

СТРУКТУРНО-РАСЧЕТНЫЕ ПОДХОДЫ ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ МОНОЛИТНЫХ ЗДАНИЙ

Суханов В.Г., д.т.н., профессор,
Выровой В.Н., д.т.н., профессор,
Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Лысенко Е.В., инженер,
Научно-производственный центр «Экострой»
ecostroy_odessa@ukr.net

Аннотация. Оценка технического состояния монолитных железобетонных конструкций, выполняемая по традиционным, нормативно-обоснованным методикам, может быть качественно дополнена использованием предлагаемого структурно-расчетного подхода. Суть такого подхода сводится к анализу поврежденности, которая характеризует активные элементы структуры конструкции – технологические трещины (ТТ) и внутренние поверхности раздела (ВПР), прямо связанные с их внутренней и внешней безопасностью. Дополнительные расчеты деформаций, выполняемые на основании феноменологического подхода, позволяют количественно оценить возможность появления «видимых» трещин и влияние арматуры на формирование структуры конструкции.

Ключевые слова: конструкции, обследование, активные элементы структуры, поврежденность, растягивающие напряжения.

СТРУКТУРНО-РОЗРАХУНКОВІ ПІДХОДИ ПРИ ОЦІНЮВАННІ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ МОНОЛІТНИХ БУДІВЕЛЬ

Суханов В.Г., д.т.н., професор,
Вировой В.М., д.т.н., професор,
Одеська державна академія будівництва і архітектури

Лисенко Є.В., інженер,
Науково-виробничий центр «Екострой»
ecostroy_odessa@ukr.net

Анотація. Оцінювання технічного стану монолітних залізобетонних конструкцій, що виконується по традиційних, нормативно-обґрунтованих методиках, може бути якісно доповнено використанням пропонованого структурно-розрахункового підходу. Суть такого підходу зводиться до аналізу пошкодженості, яка характеризує активні елементи структури конструкції – технологічні тріщини (ТТ) і внутрішні поверхні розділу (ВПР), прямо пов'язані з їх внутрішньою і зовнішньою безпекою. Додаткові розрахунки деформацій, що виконуються на підставі феноменологічного підходу, дозволяють кількісно оцінити можливість появи «видимих» тріщин і вплив арматури на формування структури конструкції.

Ключові слова: конструкції, обстеження, активні елементи структури, пошкодженість, розтягувальна напруга.

STRUCTURAL CALCULATION APPROACHES TO THE ESTIMATION OF THE TECHNICAL STATE OF CONSTRUCTIONS OF MONOLITHIC BUILDINGS

Sukhanov V.G., D.Sc., Professor,
Vyrovoy V.N., D.Sc., Professor,
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

Lysenko Y.V., engineer,
Research and production center «Ecostroy»
ecostroy_odessa@ukr.net

Abstract. The traditionally carried out evaluation of the technical state of monolithic reinforced concrete constructions can be qualitatively complemented by the use of the offered structural calculation approach. The essence of such approach is the analysis of damage which characterizes the active elements of a structure of the construction – technological cracks and internal surfaces of section, related to their internal and external safety. The objects of analysis are vertically formed elements of framed and monolithic (columns, diaphragms, elevator shafts) and monolithic (internal and external walls, partitions) residential buildings, according to the results of the research of which the active elements (TC, ISS) were fixed and damage coefficients within the fixed area on the levels of structural inhomogeneity «solution part - coarse aggregates» and «product» were calculated. In addition, in the course of work the actual problem of analysis of the influence of reinforcement on the formation of integral damage of the examined reinforced concrete constructions was solved. It is shown that tensile stresses from reinforcement, which modulus of elasticity is sequence higher than that of concrete impose on internal strain of the hardening concrete, acting both horizontally and vertically. The additional calculations of deformations, which are carried out on the basis of phenomenological approach, allow to quantitatively estimate possibility of appearance of «visible» cracks and the influence of reinforcement on forming a structure of the construction.

Keywords: constructions, survey, active elements, structures, damage, tensile stresses.

Введение. Понятие «структура» принадлежит к понятиям научного, технического и обыденного языков, и поэтому не поддается строгому и однозначному определению. Множественность определений одного понятия дает возможность с различной степенью конкретизации определять отличительные признаки и таким образом расширять или сужать представления о состоянии рассматриваемого объекта.

