

**ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕЩИН В ЦЕМЕНТНОМ КАМНЕ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Романенко И. И.**

*к.т.н., доцент,*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,*

*Пенза, Россия*

**Петровнина И. Н.**

*к.т.н., доцент,*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,*

*Пенза, Россия*

**Еличев К.А.**

*к.т.н., доцент,*

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,*

*Пенза, Россия*

**Аннотация.** Не контролируемое изменение структуры цементного камня в период набора прочности под действием внешних и внутренних условий способствует образованию трещин в искусственном камне. В результате исследований было установлено, что совместное действие растягивающих напряжений от неравномерного суточного перепада температуры, неравномерного высыхания и усадки бетона способствует образованию трещин в монолитных железобетонных конструкциях. При этом увеличению ширины раскрытия трещин способствовала толщина защитного слоя бетона превышающая нормативное значение на 22÷33мм, выявленная при обследовании конструкций.

**Ключевые слова:** бетоны, прочность, усадка, неравномерное распределение влажности, ширина раскрытия трещин, собственный вес.

## ***THE FORMATION OF CRACKS IN THE CEMENT STONE OF CONSTRUCTION STRUCTURES***

***Romanenko I.I.***

*candidate of technical sciences, associate professor,  
Penza State University of Architecture and Construction,  
Penza, Russia*

***Petrovna I.N.***

*candidate of technical sciences, associate professor,  
Penza State University of Architecture and Construction,  
Penza, Russia*

***Elichev K.A.***

*candidate of technical sciences, associate professor,  
Penza State University of Architecture and Construction,  
Penza, Russia*

**Annotation.** An uncontrolled change in the structure of the cement stone during the period of the set of strength under the influence of external and internal conditions promotes the formation of cracks in the artificial stone. As a result of the studies, it was found that the joint action of tensile stresses from a non-uniform diurnal temperature drop, uneven drying and shrinkage of concrete promotes the formation of cracks in monolithic reinforced concrete structures. At the same time, the thickness of the protective layer of concrete was increased by an increase in the width of the crack opening, exceeding the normative value by  $22 \div 33$  mm, which was revealed during the inspection of structures.

**Key words:** concrete, strength, shrinkage, uneven moisture distribution, crack opening width, own weight.

В период с сентября по октябрь 2012 года проведено обследование монолитных железобетонных колонн первого этажа строящегося здания «Коллаж» по адресу: РФ, г. Пенза, проспект Строителей, 1В. Были выполнены следующие виды работ:

- визуальное обследование состояния колонн с составлением ведомости наиболее характерных трещин;
- инструментальное определение глубины и ширины раскрытия наиболее характерных трещин;
- выборочное определение фактической прочности бетона колонн с наибольшим количеством трещин неразрушающими методами.

В процессе обследования опирались на следующие исходные материалы:

- материалы проекта колонн стадии «Р», шифр 1-11-КЖ, разработанного ООО «Фундамент»;
- акты на скрытые работы при возведении колонн 1-го этажа.
- журнал бетонных работ № 3 «Производства» за период с 22.09.11 г. по 16.06.12г.

Возраст бетона колонн на период проведения обследования составлял более 9 месяцев. Проектный класс бетона – В25.

Здание состоит из трех независимых в конструктивном отношении секций разделенных деформационными швами. Каждая секция включает два этажа.

Пространственная жесткость обеспечивается жестким сопряжением железобетонных колонн и железобетонных балок перекрытий.

Сетка колонн I секции – от 5,49×9,0 до 12,0×9,11 м; сетка колонн I и II секции – 9,0×9,0 м.

Сечение колонн 1-го этажа 700×700 мм, высота от 6,47 м до 7,79 м.

Колонны армированы арматурой класса А-III от 8Ø25 до 6Ø32 + 12Ø28 + 2Ø16 (рис. 1). Поперечная арматура выполнена в виде замкнутых хомутов из Ø8A1, установленных с шагом 300 мм в зоне нахлестки и 400 мм в остальной части колонны. Толщина защитного слоя бетона – 50 мм до центра тяжести рабочей арматуры.

