



УДК 624.012.45



КОЛЧУНОВ В.І.

Д-р технічних наук, проф.,
Національний авіаційний
університет, м. Київ, Україна,
e-mail: vlik52@ukr.net,
тел. +38 (099) 555-35-14,
ORCID: 0000-0002-8983-521X



ДЕМ'ЯНОВ О.І.

Канд. технічних наук, доц.,
Південно-Західний державний
університет, м. Курськ, Росія,
e-mail: speccompany@gmail.com,
тел. +7 (4712) 22-24-31



ЯКОВЕНКО І.А.

Канд. технічних наук, доц.,
Національний авіаційний
університет, м. Київ, Україна,
e-mail: i2103@ukr.net,
тел. +38 (067) 440-19-39,
ORCID: 0000-0003-4256-9855



ГАРБА М.О.

Аспірант, Національний
авіаційний університет,
м. Київ, Україна,
e-mail: garmih0@gmail.com,
тел. +38 (068) 842-31-80

ПРИВЕДЕННЯ У ВІДПОВІДНІСТЬ ДОСЛІДНИХ ДАНИХ ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ЇХ ТЕОРЕТИЧНИМ ЗНАЧЕННЯМ

АНОТАЦІЯ

У статті поставлено проблему приведення у відповідність значень дослідних і теоретичних параметрів тріщиноутворення залізобетонних конструкцій на прикладі проведених експериментальних досліджень залізобетонних конструкцій при крученні зі згином з урахуванням деформаційних впливів. Отримано дослідні дані тріщиноутворюючого навантаження, значень ширини розкриття тріщин по всьому профілю тріщин, відстаней між ними, що доповнюють наявний експериментальний матеріал. При цьому основний акцент зроблено на основні положення, робочі гіпотези і тонкий інструментарій механіки руйнування, адаптований до залізобетону. Як трансформаційний елемент між залежностями механіки руйнування та теорії залізобетону було обрано двоконсольний елемент. Розроблення такого двоконсольного елемента дозволить уникнути громіздких математичних перетворень із використанням комплексних чисел при виведенні розрахункових залежностей, прийнятних для практичного використання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: залізобетонні конструкції, тріщиностійкість, ширина розкриття тріщин, експериментальні дослідження, кручення зі згином.

ПРИВЕДЕНИЕ В СООТВЕТСТВИЕ ОПЫТНЫХ ДАННЫХ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИХ ТЕОРЕТИЧЕСКИМ ЗНАЧЕНИЯМ

КОЛЧУНОВ В.И. Д-р технических наук, проф.,
Национальный авиационный университет,
г. Киев, Украина,
e-mail: vlik52@ukr.net,
тел. +38 (099) 555-35-14,
ORCID: 0000-0002-8983-521X

ДЕМЬЯНОВ А.И. Канд. технических наук, доц.,
Юго-Западный государственный университет,
г. Курск, Россия,
e-mail: speccompany@gmail.com,
тел. + 7 (4712) 22-24-31

ЯКОВЕНКО И.А. Канд. технических наук,
доц., Национальный авиационный университет,
г. Киев, Украина,
e-mail: i2103@ukr.net,
тел. + 38 (067) 440-19-39,
ORCID: 0000-0003-4256-9855

ГАРБА М.О. Аспирант, Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина,
e-mail: garmih0@gmail.com,
тел. + 38 (068) 842-31-80



АННОТАЦИЯ

Поставлена проблема приведения в соответствие значений опытных и теоретических параметров трещинообразования железобетонных конструкций на примере проведенных экспериментальных исследований железобетонных конструкций при кручении с изгибом с учетом деформационных воздействий. Получены опытные данные трещинообразующей нагрузки, значений ширины раскрытия трещин по всему профилю трещин, расстояний между ними, которые дополняют имеющийся экспериментальный материал. При этом основной упор сделан на основные положения, рабочие гипотезы и тонкий инструментарий механики разрушения, адаптированных применительно к железобетону. В качестве трансформационного элемента между зависимостями механики разрушения и теории железобетона был выбран двухконсольный элемент. Разработка такого двухконсольного элемента позволит избежать громоздких математических преобразований с использованием комплексных чисел при выводе расчетных зависимостей, приемлемых для практического использования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железобетонные конструкции, трещиностойкость, ширина раскрытия трещин, экспериментальные исследования, кручение с изгибом.