Цель и задача исследования. В каждом конкретном случае сущностное содержание понятия «структура» зависит от тех проблем, которые необходимо решить в рамках поставленной задачи. Важной и перманентно актуальной проблемой является безопасное функционирование строительных объектов, включая, в том числе, каркасно-монолитные и монолитные здания и сооружения. Общеизвестно, что все существующие объекты, включая железобетонные конструкции, определенным образом структурно оформлены. Из всего многообразия составляющих их структурных элементов целесообразно выделить структурные элементы, развитие которых способно вызвать снижение уровней внутренней и внешней безопасности конструкций систем. Проведенный анализ специальной литературы (например, [1, 2]) и собственные исследования (например, [3, 4]) показали, что к таким элементам структуры следует отнести технологические трещины (ТТ) и внутренние поверхности раздела (ВПП). В связи с этим была определена задача исследований – оценить и проанализировать состояние структуры железобетонных конструкций каркасно-монолитных и монолитных зданий с позиции структурного подхода, привлекая для анализа расчетные методы.

Анализ последних исследований. Объекты исследования – вертикально формируемые элементы каркасно-монолитных (колонны, диафрагмы, шахты лифтов) и монолитных (внутренние и наружные стены и перегородки) жилых зданий. Анализ проводили на

основании результатов обследования указанных конструкций в различные периоды их возведения. В процессе обследования: выполняли фотофиксацию активных элементов структуры (ТТ, ВПР); определяли их геометрические характеристики; вычисляли коэффициенты поврежденности ($K_n = \Sigma L / S$, где L – длина ТТ и ВПР, обнаруженных на фиксированной площади S , выделенной на поверхности изделий). При бетонировании конструкций формовались образцы-кубы размером $0,1 \times 0,1 \times 0,1$ м, что позволяло оценить плотность и прочность бетона, определить коэффициенты поврежденности на уровне структурной неоднородности «растворная часть – крупные заполнители». Испытания кубов проводили на 28 суток твердения по режимам, аналогичным режимам твердения базового изделия. Численные значения коэффициентов поврежденности K_n определяли согласно [3].

Собственные деформации твердеющего вяжущего, влажностные и температурные деформации, связанные с воздействием окружающей среды после распалубки изделий, инициируют физико-механические процессы, что ведет к образованию ТТ и ВПР на всех уровнях структурных неоднородностей. Образованию ТТ и ВПР способствует многоочаговый механизм организации структуры, что локализует процессы организации кластерных структур на уровнях продуктов новообразования и цементного камня. Взаимодействие твердеющего матричного материала (цементные композиции, раствор) с поверхностью мелкого и крупного заполнителя ведут к возникновению ТТ и ВПР на уровне бетона. В зависимости от геометрических характеристик железобетонных конструкций происходит формирование собственных полей технологических деформаций, что способствует образованию трещин на уровне изделий.

Обследование конструкций показало, что на их поверхности присутствуют все виды трещин и внутренних поверхностей раздела. При этом трещины на уровне цементного камня достаточно трудно идентифицируются и для их обнаружения и фиксации требуются специальные лабораторные исследования. Трещины на уровне бетона и изделий легко обнаруживаются и фиксируются по методике, описанной в [3]. Такая методика позволяет обследовать все участки вертикально формируемых конструкций, сравнивать «рисунок» трещин в зависимости от конфигураций изделий и определять коэффициенты поврежденности K_n .

Научные результаты. Анализ показал, что в колоннах, независимо от этажности, присутствуют ТТ и ВПР преимущественно на уровне бетона. «Рисунок» трещин на поверхности напоминает незавершенные в развитии пяти- и шестиугольники. Наблюдается увеличение K_n у основания колонн до 40% (от $K_n = 1,4$ м/м² в верхней части колонны до $K_n = 1,9$ м/м² у её нижней части). Поврежденность контрольных образцов составила $K_n = 1,6$ м/м², что соответствует поврежденности в средней части колонн. Следует отметить, что обычный визуальный осмотр не позволяет обнаружить ТТ и ВПР на поверхностях колонн и образцов. Применение специальных методов оправдано тем, что позволяет обнаружить элементы структуры, которые способны развиваться при действии на конструкцию (образец) внутренних и внешних факторов. Подтверждением этому является развитие трещин разрушения по существующим ТТ и ВПР при испытании контрольных образцов.