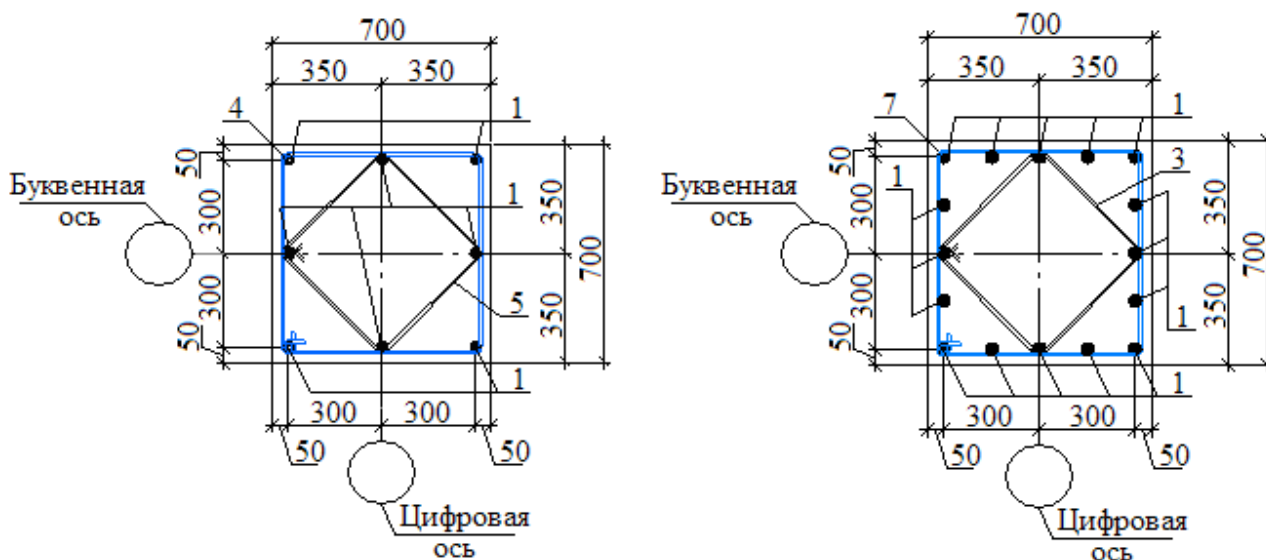


Рис. 1– Схема армирования колонн

В соответствии с планом проведения исследований выполнено визуальное и инструментальное обследование. Обследование выполнялось в соответствии с требованиями ГОСТ Р53778-2010 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» и СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений». В ходе визуального обследования были выделены и составлены схемы расположения наиболее характерных типов трещин.

При инструментальном обследовании контролировались параметры (глубина и ширина раскрытия) трещин, прочность бетона, фактическая толщина защитного слоя бетона до арматуры.

Ширина раскрытия трещин измерялась в местах максимального их раскрытия с помощью измерительных шаблонов и микроскопа МПБ-2. Глубина трещин ( $h$ ) определялась при помощи ультразвуковых измерений по формуле:

$$h = \frac{b}{2} \sqrt{\left(\frac{t_{\text{поп}}}{t_{\text{вд}}}\right)^2 - 1},$$

где:  $b$  – база измерения, мм;

$t_{\text{вд}}$  – время распространения ультразвука вдоль трещины, мкс;

$t_{\text{поп}}$  – время распространения ультразвука поперек трещины, мкс

. При испытании ультразвуковым методом применялся прибор УК 1401 на базе 150 мм. На каждом участке контроля производится по три измерения.

Прочность бетона определялась ультразвуковым методом по СТО 36554501-009-2007 «Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности» и ГОСТ 17624-87 Положение трещин относительно арматуры конструкций определялось с помощью магнитного метода по ГОСТ 22904-89 с применением прибора ИПА-МГ4.

Толщина защитного слоя бетона определялась магнитным методом по ГОСТ 22904-89, а также измерением штангенциркулем на участках вскрытия.

При анализе наиболее вероятных причин возникновения трещин определялась величина усадочных напряжений и наибольшие температурные перепады за период набора прочности бетона.

Величина усадочных напряжений определялась в соответствии с «Руководством по проектированию конструкций и технологии возведения монолитных бескаркасных зданий», М, 1982.

Анализируя характер выявленных трещин можно условно выделить пять основных типов:

- тип 1 – вертикальные трещины в нижней части колонны (нижняя 1/3 высоты, в зоне нахлестки);
- тип 2 – вертикальные трещины в средней части колонны (средняя 1/3 высоты);
- тип 3 – вертикальные трещины в верхней части колонны (верхняя 1/3 высоты);

- тип 4 – горизонтальные трещины в нижней и средней по высоте части колонны;

- тип 5 – короткие хаотично расположенные трещины в различных по высоте и расположению участках колонны.