BRINGING THE EXPERIMENTAL DATA OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES CRACK RESISTANCE IN CORRESPONDENCE WITH THEIR THEORETICAL VALUES

KOLCHUNOV V.I. Dr. Prof., National Aviation University, Kyiv, Ukraine,
e-mail: vlik52@ukr.net,
tel.: + 38 (099) 555-35-14,
ORCID: 0000-0002-8983-521X

DEMIANOV A.I. PhD, Ass. Prof., South-West State University, Kursk, Russia,
e-mail: speccompany@gmail.com,
tel. +7 (4712) 22-24-31

IAKOVENKO I.A. PhD, Ass. Prof., National Aviation University, Kyiv, Ukraine,
e-mail: i2103@ukr.net,
tel. + 38 (067) 440-19-39,
ORCID: 0000-0003-4256-9855

GARBAM.O. PG student, National Aviation University, Kyiv, Ukraine
e-mail: garmih0@gmail.com,
tel. + 38 (068) 842-31-80,

ABSTRACT

The problem of bringing the experimental values of crack resistance parameters of reinforced concrete structures into compliance with the theoretical ones is stated as exemplified by the conducted research of reinforced concrete structures in torsion with

bending taking into account the deformation effects. The experimental data of the crack-forming load, the values of crack opening width along the entire profile of cracks, the distances between them which substantially supplement the existing experimental material are obtained. At the same time, the main emphasis is made on the general principles, working hypotheses and precise tools of fracture mechanics applied to reinforced concrete. A two-console element was chosen as a transformational element between the dependencies of fracture mechanics and the dependencies of the reinforced concrete theory. The development of such a two-console element allows avoiding lengthy mathematical transformations using complex numbers in deriving computational dependencies acceptable for practical use.

KEY WORDS: reinforced concrete structures, crack resistance, crack opening width, experimental studies, torsion with bending.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема приведения в соответствие значений опытных и теоретических параметров определяется целями и задачами экспериментальных исследований и связана с инструментарием измерения опытных значений исследуемых параметров.

Использование базовых положений сопротивления материалов, теории упругости и пластичности, строительной механики, математического анализа, а также теории железобетона обеспечивает достоверность искомых параметров.

Применительно к интегральным параметрам, например, прогибам теории железобетона, их опытные и теоретические значения при сопоставлении дают вполне удовлетворительные результаты, но, рассматривая такой дифференциальный параметр как ширина раскрытия трещин, этого не наблюдается, различия могут достигать 400% и более. Приборный инструментарий для измерения трещин, прошедший метрологическую поверку и калибровку (микроскоп), позволяет получить опытные значения ширины раскрытия трещин на порядок точнее по сравнению с методами теории железобетона.

До настоящего времени целым рядом исследователей сделано множество корректировок такого несоответствия с помощью введения многочисленных коэффициентов и эмпирических зависимостей. Нормативные документы по расчету железобетонных конструкций, которые работают лишь в узком диапазоне изменения расчетных параметров, требуют постоянного и трудоемкого экспериментирования.

Решение обозначенной проблемы постоянно откладывалось на протяжении многих десятилетий, в виду чрезвычайной сложности и неразработанности механики железобетона, а также по причине того, что трещиностойкость относится ко второй, менее опасной группе предельных состояний.



В силу вышеизложенных причин, указанная, давно созревшая проблема не считалась первоочередной.

В действующих нормативных документах, расчет по ширине раскрытия трещин в целом ряде случаев становится определяющим даже при подборе рабочего армирования. Обеспечение соответствующей категории трещиностойкости необходимо при эксплуатации железобетонных конструкций в средах различной агрессивности, т. к. трещины приводят к существенному увеличению скорости коррозии.

Таким образом, откладывание решения поставленной проблемы приводит к существенным затратам. Проблема требует комплексного экспериментально-теоретического решения в условиях не только силового, но и деформационного нагружения.

АНАЛИЗ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

При постановке экспериментальных исследований в условиях деформационного воздействия, авторы выполнили анализ проведенных в последние годы экспериментов в условиях силового нагружения, увязывая их с актуальными задачами современного капитального строительства. При повышении этажности и архитектурной выразительности зданий и сооружений, большинство железобетонных конструкций работают в условиях сложного напряженно-деформированного состояния – кручения с изгибом.

Проведенный анализ показывает, что под руководством Демьянова А.И. (Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ), г. Курск) [1, 2], такие исследования выполнены в Брянской государственной инженерно-технологической академии [3–5], Российском университете транспорта (МИИТ), г. Москва [1, 2], Испытательном центре г. Орла и др. В ЮЗГУ проводят исследования [6] железобетонных конструкций прямоугольного сечения на силовые воздействия при варьировании длины, соотношений изгибающего и крутящего момента и поперечных сил, классов бетонов (в том числе составных).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При разработке программы и метода исследований железобетонных конструкций, испытываемых на деформационные воздействия, за основу были приняты геометрические раз-

меры, классы бетонов и армирования, совпадающие с указанными исследованиями. Такой подход дает возможность кроме экономии, связанной с затратами на многочисленные эксперименты, существенно увеличить статистическую выборку при проведении анализа результатов экспериментов. Экспериментальные исследования на деформационные воздействия выполняли на кафедре компьютерных технологий строительства Национального авиационного университета. В лаборатории строительных конструкций разработана экспериментальная установка (рис. 1, 2), позволяющая проводить экспериментальные исследования с заданием деформационного воздействия.