Независимо от типа зданий видимые трещины могут возникнуть на стыке сочленяющихся конструкций (например, в горизонтальных сечениях диафрагм жесткости и т.п.) и в углах дверных и оконных проемов. Появление трещин такого типа связано, как правило, с развитием разнонаправленных собственных деформаций. Извилистые берега таких трещин повторяют траекторию ТТ и ВПР на уровне бетона. Ширина раскрытия таких трещин (при условии применения рациональных составов бетона) находится в пределах $0,1 \dots 0,3$ мм.

Применение составов бетона с повышенным количеством цемента и увеличенным сверх нормы водосодержанием приводит к «проявлению» на поверхности железобетонных изделий визуально наблюдаемых «видимых» трещин. Их обследование показало присутствие ТТ и ВПР на уровне бетона и на уровне конструкции.

В силу того, что все строительные конструкции каркасно-монолитных и монолитных

зданий достаточно густо армированы, актуальна задача анализа влияния арматуры на формирование интегральной поврежденности железобетонных конструкций.

На собственные деформации твердеющего бетона, действующие как в горизонтальном, так и вертикальном направлении, накладываются растягивающие напряжения от сдерживающей деформации арматуры, модуль упругости которой на порядок выше, чем у бетона. Направление растягивающих напряжений в бетоне совпадает с направлением арматуры.

В железобетонных стенах, армированных вертикальной и горизонтальной арматурой, как правило, фиксируются «видимые» вертикальные трещины, вызванные действием деформаций на горизонтальную арматуру. Горизонтальные трещины не образуются, т.к. растягивающие напряжения в бетоне гасятся напряжениями сжатия, возникающими от массы вышележащих слоев бетона. В рамках феноменологического подхода, лежащего в основе расчета бетонных и железобетонных конструкций по эмпирическим зависимостям, принято считать, что трещины в бетоне возникают в случае, когда величина растягивающих напряжений (σ_t), превышает величину сопротивления бетона растяжению f_{ctu} [5, 6].

Кроме того, трещины возникают при превышении деформаций растяжения ε_t величин предельной растяжимости бетона (ε_{ctu}).

Количественным критерием возможного появления трещин может служить оценка величин, как напряжений (σ_t) так и деформации (ε_t).

В условиях ограниченной информации величину σ_t можно определить, используя зависимость:

$$\sigma_t = \varepsilon_t \cdot E_{cm}^0 \cdot \lambda_t, \text{ где}$$

$\varepsilon_t = \varepsilon_{sl} - \varepsilon_{sl,s}$ – разница деформаций «свободной» ε_{sl} и «стесненной» усадки $\varepsilon_{sl,s}$ бетона;

E_{cm}^0 – модуль упругости бетона при растяжении в момент распалубки ($E_{cm}^0 = 0,4E_{cm}$);

λ_t – коэффициент упругопластических деформаций бетона (при $\sigma_t \approx f_{ctk}$; $\lambda_t \approx 0,5$);

ε_{sl} и $\varepsilon_{sl,s}$ – величины деформаций, принимающиеся по известным из литературы данным, $\varepsilon_{sl} \approx 1 \cdot 10^{-4}$ и $\varepsilon_{sl,s} \approx 0,5 \cdot 10^{-4}$, соответственно: $E_{cm} = 30 \cdot 10^3 \cdot 0,4 = 12 \cdot 10^3$ МПа (для бетона класса C20/25).

Таким образом, напряжение σ_t составит:

$$\sigma_t = (1 \cdot 10^{-4} - 0,5 \cdot 10^{-4}) \cdot 12 \cdot 10^3 \cdot 0,5 = 3,0 \text{ МПа.}$$

Величину растягивающих напряжений σ_t , возникающих в бетоне от растягивающих усилий арматуры, можно определить по формуле рекомендованной в [5]:

$$\sigma_t = \frac{2,25 \cdot \varepsilon_{sl} \cdot E_s}{\frac{A_b}{A_s} + \frac{2,25 \cdot E_s}{E_b \cdot \lambda_t}}, \text{ где}$$

E_s – модуль упругости арматуры;

A_b – вводимая в расчет площадь бетона (окружающего арматурный стержень), усадочные деформации которого перераспределяются на стержень; принято $A_b = 90 \text{ см}^2$ – площадь бетона, ограниченная толщиной защитного слоя вокруг стержня.