Тип 1, Тип 2 и Тип 3 – трещины аналогичные по характеру, но различные по расположению по высоте колонны.

Анализ полученных данных показал, что наибольшая ширина раскрытия трещин достигает: трещины 1 типа -1,2 мм (колонна Д1/1); трещины 2 типа -1,2 мм (колонна Д2/27); трещины 3 типа -1,4 мм (колонна И1/1); трещины 4 типа - 0,3 мм (колонна Г1/1); трещины 5 типа -0,2 мм (колонна В1/1).

Глубина некоторых трещин превышает 150 мм.

Выборочный контроль прочности бетона выполнялся для колонн с наибольшим количеством трещин[1]. Прочность бетона колонн контролировалась в шести участках, расположенных по периметру сечения, на высоте 1 – 1,5 м от пола. В связи с большим разбросом полученных результатов класс бетона определялся отдельно для каждой колонны, по «Схеме Г». Результаты исследований представлены в табл.1

Таблица 1– Средняя прочность колонн 1-го этажа

Наименование конструкций	Расположение в осях	Средняя прочность бетона. МПа	Класс бетона
Колонны 1-го этажа Класс В25	В/20	46.0	В37
	Г/20	43.8	В35
	Д/22	42.1	В34
	Е/21	41.5	В33
	Е/22	42.3	В34
	Ж/22	42.2	В34
	А1/4	33.7	В27
	Б1/3	33.8	В27
	Б1/4	38.2	В31
	В1/1	42.1	В34
	В1/5	41.4	В33

	Д1/1	35.6	В29
	И1/1	37.4	В30
	И2/26	39.1	В31

Из приведенных в табл.1 данных следует, что прочность бетона проконтролированных колонн соответствует требованиям проекта.

Результаты определения толщины защитного слоя бетона магнитным методом представлены в таблице 2.

Таблица 2–Определение толщины защитного слоя бетона до арматуры

Колонна в осях	Значения толщины защитного слоя бетона в мм (min; max) по данным магнитного прибора по граням колонн:			
	1	2	3	4
Г/12	35; 37	48; 59	35; 38	41; 46
А1/4	нет доступа	28; 40	26; 28	-
Б1/3	56; 59	37; 43	40; 43	34; 42
В1/1	-	42; 45	48; 54	нет доступа
Е1/1	46; 48	46; 48	40; 42	нет доступа
Г2/28	12; 15	54; 61	нет доступа	-
Д2/27	53; 59	60; 62	41; 50	53; 55
Ж2/26	нет доступа	-	38; 40	52; 54
Е2/26	30; 32	47; 49	44; 53	71; 76

Толщина защитного слоя бетона до арматуры, полученная по результатам вскрытия, составила:

- в колонне И1/1 – 75 мм, при проектной толщине 42 мм;
- в колонне Д1/1 – 60 мм, при проектной толщине 37,5 мм;
- в колонне И2/26 – 60 мм, при проектной толщине 37,5 мм.

Таким образом, фактическая толщина защитного слоя бетона превышает проектную на 22 ÷ 33 мм, при допустимом значении отклонения в сторону увеличения (табл. 9 СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции») 15 мм.

По результатам выборочного контроля положения арматуры магнитным методом установлено:

- в большинстве случаев вертикальные трещины 1, 2 и 3 типов не совпадают с вертикальной арматурой, трещины могут располагаться и между арматурой, и на расстоянии 20 – 30 мм от арматуры;

- вдоль угловых стержней колонн трещины 1, 2 и 3 типов не обнаружены;

- трещины 4 типа расположены на расстоянии 200 ÷ 400 мм друг от друга, местами проходят вдоль горизонтальных хомутов;

- на некоторых участках трещины 4 типа образовались при зависании бетона на хомутах вследствие некачественного уплотнения бетона.

Анализируя наиболее вероятные причины образования трещин можно сделать следующие заключения.

Вертикальные трещины 1, 2 и 3 типов не совпадают с вертикальной арматурой.

В период обследования на конструкции действует только собственный вес. По результатам приближенного расчета, усилия в колоннах от собственного веса конструкций 2-х возведенных этажей не превышают 170-200 тс. Несущая способность колонн составляет 700 тс и более[2,3]. Следовательно, в настоящее время колонны нагружены не более, чем на 30% от несущей способности.