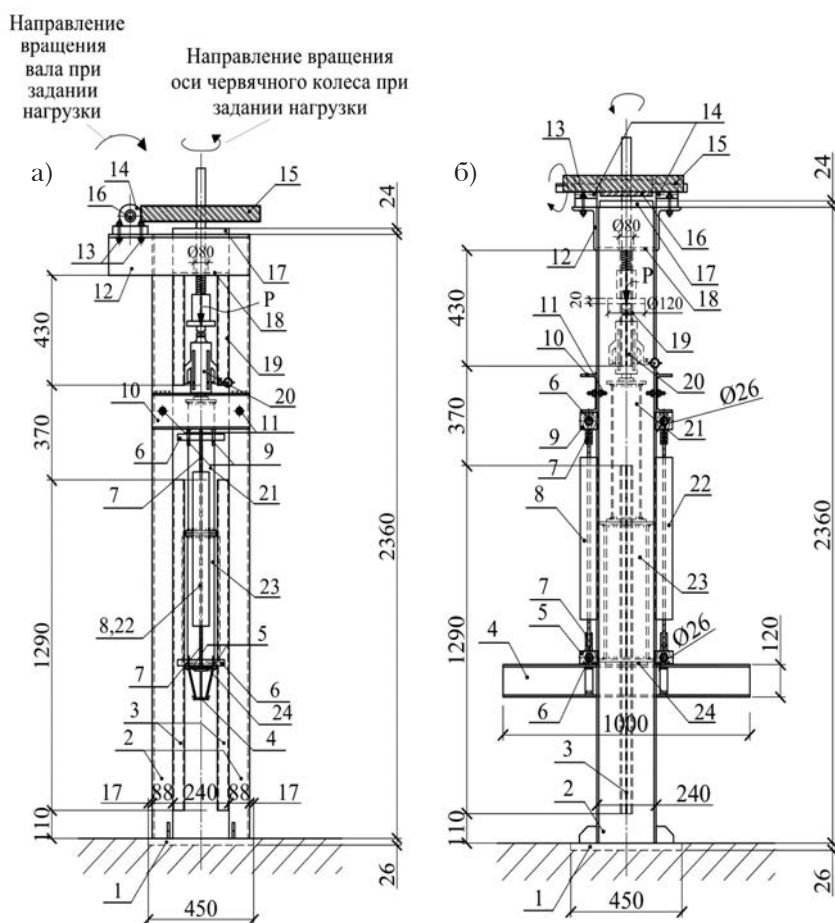


Рис. 1. Экспериментальная установка для проведения исследований с заданием деформационного воздействия:

а – боковой вид; б – фронтальный вид;

1 – опорная стальная плита; 2 – стойка, выполненная из швеллера № 24; 3 – уголок стальной равнополочный; 4 – траверса для передачи нагрузки на двутавр № 12; 5 – уголок стальной равнополочный; 6 – стальной круг; 7 – петля, приваренная к концу арматурного стержня конструкции; 8 – пример центрально-растянутой конструкции; 9 – пластина; 10 – швеллер № 14; 12 – уголок стальной неравнополочный; 13 – шпилька, закрепленная; 14 – опоры для червячного вала системы передачи нагрузки; 15 – червячное колесо со стальным цилиндром; 16 – червячный стальной вал; 17 – пластина (220×24×260 мм); 18 – пластина (240×20×240 мм с отверстием Ø80 мм); 19 – уголок равнополочный (50×5, l=430 мм); 20 – динамометр (50 тс) механический, работающий на сжатие с ИЧТ-10; 21 – штамп (l=700 мм); 22 – конструкция серии ЦР-VII-2; 23 – штамп; 24 – стальная пластина



– I группа – тензорезисторы, устанавливали по высоте поперечного сечения экспериментальных железобетонных конструкций (в том числе составных) основных серий в фибровых волокнах, в местах определения нулевой точки, т. е. перехода от удлинения к укорочению, а также на берегах шва (на расстоянии 5 мм от шва) между разными бетонами и в слоях, прилегающих к шву между бетонами на расстоянии 10 мм между их центрами;

– II группа – розетки (рис. 3), образованные четырьмя тензорезисторами под углом 45° , устанавливались в зоне сечения конструкций, расположенных на расстоянии 40 мм от шва между бетонами и на удалении 40 мм от вертикальной оси симметрии конструкции;

– III группа – тензорезисторы,

Рис. 2. Экспериментальная установка (с заданием деформационного воздействия) для проведения исследований железобетонных конструкций (в том числе составных) прямоугольного сечения при кручении изгибом: а – фронтальный вид; б – боковой вид

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Основным рабочим органом этой установки является зубчатый упорный редуктор, развитый в радиальном направлении, позволяющий плавно и фиксировано осуществлять задание деформационных воздействий, замеряемых с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,001 мм (рис. 2). Жесткость установки значительно выше (позиции 1, 2, 14, 15 и др., рис. 1) жесткости железобетонной конструкции.

