

дамента сооружения и отмечают его риск. Затем аналогично находят центр низа дымовой трубы и рулеткой измеряют линейную величину крена между центрами верха и низа сооружения. Потом переставляют теодолит в перпендикулярное положение и определяют линейную величину крена сооружения со второй стоянки. Полную линейную и угловую величины кренов определяют по формулам (1) и (2).

Неравномерные осадки углов зданий могут вызвать дополнительные напряжения в несущих конструкциях, в результате чего появляются перекосы, приводящие к изменению геометрических форм оконных проемов и смещению надфундаментных строений (колон, ригелей, панелей и других элементов). При этом могут возникать деформации изгиба фундамента сооружения ригелей и панелей перекрытий.

Различают два вида изгиба. При изгибе выпуклостью вверх стрела изгиба принимается отрицательной, а сам изгиб называется выгибом. При изгибе выпуклостью вниз стрела изгиба принимается положительной, а сам изгиб называется прогибом.

Для определения величины изгиба используется способ геометрического нивелирования, при котором вдоль продольной и поперечной оси фундамента, ригеля или панели нивелиром снимают отсчеты по рейке, установленной в трех точках конструкции и по полученным результатам определяют высоты точек на концах фундамента, ригеля или панели и в их середине. Величина относительного изгиба

$$f_{\text{отн}} = \frac{2H_3 - H_1 + H_2}{L_1 + L_2},$$

где  $H_1$  и  $H_2$  – высота точек на концах конструкции;  $H_3$  – высота точки в середине фундамента;  $L_1$  и  $L_2$  – расстояние от граней фундамента до точки изгиба в ее середине.

При определении величины изгиба на фундаменте нивелирную рейку устанавливают нулем вниз, а при определении изгиба ригелей и панелей рейку приставляют к низу ригеля или панели нулем вверх. Для определения деформации наклона колон в продольном и поперечном направлениях можно использовать способ вертикального проектирования теодолитом верха оси колоны на ее низ, так же как и для определения крена сооружений прямоугольной формы.

Определение деформаций прямолинейности стеновых панелей сооружений можно использовать способ бокового нивелирования теодолитом, при котором на концах стены устанавливается базисное расстояние до визирной оси зрительной трубы, а затем вдоль стены приставляется рейка или рулетка нулевым значением и снимаются отсчеты, которые позволяют определить величины деформации прямолинейности стены в точках стеновой панели.

Данные геодезические способы были использованы авторами при определении кренов дымовых труб и других элементов деформации на ряде объектов и предприятий Гомельской области.

#### Список литературы

1 Пискунов, М. Е. Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений / М. Е. Пискунов. – М. : Недра, 1980. – 248 с.

УДК 539.4.015.2

## ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ НА ЕЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

*В. О. БОНДАРЕНКО, А. О. ШИМАНОВСКИЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В процессе эксплуатации строительные конструкции подвергаются действию различных факторов окружающей среды, ведущих к коррозионному и усталостному повреждению. Такое повреждение ведет к изменению физико-механических характеристик поверхностного слоя элементов конструкций, которое сопровождается снижением их жесткости и увеличением напряжений, соответствующей расчетной нагрузке, и в конечном счете становится причиной снижения долго-

вечности. В железобетонных конструкциях, кроме того, при значительной коррозии бетона он уже не может предотвращать коррозию арматуры, что становится причиной резкого снижения прочности элементов. Совместное действие физических нагрузок и коррозии защитного слоя бетона может приводить к значительному снижению проектных сроков функционирования сооружений и иных эксплуатационных характеристик. Поэтому анализ влияния коррозионного износа на прочность и жесткость строительных конструкций представляет собой актуальную задачу.

Существует значительное число публикаций, посвященных анализу влияния на долговечность железобетонных строительных конструкций различных химических веществ. Наибольшее внимание в них уделено карбонизации [1] и хлоридной коррозии [2]. Методика оценки остаточного ресурса конструкций, подверженных коррозионному повреждению, представлена в работе [3]. В качестве одного из этапов она предполагает оценку напряженно-деформированного состояния элементов конструкций с учетом коррозионных повреждений. В статье [4] представлен обзор исследований, связанных с оценкой прочности подверженных коррозии железобетонных конструкций путем их конечноэлементного моделирования. Целью представленной работы стал анализ влияния времени действия факторов окружающей среды на изменение напряженно-деформированного состояния железобетонной балки, концы которой опираются на горизонтальную поверхность.

В качестве объекта исследования принята балка длиной 2 м с прямоугольным поперечным сечением 125×250 мм, армирование которой осуществлялось тремя стальными стержнями диаметром 10 мм и поперечными хомутами диаметром 6 мм и шагом 100 мм. Толщина защитного слоя бетона принята равной 20 мм. Изменение модуля упругости бетона в зависимости от расстояния до фронта коррозии принималось в соответствии с зависимостями, представленными в статье [5]. Коэффициент Пуассона бетона принят равным 0,2. Для арматурных стержней считалось, что модуль упругости составляет 210 ГПа, коэффициент Пуассона – 0,3.

Принято, что коррозия происходит равномерно, а ее скорость рассчитывается по формуле

$$\alpha = \frac{S_p - S_\phi}{t},$$

где  $S_p$  – расчетная (начальная) толщина стенки элемента, мм;  $S_\phi$  – фактическая (текущая) толщина стенки, мм;  $\alpha$  – скорость коррозии, мм/год.

Разработана конечно-элементная модель рассматриваемой балки в среде конечно-элементного комплекса ANSYS Mechanical. Для учета особенностей деформирования бетона использован элемент SOLID65. Общее число элементов модели составило около 30000.