A_s – площадь сечения стержня; $A_s = 2,011 \text{ см}^2$ ($\varnothing 16$).

$$\sigma_t = \frac{2,25 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \cdot 20 \cdot 10^4}{\frac{90}{2,011} + \frac{2,25 \cdot 20 \cdot 10^4}{12 \cdot 10^3 \cdot 0,5}} = 0,38 \text{ МПа}$$

Суммарная величина растягивающих напряжений составит:

$$\sigma_t' + \sigma_t = 0,3 + 0,38 = 0,68 \text{ МПа} > f_{ctk} = 0,6 \text{ МПа}, \text{ где}$$

f_{ctk} – временное сопротивление бетона растяжению, которое на момент распалубки составляет 40% от величины характеристического значения ($f_{ctk} = 1,5$ МПа для бетона класса С20/25).

Количественная сравнительная оценка величины возникающих растягивающих напряжений с прочностью бетона на растяжение указывает на возможность образования *видимых трещин*.

Таким образом, проведенный расчет показал, что на уровне изделия технологические трещины могут возникать как от характера распределения технологических деформаций, так и от характера армирования железобетонных конструкций.

Выводы и перспективы дальнейших исследований:

1. Обследование железобетонных конструкций каркасно-монолитных и монолитных жилых зданий позволило установить наличие в них технологических трещин (ТТ) и внутренних поверхностей раздела (ВПР). Обнаруженные трещины можно разделить на трещины, которые возникают на уровне структурных неоднородностей бетона и на трещины, которые образуются на уровне конструкций.

2. Причинами образования ТТ и ВПР являются физико-механические явления самопроизвольных многоочаговых процессов организации структуры на уровне продуктов новообразований и цементного камня, что провоцирует возникновение градиентов деформаций при взаимодействии матричного материала с поверхностью мелких и крупных заполнителей.

3. На уровне бетонной конструкции причинами образования ТТ и ВПР являются:

– неравномерное распределение собственных деформаций (эндодеформаций), которое зависит от геометрических характеристик конструкций;

– возникновение разнонаправленных деформаций в узлах сочленения конструкций и в углах оконных и дверных проемов.

4. Обследование позволило установить, что кроме перечисленных «характерных» ТТ и ВПР, были зафиксированы трещины на уровне железобетонных конструкций – вертикальные трещины. Это дало возможность применить известные расчетные методы, базирующиеся на феноменологическом подходе, для оценки влияния арматуры на формирования структуры конструкций. Проведенные расчеты дали возможность заключить, что обнаруженные трещины возникли в результате взаимодействия твердеющего бетона с арматурой.

5. Таким образом управлять характером распределения ТТ и ВПР, упреждая их развитие до критических параметров, можно за счет рациональных составов бетона с назначением режимов набора прочности а также с обязательным учетом схем армирования железобетонных конструкций.

Литература

1. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1976. – 208 с.

2. Пирадов К.А. Механика разрушения железобетона / К.А. Пирадов, Е.А. Гузеев. – М.: Новый век, 1998. – 190 с.

3. Соломатов В.И. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А.В. Сиренко. – Киев: Будивэльнык, 1991. – 144 с.

4. Суханов В.Г. Структура материала в структуре конструкции / В.Г. Суханов, В.Н. Выровой, О.А. Коробко. – Одесса: «Полиграф», 2016. – 243 с.

5. Байков В.И. Железобетонные конструкции. Общий курс / В.И. Байков, Э.Е. Сигалов. – М.: Стройиздат, 1985. – 770 с.

6. Голышев А.Б. Сопротивление бетона / А.Б. Голышев, В.И. Колчунов. – Киев: «Основа», 2009. – 432 с.

Стаття надійшла 28.12.2017