Железобетонные образцы испытывали в горизонтальном положении (со свободным доступом к растянутой зоне), что позволяет детально изучить картину образования, развития и раскрытия трещин. Испытательная установка позволяет реализовывать намеченную схему нагружения с заданной длиной и варьированием плеча приложения нагрузки (рис. 2).

Исследования такого дифференциального параметра, как ширина раскрытия трещин, проводили с позиции механики разрушения, что находит отражение в проведении эксперимента.

При разработке метода экспериментальных исследований были предусмотрены четыре группы тензорезисторов на основные опытные железобетонные составные конструкции и на вспомогательные составные призмы из бетонов различных классов:

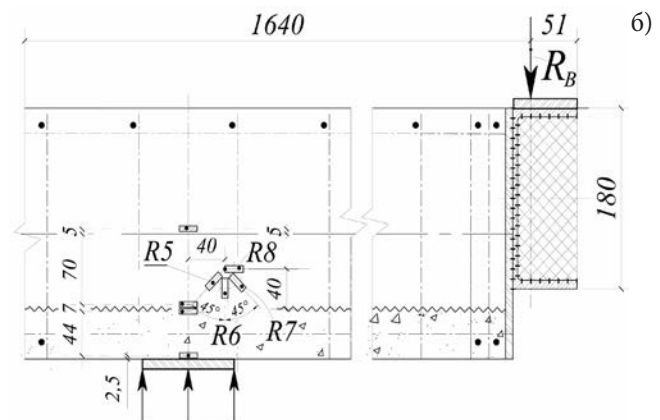
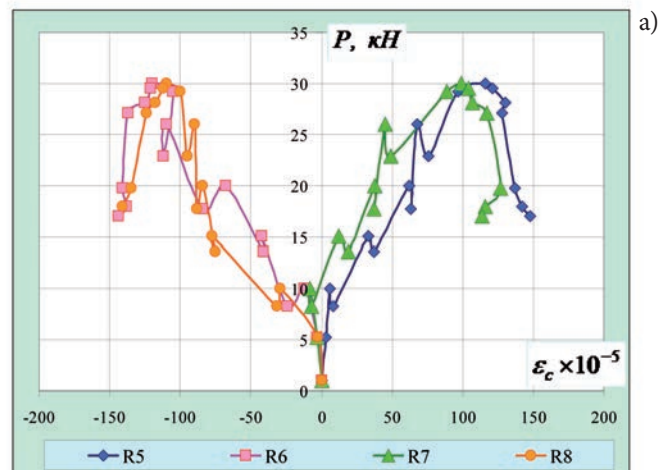


Рис. 3. Графики зависимости деформаций сжатого бетона (а) по показаниям розетки тензорезисторов от нагрузки в (б) на удалении 40 мм от шва между бетонами и средней вертикальной оси опытной составной конструкции второй серии ИКПС-II-1,6(2)



установленные на берегах образованных трещин на уровне оси растянутой арматуры и на уровне нейтральной оси между бетонами;

– **IV группа** – тензорезисторы, устанавливаемые на вспомогательные составные призмы).

Целью установки электротензорезисторов (рис. 3) является изучение распределения деформаций по высоте сжатой зоны и в окрестности, прилегающей к шву, определения размеров сжатой зоны и фактической высоты развития трещин.

Для повышения достоверности экспериментальных данных работа тензорезисторов дублируется (там, где это возможно) с помощью механических приборов (с ценой деления 0,001 мм) (рис. 4). При этом также устанавливаются механические приборы вдоль оси наиболее растянутой арматуры (рис. 4, б), которые дают возможность определить средние деформации арматуры и в сочетании с другими механическими приборами и тензорезисторами, – проверить гипотезу плоских сечений в сечении 3–3 для средних деформаций в пределах каждого из составляющих стержней.

Для измерения максимальных прогибов устанавливали прогибомеры (с ценой деления 0,01 мм). С целью исключения влияния окружающего бетона на положение гаек при деформациях, на гайки надевали специальные резиновые трубки перед бетонированием, а торцы гаек фиксировали герметиком.

Перед началом испытаний производили тщательное освидетельствование конструкции, т.е. отмечали начальные трещины, раковины, искривления и пр. В процессе кратковременного нагружения отсчеты по механическим приборам и датчикам снимали дважды: сразу после приложения нагрузки и после ее выдерживания.

