрубобетонных элементов, является обеспечение совместной работы бетонного ядра и стальной оболочки. Отслоение бетонного ядра от стальной оболочки может происходить по двум причинам:

- при развитии усадочных деформаций в бетоне (главным образом – аутогенной усадки), что создаёт опасность отслоения бетонного ядра от стальной оболочки еще до приложения эксплуатационных нагрузок;

- при работе элемента во второй стадии напряжённо-деформированного состояния (в соответствии с классификацией, изложенной в монографии Л. К. Лукши), соответствующей уровню эксплуатационных нагрузок.

Существующие предложения по обеспечению совместности поперечных деформаций при нагружении композитного сталетрубобетонного элемента либо недостаточно разработаны для практической реализации, либо трудновыполнимы в построечных условиях. Эффективным в этом случае является, на наш взгляд, создание предварительного напряжения в стальной трубе при заполнении внутренней полости напрягающим бетоном. В этом случае изменяется кинетика взаимодействия ядра со стальной оболочкой при нагружении, что требует соответствующего учета начального давления при расчёте прочности таких элементов и проведения комплекса экспериментальных исследований.

Напрягающие бетоны изготавливают на основе портландцемента и расширяющихся добавок. Среди разнообразия применяемых добавок особый интерес представляют алюминатно-сульфатные и алюмооксидные добавки, а также их комбинации, свойства которых определяются условиями гидратации и твердения алюминатов и сульфоалюминатов кальция, а также их соединений с силикатами и сульфатами.

Основной проблемой использования напрягающих бетонов в трубобетоне является рост собственных деформаций в условиях изоляции без доступа дополнительной влаги, необходимой для перекристаллизации моносulfата в эттрингит. Одним из способов решения данной проблемы является использование комплексной добавки, механизм расширения которой будет осуществляться по двум вариантам:

- образование высокосulfатной формы гидросульфалюмината кальция;
- образование гидроксида кальция.

Применение добавок такого типа позволит достигать определенной величины самонапряжения в изолированном состоянии без дополнительного увлажнения. Величина самонапряжения сказывается на величине трубобетонного эффекта. Поэтому она должна быть оценена и адекватно учтена при расчете прочности сталетрубобетонного элемента.

Величину начального самонапряжения в бетонном ядре из напрягающего бетона в первом приближении можно определить, пользуясь расчетными формулами, приведенными в монографии В. В. Тура. При этом расчетное самонапряжение напрягающего бетона необходимо определять в изолированных условиях, моделирующих условия твердения бетона в трубе, а также учитывать то, что бетон ядра находится в условиях объемного ограничения.

Для вывода основных зависимостей, рекомендуемых для расчета прочности самонапряженных сталебетонных колонн круглого сечения, используются в основном предпосылки, принимаемые при решении задач по определению прочности сталетрубобетонных элементов на основе традиционных бетонов. Однако в предельном состоянии учитывается распор ядра, возникающий и от дилатационного эффекта, и от самонапряжения бетона.

На основании указанных предпосылок формируется математическая модель предельного состояния сталебетонного элемента на основе саморасширяющихся бетонов, решение которой позволяет определить взаимодействие стальной трубы с бетонным ядром в предельном состоянии в форме бокового давления на границе раздела между бетоном и сталью. С учетом полученного бокового давления определяется предельное осевое напряжение в оболочке (трубе), находящейся в трехосном напряженном состоянии, и затем – предельное усилие, воспринимаемое негибким сталетрубобетонным элементом.

Следует также отметить, что при использовании стандартных электросварных труб в качестве оболочек трубобетонных элементов получаем большие значения коэффициентов продольного и

поперечного армирования. При этом снижается эффективность трубобетона, которая падает при увеличении толщины стенки стальной оболочки, а высокая жёсткость оболочки может привести к доуплотнению структуры твердеющего напрягающего бетона и снижению итоговых величин самонапряжения (вплоть до нуля).

В связи с этим для проведения экспериментальных исследований применяются стальные тонкостенные электросварные прямошовные трубы, изготовленные на ОАО «Брестсельмаш». Трубы имеют внутренний диаметр 200 мм и толщины стенок 1; 1,5; 2 мм. При этом коэффициент продольного армирования принимает значения 2; 3; 4 %, а поперечного – 1; 1,5; 2 % соответственно.

Исследование сталетрубобетонных элементов с ядром из бетона на напрягающем цементе выполняется в рамках Государственной программы ориентированных фундаментальных исследований на 2006–2010 годы, а также продолжит комплекс исследований по проблеме применения бетонов на напрягающем цементе, проводимых в БрГТУ (БИСИ, БрПИ) с 1972 года.

УДК 624.012.45/46

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ МЕТОД ОБСЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ

А. А. ВАСИЛЬЕВ

Белорусский государственный университет транспорта

Одним из критериев надежности зданий и сооружений является долговечность составляющих их конструкций. Для эксплуатируемых зданий она определяется на основе оценки технического состояния конструкций. Существующие на сегодняшний день методы разрушающего и неразрушающего контроля позволяют оценивать отдельные физические и физико-механические характеристики материала конструкций и техническое состояние конструкций в целом на момент обследования. При этом они не дают возможность прогнозировать изменение характеристик материалов и состояния конструкций с течением времени в зависимости от условий эксплуатации. Кроме того, существующие методы не позволяют оценить качественные и количественные структурные изменения бетона, происходящие в нем под воздействием среды эксплуатации, и их влияние на долговечность конструкций.

Все железобетонные конструкции (ЖБК), эксплуатирующиеся в воздушной среде, подвержены карбонизации. При карбонизации изменяется содержание карбонатной составляющей (КС), по мере накопления которой происходят структурные изменения цементного камня, приводящие к деградации бетона и снижению его защитных свойств по отношению к арматуре, способствуя развитию коррозии арматуры с последующим разрушением защитного слоя бетона. Дальнейшее развитие этих процессов приводит к потере конструкцией несущей способности и возникновению аварийной ситуации.

В настоящее время оценку и прогнозирование карбонизации в ЖБК, эксплуатирующихся в воздушной среде, 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.

Многолетние авторские исследования по сечению ЖБК показывают, что карбонизация бетона продолжается в течение всего срока эксплуатации конструкций. При этом значения толщины слоя бетона, в которой он потерял защитные свойства по отношению к арматуре, определенные индикаторным тестом и физико-химическим методом (методами pH- и карбометрии), отличаются в несколько раз, а коррозионные процессы различной интенсивности в арматуре присутствуют в зоне, в которой по индикаторному тесту бетон сохраняет свои защитные свойства по отношению к арматуре. Кроме того, в лабораторных условиях выявлено, что на границе перехода неокрашенной зоны бетона в окрашенную $pH = 10$, что не позволяет детально судить об изменении pH поровой влаги цементного камня в нейтрализованной зоне и за ее пределами.