

УДК 624.012.4-183.2, 624.044:539.384

Симаков В.Д. – аспирант

E-mail: VasiliiSimakov86@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

Трещиностойкость контактных стыков колонн

Аннотация

В настоящее время отсутствует нормативный подход для расчета стыков железобетонных колонн по образованию и раскрытию трещин, однако им предписывается его необходимость. Проведенные многофакторные теоретические, численные и экспериментальные исследования, а так же анализ результатов обследований строительных конструкций, указывают на необходимость выполнения такого расчета. Поэтому, целью работы ставится подтверждение предложенной методики расчета контактных стыков по образованию и раскрытию трещин.

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований трещиностойкости зоны смятия железобетонных колонн, усиленных сетками косвенного армирования. Экспериментом были подтверждены результаты численных и теоретических исследований, выявлены общие закономерности, составлены зависимости и уточнены границы применения методики. По полученным данным откорректированы расчетные выражения, дополнены рекомендации по конструированию.

Ключевые слова: колонна, контактный стык, образование трещин, раскрытие трещин, методика, теория силового сопротивления бетона в сжимающем силовом потоке, нелинейная деформационная модель.

Контактные стыки колонн часто применяются на практике и являются наиболее ответственными за конструкционную безопасность элементами зданий и сооружений. При обследовании их технического состояния иногда фиксируется наличие вертикальных трещин в оголовках колонн. Колонна при этом, в течении длительного времени, находится под нагрузкой без разрушения. В.В. Габрусенко в своей работе [1] приводил различные варианты подобных повреждений оголовков колонн. Такие же повреждения отмечались и специалистами по обследованию ООО «Казанского Гипрониавиапромом».

Современный нормативный подход к расчету прочности на местное смятие, который является основным при расчете прочности контактных стыков (рис. 1), не учитывает, что вертикальные трещины в колонне под грузовой площадкой могут возникать задолго до того, как произойдет разрушение. Однако, результаты обследований и выполненных экспериментов показывают, что это возможно.

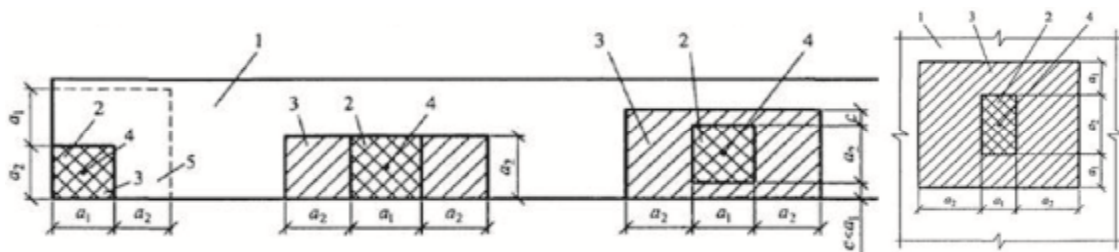


Рис. 1. Расчетная схема для определения несущей способности железобетонных элементов при местном сжатии по СП 63.13330.2012

Созданием методик расчета по образованию трещин для отдельных видов контактных стыков, занимались как отечественные, так и известные нам зарубежные ученые [2, 3, 4 и др.]. В разработанных ими методиках отсутствуют рекомендации по определению ширины раскрытия трещин в промежутке от момента их образования и до наступления предельного состояния.

Таким образом совершенствование существующих или создание новых методик расчета контактных стыков по образованию и раскрытию трещин является актуальной задачей. Расчет горизонтальных стыков по эксплуатационной пригодности (по образованию и раскрытию трещин) становится возможным с применением теории силового сопротивления бетона, как анизотропного материала, сжатию [5] и нелинейной деформационной модели [6]. В этом заключается научная новизна работы.

Расчетная схема стыка приведена на рис. 2. Ее характеристики и вывод расчетных выражений для определения усилия образования трещин (N_{crc}) и ширины их раскрытия (a_{crc}) приведены в ранее опубликованной статье [7]. Результаты численного исследования, выполненного с применением программного комплекса ANSYS, опубликованы в статье [8].