Перед ожидаемым моментом трещинообразования (рис. 5) растянутую зону каждой балки тщательно осматривали, появление трещин фиксировали визуально и с помощью микроскопа МПБ-2 с 24-х кратным увеличением и ценой деления 0,05 мм с точностью до 0,025 мм. По мере дальнейшего нагружения проводили наблюдения за появлением новых трещин и развитием уже имеющихся; замеряли ширину раскрытия трещин на двух боковых гранях в выше отмеченных уровнях вдоль всего профиля трещины. По результатам исследований построены графики зависимости трещинообразующей нагрузки экспериментальных образцов сплошного и составного поперечного сечения от их длины (рис. 5, табл. 1).

Их анализ показывает, что с увеличением длины образца (и увеличением приложения силы, т.е. плеча крутящего момента), значение трещинообразующей нагрузки уменьшается как для образцов сплошного, так и для образцов составного сечения.

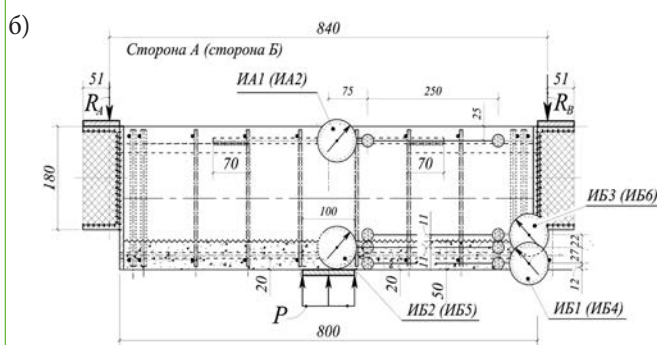
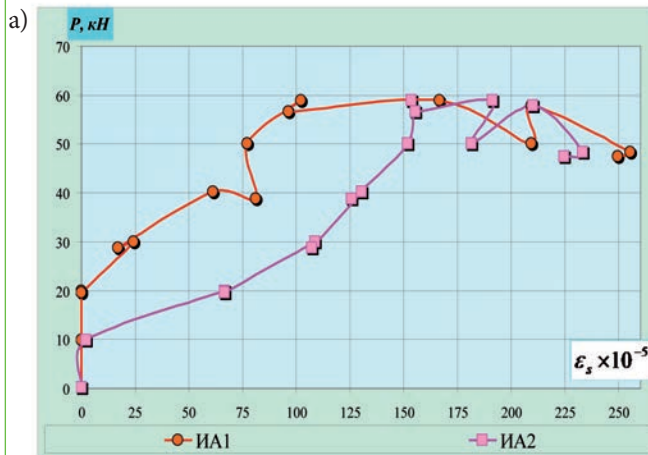


Рис. 4. Графики зависимости деформаций растянутой арматуры (а) по показаниям механических приборов ИА1(ИА2) от нагрузки в $\text{кН} \times 10^{-3}$ (б) в опытной составной конструкции первой серии ИКПС-I-0,8(2)

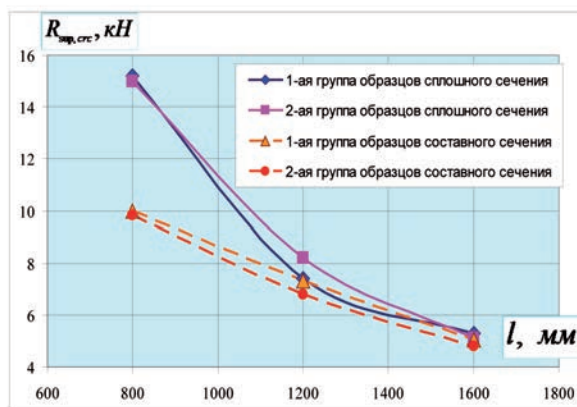


Рис. 5. Графики зависимости трещинообразующей нагрузки $R_{sup,срс}$ экспериментальных образцов сплошного и составного поперечного сечения от их длины

Зарисовки трещин производили на специальных планшетах. Во время проведения экспериментальных исследований, с помощью микроскопа МПБ-2 замеряли ширину раскрытия трещин на уровне оси продольной рабочей арматуры и поперечных стержней, а также в нескольких местах по направлению развития трещины (табл. 1).



Таблица 1. Экспериментальные параметры трещиностойкости железобетонных конструкций (в том числе составных) при кручении с изгибом