Получены распределения напряжений и деформаций в бетонной матрице и арматуре. Расчеты показали, что происходящие с течением времени процессы деградации бетона, которые проявляются в уменьшении модуля упругости бетона, не приводят к существенному изменению картины распределения напряжений. Наибольшие эквивалентные напряжения возникают в местах опирания балки на основание, где должны располагаться закладные детали. Максимальные напряжения в стержнях продольной арматуры оказались большими напряжений в бетоне приблизительно в пять раз.

Результаты расчетов напряжений показали, что увеличение срока эксплуатации балки, а вместе с ним и толщины корродирующего материала, ведет к увеличению неравномерности напряжений в области контакта арматурных стержней и бетонной матрицы, что ведет к образованию трещин.

Анализ деформаций балки показал, что их градиент растет при увеличении глубины проникновения коррозии. Значение деформации, при котором коррозия достигает арматурных стержней, при необходимости может быть легко зафиксировано приборами. Таким образом, измеряя деформации, можно зафиксировать момент, при котором еще не началось образование крупных трещин, но коррозия уже достигает предельно допустимые значения.

В результате расчётов было выявлено, что при условном минимальном пятидесятилетнем сроке службы несущих железобетонных конструкций из бетона с классом по прочности  $C_{12/15} - C_{25/30}$  снижение срока службы конструкций при постоянном воздействии агрессивной окружающей среды составляет 15–20 %.

Таким образом, полученные результаты позволяют установить остаточный срок службы строительных конструкций, спрогнозировать несущую способность строительных конструкций с течением времени при влиянии карбонизации и хлоридной коррозии на физико-механические и химические свойства бетона, а также разработать своевременные меры по предотвращению разрушения конструкции.

## Список литературы

- 1 **Васильев, А. А.** Оценка карбонизации и развития ее параметров во времени по сечению бетонов для различных эксплуатационных условий / А. А. Васильев // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F, Строительство. Прикладные науки. – 2021. – № 8. – С. 43–52.
- 2 **Shimanovsky, A.** Influence of chloride corrosion on the stress-strain state of the reinforced concrete plate on an elastic base / A. Shimanovsky, S. Yu. Gridnev, I. Ovchinnikov // Rural development 2017 : Bioeconomy Challenges. – 2017. – P. 417–422.
- 3 Analytical method for the evaluation of the residual service life of prestressed concrete beams subjected to corrosion deterioration / L. Franceschini [et al.] // Structural Concrete. – 2022. – Vol. 23, is. 1. – P. 121–137.
- 4 **Sumangala, K.** Finite element analysis of RC beam subjected to corrosion – A review / K. Sumangala, C. M. Flora Dani // International Journal of Research in Engineering and Science. – 2021. – Vol. 9, is. 6. – P. 59–63.
- 5 **Бондаренко, В. О.** Анализ деформирования армированной балки с учетом коррозии защитного слоя / В. О. Бондаренко, А. О. Шимановский // Механика. Исследования и инновации. – 2022. – Вып. 15. – С. 18–24.

УДК 624.012.45/.46

## ОСОБЕННОСТИ ОБСЛЕДОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ХРАМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

*В. А. ДОЛЯ, А. А. ВАСИЛЬЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Здания и сооружения богослужебного и вспомогательного назначения с учетом специфичности назначения и индивидуальности, особенностей применяемых строительных материалов и конструктивных решений значительно отличаются от зданий и сооружений, массово возводимых по типовым проектам на основе использования типовых конструкций и наиболее распространенных материалов [1].

Обследование зданий и сооружений храмовых комплексов имеет ряд особенностей, значительно усложняющих как выполнение работ по освидетельствованию конструкций зданий и сооружений, так и оценку их технического состояния [2, 3].

Основные из них:

– проектная документация на строительство, ремонт (реконструкцию) обычно отсутствует. Это значительно ухудшает сбор данных о материалах, конструкциях, их особенностях и изменении во времени физико-химических характеристик, тем более, что опрос старожилов дает в лучшем случае «приблизительную картину», что практически не может быть использовано в объективной оценке технического состояния конструкций;

– в процессе длительной эксплуатации конструкции зданий (сооружений) подвергались воздействию различных по степени агрессивности факторов. Однако определить (оценить) эти воздействия (их значительную часть) и их влияние на техническое состояние конструкций и зданий (сооружений) и его изменение во времени в целом зачастую можно только косвенно, по характерным повреждениям (их влиянию) конструкций, что представляет собой сложную (часто – очень) задачу и требует определенной методики (иногда разрабатываемой «на месте») изыскательских работ;

– особенности применяемых конструктивных решений и материалов вызывают возникновение и развитие в агрессивных (негативных) условиях специфических повреждений, что вызывает необходимость их дополнительного учета;

– архитектурные особенности значительного количества зданий храмов не позволяют качественно обследовать их конструкции вследствие ограниченного доступа либо его полного отсутствия);

– в эксплуатируемых зданиях очень сложно выполнять работы по вскрытию конструкций, что значительно повышает роль использования приборов и методов неразрушающего контроля, в том числе разработанных специально на базе самых современных научных исследований;

– строительство значительной части новых зданий и сооружений богослужебного назначения, особенно в малых городах, выполняется «хозспособом», да еще и по архитектурным! проектам, с применением не рекомендованных (по расчету, по существующим нормам и т. д.) материалов и конструкций, а доступных;

– значительная часть храмовых зданий, требующих восстановления, находится в аварийно опасном состоянии, соответственно, многие конструкции находятся в предаварийном техническом состоя-