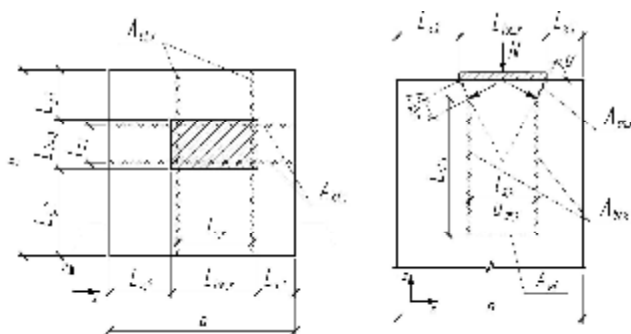


Рис. 2. Расчетная схема оголовка железобетонной колонны при местном сжатии грузовой площадкой

для выполнения расчета по образованию и раскрытию трещин:

A_{br} – площадь отрыва; A_{sh} – площадь сдвига; A_{ef} – площадь отрыва; α – угол наклона клина; l_s – расстояние между трещинами, L_{loc} – размер грузовой площадки

Перед началом испытаний опытных образцов были определены физико-механические характеристики бетона по контрольным образцам. На рис. 3 приведена информационная схема экспериментальных исследований.

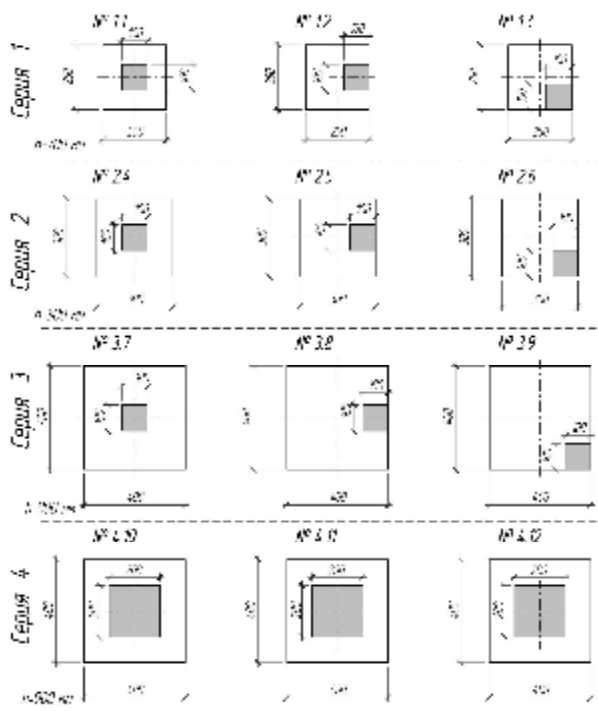


Рис. 3. Информационная схема экспериментальных исследований

Образцы, в количестве 12-ти штук, представляют собой фрагменты колонн (оголовки), усиленные сетками косвенного армирования в зоне смятия. Группа разделена на 4 серии. Каждая серия состоит из трех опытных образцов одинакового поперечного сечения. Образцы серий 1-3 отличаются друг от друга положением грузовой площадки: по центральной оси; на краю и на углу колонны. Образцы 4-й серии выполнены одинаковыми (базовый образец).

Все фрагменты колонн изготовлены из бетона класса В25, косвенной арматуры ØБА240 и продольной арматуры Ø16А400. Насыщенность косвенного армирования назначена по минимальным конструктивным требованиям. Грузовая площадка для серий 1-3 – 100×100 мм, для серии 4 – 200×200 мм.