Таким образом, при действии усилий от собственного веса, выявленные трещины не должны были образоваться.

Из результатов проведенного исследования установлено, что наибольшее количество колонн с трещинами более 0,3 мм расположено вдоль краев здания, с западной стороны. Преимущественно колонны без трещин расположены внутри здания.

По результатам мониторинга за состоянием монолитных железобетонных колонн трещины начали образовываться в конце мая – начале июня 2012г. То есть в период, когда замороженные в зимнее время колонны нагрелись и все температурно-влажностные процессы (усадки бетона, набора прочности и т.д.)



возобновились[4,5]. В летний период образованию трещин способствовали следующие причины:

суточные температурные перепады, особенно со стороны незакрытой вышележащими перекрытиями граней колонн, нагреваемых прямыми солнечными лучами. В пользу этой причины свидетельствует расположение колонн с трещинами более 0,3 мм по краю здания и расположение колонн без трещин – внутри здания, на закрытых перекрытиях от солнца участках; процессы интенсивного высушивания поверхности бетона, приводящие к неравномерной влажности по сечениям колонн, усадке бетона и возникновению дополнительных растягивающих напряжений в поверхностном слое.

Все эти процессы в наибольшей степени проявляются при увеличенной толщине защитного слоя бетона, не имеющей армирования, препятствующего образованию и раскрытию трещин.

#### **Общие выводы:**

– Прочность бетона проконтролированных колонн каркаса здания соответствует требованиям проекта.

– Толщина защитного слоя бетона колонн до арматуры на проконтролированных участках превышает проектную величину на 22-33 мм, что превышает допустимое СНиП 3.03.01-87 отклонение.

– На доступных для обследования участках колонн выявлены трещины с шириной раскрытия до 1,4 мм и глубиной до 150 мм. Трещины условно разделены на пять типов. Трещины 1, 2 и 3 типов имеют аналогичный характер, но различно расположены по высоте колонны.

Из представленного анализа наиболее вероятных причин образования трещин следует, что трещины не должны быть вызваны действующими в настоящее время усилиями от собственного веса конструкций. Наиболее вероятная причина – совместное действие растягивающих напряжений от неравномерного суточного перепада температуры, неравномерного высыхания и усадки бетона. При этом увеличению ширины раскрытия трещин

способствовала большая толщина защитного слоя бетона, выявленная при обследовании.

Выявленные трещины 1, 2 и 3 типов большой глубины могут соединяться в ядре сечения колонны и разделять колонну на вертикальные блоки, что может привести к непроектной работе колонны. Трещины 4 и 5 типов не влияют на работу колонн, но могут снизить долговечность. Поэтому выявленные трещины необходимо отремонтировать.

Трещины 1, 2, 3 типов с шириной раскрытия 0,15мм и более необходимо отремонтировать методами, восстанавливающими сплошность сечений, например – инъецированием цементных и цементно-полимерных составов. Трещины меньшего раскрытия и трещины 4 и 5 типов необходимо отремонтировать методами, восстанавливающими антикоррозийную защиту арматуры,

Колонны, с раскрытием 0,5мм и более и глубиной 50-180мм рекомендуется дополнительно усилить установкой металлических обойм из прокатных стальных профилей.

### **Библиографический список:**

1. Баженов, Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны/Ю. М. Баженов В. С. Демьянова, В. И. Калашников. -Москва: АСВ, 2006. -368 с.
2. Гуца Ю.П. Исследование ширины раскрытия нормальных трещин//Труды НИИЖБ. -М.: НИИЖБ ОНТИ, 1971. -С. 72-97.
3. Мигунов В.Н. Экспериментально-теоретическое исследование коррозии и долговечности железобетонных конструкций с трещинами: монография. - Пенза: Изд-во ПГУАС, 2013. -Ч. 2. -304 с.
4. Романенко И.И. Деформации цементного камня, приводящие к образованию поверхностных трещин/ Романенко И.И., Пинт Э.М., Романенко М.И.// Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 4. С. 32-36.
5. Фалалеева Н.А. Причины трещинообразования в бетонах на этапе ранней прочности/ Фалалеева Н.А. В сборнике: Современные технологии и развитие политехнического образования Научное электронное издание. 2016. С. 555-558.