Шифр образца	$R_{sup,ср}$ кН	$R_{sup,макс}$ кН	P_{max} кН	Степень нагружения, $\frac{P_i}{P_{max}}$	Трещины первого уровня (значения в мм)					Трещины второго уровня (значения в мм)				
					$a_{ср.1}$	$a_{ср.2}$	$a_{ср.3}$	$a_{ср.4}$	$l_{ср}^I$	$a_{ср.1}$	$a_{ср.2}$	$a_{ср.3}$	$a_{ср.4}$	$l_{ср}^{II}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ИКП-I-0,8(1)	15,02	34,25	69,5	0,58	0,05	0,1	0,075	–	433	–	–	–	–	–
				0,72	0,1	0,15	0,15	–	236	0,05	0,075	0,15	–	161
				0,86	0,15	0,2	0,25	–	236	0,1	0,1	0,15	–	88
ИКП-I-0,8(2)	15,0	31,95	63,9	0,47	0,1	0,05	–	–	456	–	–	–	–	–
				0,63	0,1	0,1	0,1	–	212	0,1	0,15	0,15	–	172
				0,78	0,3	0,3	0,4	–	212	0,15	0,2	0,2	–	102
ИКПС-I-0,8(1)	10,0	24,32	48,6	0,41	–	0,05	0,1	–	340	–	–	–	–	–
				0,62	0,15	0,3	0,2	0,2	192	–	0,1	0,1	0,05	124
				0,82	0,2	0,35	0,45	0,	192	0,05	0,1	0,15	0,1	76
ИКПС-I-0,8(2)	9,82	29,46	58,9	0,51	–	0,1	0,15	0,05	424	–	–	–	–	–
				0,68	0,05	0,15	0,3	0,1	158	–	0,05	0,15	0,075	136
				0,85	0,25	0,4	1,05	0,25	158	0,15	0,3	0,35	0,3	75
ИКП-II-1,6(1)	5,3	15,85	31,7	0,33	–	0,1	0,1	–	470	–	–	–	–	–
				0,46	0,05	0,15	0,2	–	174	0,05	0,15	0,25	–	165
				0,67	0,2	0,25	0,4	–	174	0,15	0,25	0,4	–	85
ИКП-II-1,6(2)	5,1	16,4	32,8	0,61	0,075	0,1	–	–	470	0,05	0,1	0,2	–	226
				0,76	0,15	0,2	0,2	–	106	0,1	0,15	0,2	–	226
				0,91	0,8	1,0	0,7	–	106	0,6	0,5	0,5	–	144
ИКПС-II-1,6(1)	5,0	12,0	24,0	0,42	–	0,05	0,1	–	229	–	–	–	–	–
				0,66	0,1	0,2	0,2	0,1	94	–	0,1	0,1	0,1	116
				0,83	0,25	0,25	0,25	0,35	94	0,1	0,2	0,1	0,25	48
ИКПС-II-1,6(2)	5,0	15,0	30,0	0,50	0,05	0,1	0,15	0,05	242	–	–	–	–	–
				0,67	0,1	0,3	0,2	0,05	242	–	0,05	0,1	0,05	96
				0,87	0,1	0,2	0,2	0,2	242	0,05	0,2	0,2	0,1	55
ИКП-III-1,2(1)	7,4	18,2	36,4	0,41	–	0,05	0,1	–	315	–	–	–	–	–
				0,55	0,1	0,2	0,2	–	248	–	0,1	0,1	–	135
				0,82	0,25	0,4	0,5	–	248	0,1	0,25	0,3	–	71
ИП-III-1,2(2)	19,8	63,7	127,4	0,46	0,05	0,05	0,1	–	577	–	–	–	–	–
				0,71	0,1	0,25	0,1	–	577	–	0,1	0,1	–	324
				0,86	0,15	0,3	0,1	–	577	–	1,2	0,8	–	115
ИКПС-III-1,2(1)	7,3	16,7	33,4	0,44	0,05	0,1	0,1	0,05	–	–	–	–	–	–
				0,60	0,15	0,2	0,1	0,075	162	0,05	0,15	0,15	–	134
				0,90	0,2	0,3	0,4	0,2	162	0,1	0,2	0,3	0,2	68
ИКПС-III-1,2(2)	6,8	17,5	35,1	0,28	–	–	0,05	–	492	–	–	–	–	–
				0,57	0,1	0,2	0,1	0,1	492	–	0,1	0,05	–	244
				0,88	0,2	0,5	0,35	0,3	492	0,15	0,25	0,8	0,2	165

Примечание: $a_{ср.1}$ – ширина раскрытия трещин на уровне оси рабочей арматуры, мм; $a_{ср.2}$ – то же, на удалении трех диаметров от оси рабочей арматуры, мм; $a_{ср.3}$ – то же, на уровне середины высоты сечения, мм; $a_{ср.4}$ – то же, на уровне шва между разными бетонами; $l_{ср}^I$ – расстояние между трещинами первого уровня на ступени нагружения на уровне оси рабочей арматуры, $l_{ср}^{II}$ – расстояние между трещинами второго уровня на ступени нагружения на уровне оси рабочей арматуры, мм



Примеры картины трещин, их раскрытие и распространение на каждой ступени показаны на рис. 6, 7.

ВЫВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ РАЗРАБОТОК.