Размеры образцов и косвенное армирование назначены по результатам численных и теоретических исследований. Для грузовой площадки 100×100 мм, при осевой сжимающей силе, в колонне сечением 250×250 мм отношение усилия образования трещин (N_{crc}) к пределу прочности ($N_{ult,СП}$), определенному по СП 63.13330.2012 (рис. 1), минимальное, а в колонне сечением 400×400 мм это значение близко к единице (максимальное для актуальности исследования). Колонны сечением 250×250 и 400×400 мм будут являться нижним и верхним пределом области исследования соответственно. Минимальное армирование выбрано из соображений, что при увеличении процента армирования разница между N_{crc} и $N_{ult,СП}$ еще больше увеличится, что только увеличит актуальность выбранного исследования. Соотношение размеров базового образца 4-й серии показало наибольшую ширину раскрытия трещин (a_{crc}) при наименьшем соотношении N_{crc} к $N_{ult,СП}$.

В табл. 1 представлены результаты испытаний опытных образцов. Ширина раскрытия силовых трещин приведена на момент разрушения при последнем шаге нагружения. Расстояние между трещинами (l_s) определено по схеме, изображенной и на рис. 2.

Таблица 1

Результаты испытаний опытных образцов

№ серии	№ образца	N_{crc} , Т	$N_{ult,T}$	$N_{ult,СП}$, Т	l_s , мм	a_{crc} , мм	$\frac{N_{crc}}{N_{ult}}$	$\frac{N_{crc}}{N_{ult,СП}}$	μ_{sw} , %
1	1.1	26,52	51,0	38,87	98	0,3	0,52	0,68	0,581
	1.2	22,44	33,66	27,39	90	0,3	0,66	0,82	
	1.3	11,22	24,48	18,45	65	0,35	0,46	0,61	
2	2.4	38,1	49,64	43,68	90	0,35	0,77	0,87	0,435
	2.5	15,30	30,6	28,64	90	0,4	0,50	0,53	
	2.6	14,28	25,5	17,46	70	0,3	0,56	0,82	
3	2.7	40,8	67,1	40,23	96	0,2	0,60	1,01	0,266
	2.8	23,80	45,9	25,32	108	0,4	0,33	0,94	
	2.9	7,65	25,5	16,31	102	0,3	0,30	0,47	
4	2.10	81,2	144,3	107,29	115	0,5	0,55	0,75	0,266
	2.11	85,4	141,6	107,29	125	0,55	0,60	0,80	
	2.12	82,6	137,9	107,29	120	0,5	0,58	0,77	

Из результатов видно, что во всех образцах трещины образуются до потери несущей способности ($N_{crc} < N_{ult,СП}$ и $N_{crc} < N_{ult,СП}$) что подтверждает актуальность исследования. Трещиностойкость стыка повышается с увеличением процента косвенного армирования (μ_{sw}).

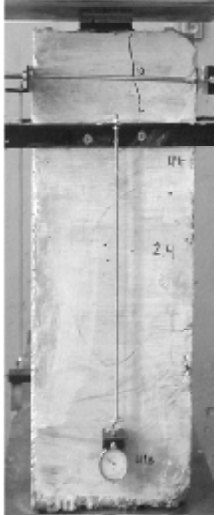

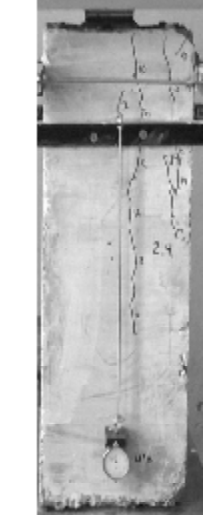
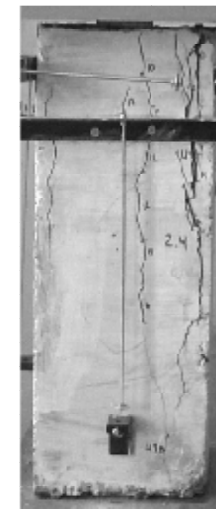
В табл. 2 приведены результаты поэтапного нагружения образца № 2.4, в которых прослеживается динамика развития трещин. Размеры поперечного сечения колонны 300×300 мм, грузовой площадки – 100×100 мм.

Из табл. 2 видно, что первые вертикальные трещины на боковой поверхности колонны возникли напротив грузовой площадки в зоне растяжения, совпадающей со схемой изображенной на рис. 2.

На рис. 4а показана схема образования трещин перед разрушением, где толстыми линиями выделены магистральные трещины по которым произошло раскалывание образца (рис. 3б, 3в).

Таблица 2

Результаты испытаний опытного образца № 2.4

Поэтапное увеличение сжимающей силы			
38,1 т (шаг 10)	42,8 т (шаг 12)	47,6 т (шаг 14)	49,6 т (шаг 15)
$0,87 \cdot N_{ult,СП}$	$0,97 \cdot N_{ult,СП}$	$1,09 \cdot N_{ult,СП}$	$1,13 \cdot N_{ult,СП}$
Образование первых трещин, $a_{cr} = 0,05$ мм	Развитие трещин	Развитие трещин	Разрушение
			

Результаты эксперимента доказывают, что на основе принятой модели, возможно создать методику расчета контактных стыков по образованию и раскрытию трещин. Особенно наглядно образование трещин соответствует модели на образцах 4-й серии с размерами сечения колонн 400×400 мм и грузовой площадкой 200×200 мм. На рис. 5 представлено испытание образца № 4.10, где четко прослеживаются две главные силовые вертикальные трещины в зоне отрыва (рис. 5а). На противоположной грани колонны можно наблюдать симметричное разрушение (рис. 5б), т.е можно утверждать о наличии под грузовой площадкой двух сквозных плоскостей отрыва в каждом направлении.

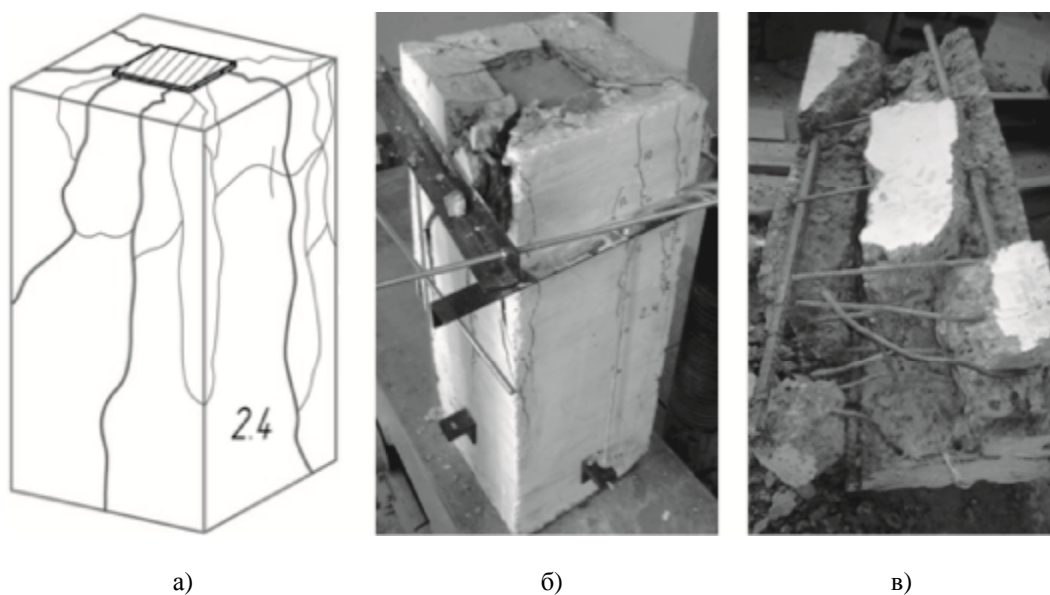


Рис. 4. Испытание опытного образца № 2.4:
 а – схема образования трещин перед разрушением;
 б – вид на разрушенный образец сверху после подъема траверсы пресса;
 в – вид на разрушенный образец после обстукивания молотком