1. Проведенные экспериментальные исследования позволили получить опытные данные трещинообразования, схемы развития и раскрытия трещин, опытные деформации рабочей арматуры, бетона, ширину раскрытия трещин вдоль всего профиля развития трещины, расстояния между трещинами при действии сложного сопротивления – кручения с изгибом, что дополняет имеющийся экспериментальный материал.

2. Обозначены пути приведения в соответствие опытных параметров трещиностойкости железобетона, определяемых с помощью микроскопа их теоретическим значениям, получаемых на основе разрабатываемых расчетных моделей сопротивления. При этом основной упор сделан на основные положения,

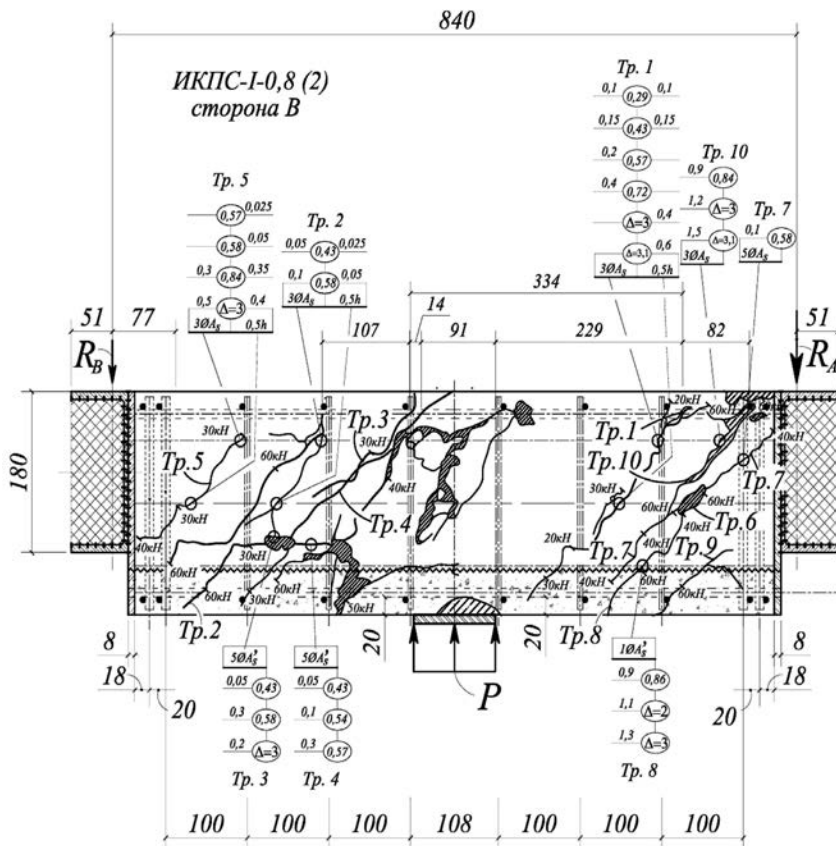


Рис. 6. Схема трещин опытной конструкции первой серии ИКПС–I–0,8 (2) на стороне В (в овалах показаны отношения между нагрузкой на ступени и разрушающей нагрузкой, а также перемещения Δ в мм, задаваемые конструкции после прохождения разрушения – ниспадающая ветвь деформирования на диаграмме σ - ϵ)