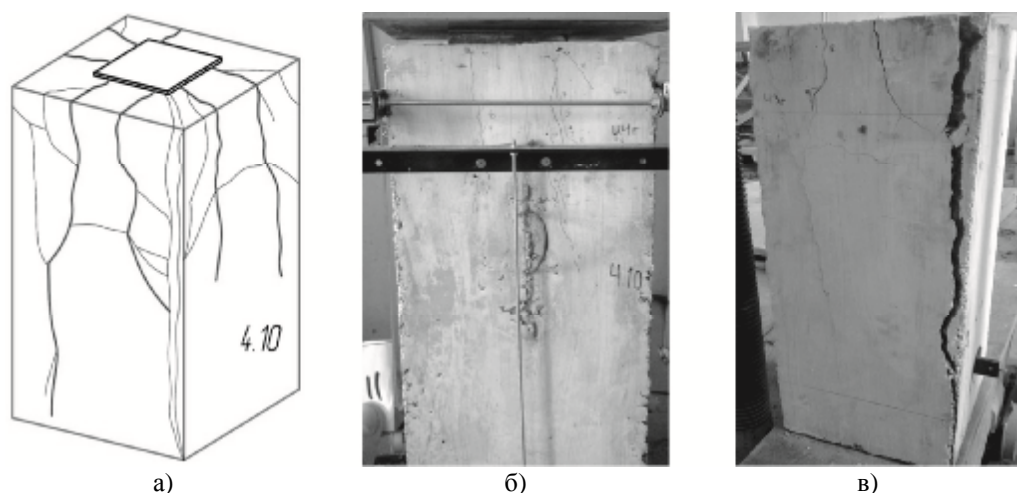


Рис. 5. Испытание опытного образца № 4.10:
 а – схема образования трещин перед разрушением;
 б – схема развития трещин под грузовой площадкой;
 в – вид на разрушенный образец после подъема траверсы прессы

Сравнение результатов испытания опытных образцов с результатами теоретических и численных исследований показало хорошую сходимость методики расчета (рис. 6).

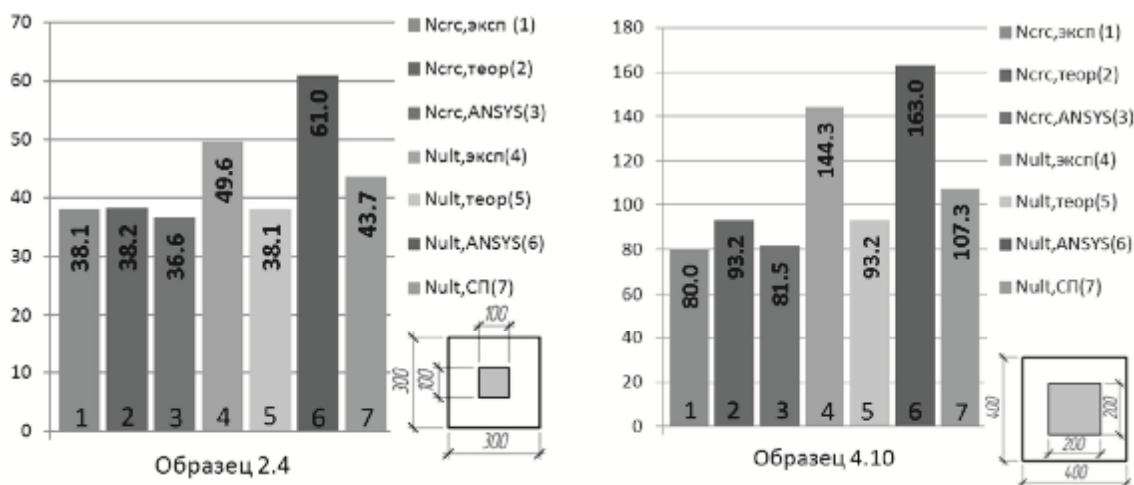


Рис. 6. Сравнение результатов испытания опытных образцов № 2.4 и № 4.10 с результатами теоретических и численных исследований
 ($N_{crс,эксп}$, $N_{crс,теор}$, $N_{crс,ANSYS}$ – усилия образования трещин в эксперименте, в теоретических исследованиях, по численным исследованиям в ANSYS;
 $N_{ult,эксп}$, $N_{ult,теор}$, $N_{ult,ANSYS}$ – разрушающее усилие в эксперименте, в теоретических исследованиях, по численным исследованиям в ANSYS)

Не смотря на то, что в статье приводится анализ только двух опытных образцов, тем не менее, все 12 имеют общие закономерности при нагружении:

- Первые вертикальные трещины в зоне смятия возникли раньше, чем была достигнута несущая способность колонны;
- Первые возникающие трещины всегда тонкие (волосяные) и при дальнейшем увеличении нагрузки трещина развивается в длину. Если же длина трещины не меняется, то либо она увеличивается в ширину, либо возникают параллельные ей новые трещины, либо все эти явления происходят одновременно;

– Разрушение образцов происходит одновременной по всем расчетным зонам (отрыв, раздавливание, сдвиг), что подтверждает обоснованность применения теории сопротивления анизотропных материалов сжатию;

– При внецентренном сжатии самые большие трещины возникают при отслоении защитного слоя, однако это не сильно влияет на несущую способность, но сильно ограничивает эксплуатационную пригодность. Поэтому нагружение на угол колонны на практике выполнять не рекомендуется;

– В зоне смятия наблюдаются значительные поперечные деформации. При увеличенном поперечном расширении наблюдается проскальзывание стержней косвенной арматуры относительно друг друга, а сама она изгибается в горизонтальном направлении напротив грузовой площадки. Это означает, что при учете косвенного армирования необходимо вводить поправку на недостаточную степень анкеровки.

– Внизу колонны, где площадь сечения колонны совпадает с площадью опирания (можно рассматривать как платформенный стык), даже без сеток косвенного армирования трещины не образуются.

– При разрушении, под грузовыми площадками всегда образуется клин зоны двухосного сжатия.

Для образцов четвертой серии N_{crc} было достигнуто при $0,62 \div 0,66 N_{ult,СП}$, при этом предельная ширина раскрытия трещин $a_{crc,ult}$ (0,4 мм) достигалась при значениях $0,76 \div 0,82 N_{ult,СП}$ соответственно. Следовательно, для представленного случая необходимо производить расчет не только по образованию, но и по раскрытию трещин.

Таким образом, обобщая вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

1. При конструировании контактных стыков, помимо определения несущей способности, необходимо учитывать возможность образования вертикальных трещин в зоне смятия.

2. Для выполнения вышеуказанного требования необходимо доработать единую методику расчета стыков по образованию и раскрытию трещин.

3. Расчетные схемы и модели для оценки эксплуатационной пригодности стыков, предложенные в работах [7, 8] (рис. 2), нашли подтверждение в результатах проведенных экспериментальных исследований.

Список библиографических ссылок

1. Гладышев. Б.М. О расчете бетонных и железобетонных элементов на местное сжатие // Межведомственный Республиканский научный сборник «Строительные конструкции». – Киев: Будивельник, 1968, № 10. – С. 61-70.
2. Васильев А.П., Матков Н.Г., Мирмуминов М.М. Местное сжатие в колоннах каркаса многоэтажных зданий // Бетон и железобетон. – М.: Стройиздат, 1977, № 9. – С. 30-33.
3. Ульбиева И.С. Влияние местных напряжений на несущую способность железобетонных элементов. – М.: НИИЖБ, 1984. – 177 с.
4. Габрусенко В.В. Аварии, дефекты и усиление железобетонных и каменных конструкций. – Новосибирск: Изд-во «Общество железобетонщиков Сибири и Урала», 2007. – 62 с.
5. Соколов Б.С. Теория силового сопротивления анизотропных материалов сжатию и ее практическое применение. – М.: АСВ, 2011. – С. 16-26, 125-127.
6. Залесов А.С. Краткие заметки о расчете железобетонных конструкций на действие изгибающих моментов и продольных сил. – М.: Изд-во ОАО «ЦПП», 2008. – С. 3-9.
7. Никитин Г.П., Симаков В.Д. Расчет горизонтальных контактных стыков колонн при сжатии по образованию и раскрытию трещин // Сборник докладов VII Всероссийской (II Международной) конференции НАСКР 2014. – Чебоксары: ЧГУ, 2014. – С. 155-160.
8. Никитин Г.П., Симаков В.Д. Расчет контактных стыков колонн по образованию и раскрытию трещин // Сборник докладов Международной научной конференции, посвященной 85-летию кафедры и 100-летию со дня рождения Попова Н.Н.