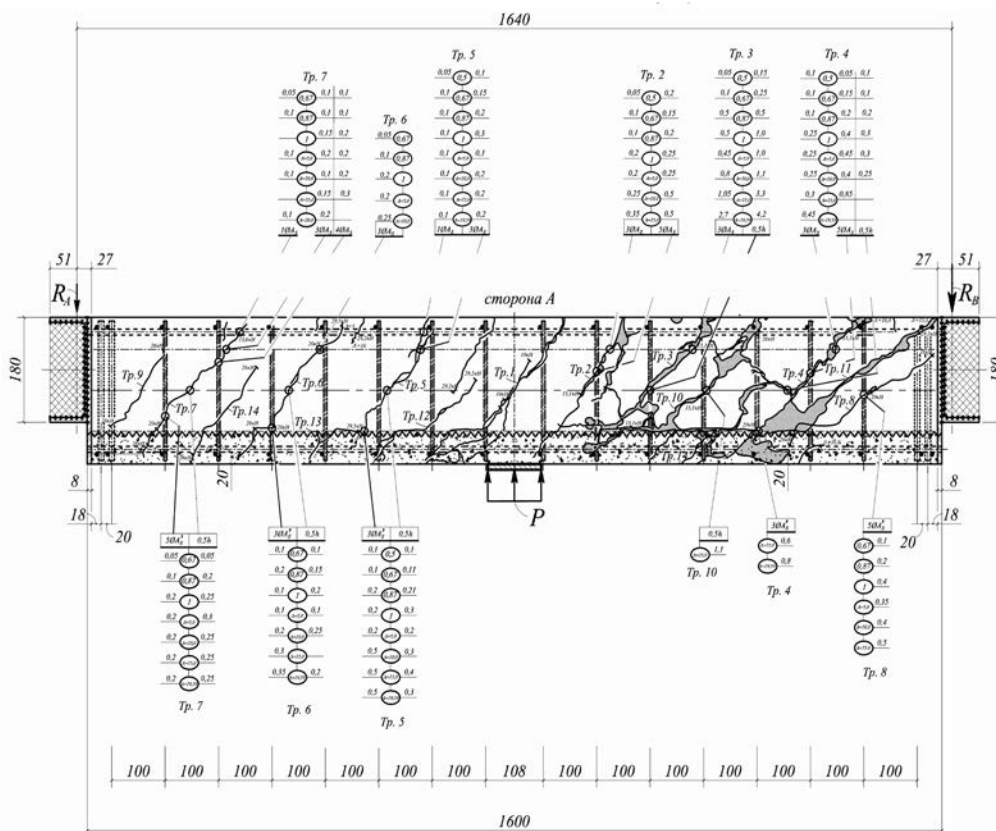


Рис. 7. Схема трещин опытной конструкции второй серии ИКПС–I–1,6 (2) на стороне А (в овалах показаны отношения между нагрузкой на ступени и разрушающей нагрузкой, а также перемещения Δ в мм, задаваемые конструкции после прохождения разрушения – ниспадающая ветвь деформирования на диаграмме σ - ϵ)



рабочие гипотезы и тонкий инструментарий механики разрушения, адаптированные применительно к железобетону. В качестве трансформационного элемента между зависимостями механики разрушения и теории железобетона был выбран двухконсольный элемент. Разработка такого двухконсольного элемента позволит избежать громоздких математических преобразований с использованием комплексных чисел при выводе расчетных зависимостей, приемлемых для практического использования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Демьянов А.И. Экспериментальные исследования деформирования железобетонных конструкций при кручении с изгибом / А.И. Демьянов, В.И. Колчунов, А.А. Покусаев // Строит. механика инженерных конструкций и сооружений. – 2017. – № 6. – С. 37–44.
2. Демьянов А.И. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций при кручении с изгибом / А.И. Демьянов, А.С. Сальников, В.И. Колчунов // Стр-во и реконструкция. – 2017. – № 4 (72). – С. 17–26.
3. Колчунов В.И. Экспериментальные исследования трещинообразования железобетонных конструкций при кручении с изгибом / В.И. Колчунов, А.С. Сальников // Стр-во и реконструкция. – 2016. – № 3 (65). – С. 24–32.
4. Сальников А.С. Расчетная модель образования пространственных трещин первого вида при кручении с изгибом / А.С. Сальников, В.И. Колчунов, И.А. Яковенко // Пром. и гражданское стр-во. – 2015. – № 3. – С. 35–40.
5. Salnikov A., Kolchunov V., Yakovenko I. (2015). The computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending. Applied Mechanics and Materials. - Vols. 725-726. - pp. 784–789.
6. Расчетные модели статико-динамического деформирования железобетонной конструкции при кручении с изгибом в момент образования пространственной трещины / [А.И. Демьянов, В.И. Колчунов, А.С. Сальников, М.М. Михайлов] // Стр-во и реконструкция. – 2017. – № 3 (71). – С. 13–22.

REFERENCES

1. Demianov A.I., Kolchunov V.I., Pokusaev A.A. (2017). The experimental studies of deformation of reinforced concrete structures in torsion with bending. Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings. Vol. 6, pp. 37–44 (in Russian).
2. Demianov A.I. Pokusaev A.A., Kolchunov V.I. (2017). The experimental studies of reinforced concrete structures in torsion with bending. Buildings and Reconstruction. Vol. 4 (72), pp. 17–26 (in Russian).
3. Kolchunov V.I. Salnikov A.S. (2016). The experimental studies of cracking of reinforced concrete structures under torsion with bending. Buildings and Reconstruction. Vol. 3 (65), pp. 24–32 (in Russian).
4. Salnikov A.S., Kolchunov V.I., Yakovenko I.A. (2015). The calculation model of the first type spatial cracks formation under the action torsion with bending. Industrial and Civil Engineering. Vol.3, pp. 35–40 (in Russian).
5. Salnikov A., Kolchunov V., Yakovenko I. (2015). The computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending. Applied Mechanics and Materials. - Vols. 725-726. - pp. 784–789 (in English).
6. Demianov A.I, Kolchunov V.I., Salnikov A.S, Mihailov M.M. (2017). The calculation models of static and dynamic deformation reinforced concrete constructions in torsion with bending at the time of the spatial crack formation. Buildings and Reconstruction. Vol. 3 (71), pp. 13–22 (in Russian).

Статья поступила в редакцию 04.09.2017 г.