Современные проблемы расчета железобетонных конструкций зданий и сооружений на аварийные воздействия. – М.: НИУ МГСУ, 2016. – С. 290-296.

Simakov V.D. – post-graduate student

E-mail: VasiliiSimakov86@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya, st. 1

Crack resistance in the contact joints of columns

Resume

Currently, there is no standard approach to the calculation of the joints on the emergence and expansion of cracks. However, the norms prescribed to perform the calculation of reinforced concrete structures for the second group of limit states. Multivariate theoretical, computer and experimental studies, as well as inspection of building structures, indicate the need to perform such a calculation. Therefore, the aim of the work is to establish a methodology for calculating the contact joints on the emergence and expansion of cracks.

The article presents the results of experimental studies crack resistance crushing zone of concrete columns reinforced with transverse reinforcement. The compressive force directed along a column axis, and eccentricity. For the analysis of applied research concrete resistance to compression theory and nonlinear deformation model. The individual results of theoretical and numerical studies have been published previously.

During the experiment, the results of numerical and theoretical studies have been confirmed. The general regularities, composed dependencies specified application limits for the calculation methodology. According to information received revised formulas, supplemented by recommendations on designing.

Keywords: column, contact joint, occurrence of cracks, crack opening, the method, the power of resistance of concrete compression theory, nonlinear deformation model.

Reference list

1. Gladyshev B.M. Calculation of concrete and reinforced concrete elements on the local compression // Republican Interdepartmental scientific collection «Stroitelnye konstruksii». – Kiev: Ed. «Budivelnik», 1968, № 10. – P. 61-70.
2. Vasilyev A.P., Matkov N.G., Mirmuminov M.M. Local compression columns frame high-rise buildings // «Beton i zhelezobeton». – M.: Stroyizdat, 1977, № 9. – P. 30-33.
3. Ulbieva I.S. Influence of local stresses on the bearing capacity of reinforced concrete elements. – M.: NIIZhB, 1984. – 177 p.
4. Gabrusenko V.V. Accidents, defects and enhancement of concrete and brick constructions. – Novosibirsk: Pub. «Obshchestvo zhelezobetonshchikov Sibiri i Urala», 2007. – 62 p.
5. Sokolov B.S. The theory of the power of resistance the anisotropic material to compression and its practical application. – M.: ASV, 2011. – P. 16-26, 125-127.
6. Zalesov A.S. Brief Notes on the calculation of reinforced concrete structures to the action of bending moments and longitudinal forces. – M.: Pub. OSC «CPP», 2008. – P. 3-9.
7. Nikitin G.P., Simakov V.D. Calculation of horizontal contact joints columns under compression by the appearance of cracks and disclosure // Proceedings of VII all-Russian (II International) Conference NASKR 2014. – Cheboksary: ChGU, 2014. – P. 155-160.
8. Nikitin G.P., Simakov V.D. Calculation of the columns in the horizontal contact joints under compression by the appearance and disclosure of cracks // Proceedings of International scientific conference devoted to the 85th anniversary of the department and the 100th anniversary of the birth of N. Popov. Current problems in the calculation of reinforced concrete structures of buildings and structures on the emergency action. – M.: NRU MGSU, 2016. – P. 290-296.