

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-2-41-52

¹*Колчунов В.И., ²Козарез А.В., ³Протченко М.В.¹Юго-Западный государственный университет²Крымский федеральный университет им. Вернадского³Брянский инженерно-технологический университет

*E-mail: vlik52@mail.ru

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ДЕФОРМИРУЕМОМ ОСНОВАНИИ ПРИ ИЗГИБЕ С КРУЧЕНИЕМ

Аннотация. В статье получены результаты экспериментальных исследований железобетонных конструкций при кручении с изгибом. Определены основные параметры напряженно-деформируемого состояния восьми серий конструкций, в том числе на деформируемом основании и составных. Разработан испытательный стенд для реализации выбранных схем нагружения и получения достоверных опытных значений трещинообразующей нагрузки, прогибов, углов поворота, ширины раскрытия трещин, расстояния между трещинами, а также других параметров конструкций. Нагружение проводилось небольшими ступенями с учетом выдержки нагрузки. Ширина раскрытия трещин измерялась в сжатой и растянутой зонах, на уровне рабочей арматуры и на расстоянии два с половиной диаметра от ее оси. Дополнительно определялся характер развития трещин. Испытания проводились для конструкций на деформируемом основании, а также для составных конструкций из двух слоев бетона различных классов. Прогибы измерялись в 6 точках, с одновременным определением углов поворота. В результате исследований получены значения относительных деформаций по показаниям электротензорезисторов, прогибов и углов поворота в центре испытываемой конструкции и в местах приложения нагрузки.

Ключевые слова: изгиб с кручением, железобетонные конструкции, экспериментальные исследования, пространственные трещины, ширина раскрытия трещин, прогиб, угол поворота

Введение. Строительство современных зданий и сооружений все чаще сопряжено с применением расчетов конструкций при воздействии сложного сопротивления в виде изгиба с кручением. [1–5]. Данный вид напряженно-деформированного состояния встречается при проектировании конструкций железобетонных высотных зданий, воспринимающих асимметричные нагрузки, зданий и сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях.

Актуальность проводимых экспериментальных и теоретических исследований конструкций заключается в возможности совершенствования существующих расчетных методик и проверке новых разрабатываемых моделей при данном виде сложного сопротивления [6–11]. За все время исследований проведено сравнительно малое количество экспериментальных и теоретических исследований конструкций при изгибе с кручением [12–20], особенно на деформируемом основании.

Стоит отметить, что существующие экспериментальные исследования сопротивления железобетонных конструкций учитывают малое число опытных параметров. При этом главными из них, требующими углубленного изучения, являются длина и раскрытие трещин при изменении величины нагрузки. Дополнительно необходимо учитывать эффект нарушения сплошности

бетона в областях рабочей арматуры, примыкающих к трещинам. Поэтому получение достоверных экспериментальных данных о состоянии железобетонных конструкций при кручении с изгибом является важным и актуальным фактором развития современной теории железобетона, который позволит уточнить параметры обобщенной трещинообразующей нагрузки, ширины раскрытия трещин, расстояний между трещинами и координаты их образования.

Методика проведения исследований. Экспериментальные исследования были проведены с целью проверки разрабатываемой расчетной модели и определения ключевых характеристик сопротивления железобетонных конструкций при кручении с изгибом на деформируемом основании. Для выполнения опытных исследований определены следующие основные задачи:

1) разработка программы экспериментальных исследований железобетонных конструкций на деформируемом основании;

2) экспериментальная проверка разрабатываемой расчетной методики по оценке сопротивления при кручении с изгибом;

3) определение зависимостей главных экспериментальных параметров, таких как: нагрузка при образовании трещин $R_{sup,crc}$ и в момент раз-

рушения $R_{sup,u}$; прогибы и углы поворота; ширина раскрытия трещин на уровне оси продольной, поперечной растянутой арматуры.

Испытания проведены для восьми серий железобетонных балок сечением 98×200 мм и длиной 1200 мм. Конструкции 1–6 серий испытывались на деформируемых грунтовых основаниях с различным сочетанием заполнителей (песок, щебень, а также проседающий участок грунта) и оснований, 7–8 серии являются составными, с использованием различных классов бетона для сжатой и растянутой зон. Основные параметры экспериментальных балок 1 и 2 группы испытаний представлены в таблице 1 (шифр обычных железобетонных конструкций для аспиранта Козарез А.В.) и таблице 2 (шифр обычных и составных железобетонных конструкций для аспиранта Протченко М.В.). При бетонировании экспериментальных конструкций были изготовлены дополнительные образцы в соответствии с ГОСТ 10180–2012 для определения прочностных свойств бетона на 28-е и 56-е сутки.

При проведении испытаний реализованы две схемы нагружений, а также три варианта деформируемого основания, которое состоит из шести независимых отсеков на песчаной подушке с возможностью использования различных заполнителей, а также пустот основания. Предлагаемые схемы нагружения, локализация

деформируемого основания, а также отеков с пустотами представлены на рисунке 1 и 2. Поперечное и продольное армирование выполнено из гладкой арматурной стали класса А240С диаметром 6 мм. Также были проведены испытания составных конструкций.

Специально сконструированный стенд «КРАБ» выполнен в виде лотка с размерами 1,3×0,56×0,5 м (ДхШхВ) и используется для испытаний железобетонных конструкций длиной до 1,2 м. Лоток собран из деревянных досок толщиной 3 см, которые объединены внутри контура деревянными брусками сечением 4×4 см. Днище отсутствует. Лоток поделен на шесть отсеков: первый и шестой отсек имеют размеры в плане 0,5×0,235 м, а со второго по пятый отсек – 0,5×0,17 м. По двум сторонам стенда, на каждой из сторон, предусмотрено четыре отверстия диаметром 10 см, предназначенные для образования просадки грунтового основания. Каждое отверстие закрыто фанерой размерами 0,33×0,11 м. Во второй и пятый отсек на глубину 30 см был погружен щебень с фракцией 10–20 мм в полиэтиленовых мешках. Толщина слоя составляла 20 см. Для второй группы испытаний во втором и пятом отсеке удалены ребра, а жесткость отсека достигается путем использования только щебеночных заполнителей в полиэтиленовых либо холщевых мешках. Жесткость стенда также достигается продольными горизонтальными брусками размером 10×10 см.

Таблица 1

Серии, объем и характеристики экспериментальных конструкций аспиранта Козарез А.В.

№ серии	Шифр конструкции	h , мм	b , мм	l , мм	Схема испытаний (рис.1)	Плечо приложения нагрузки, мм	Арматура растянутой и сжатой зоны, диаметр – мм, класс	Класс бетона
I	C1-B1	200	98	1200	1	250	Ø6A240C	B25
	C1-B2	200	98	1200	1	250	Ø6A240C	B25
II	C2-B1	200	98	1200	2	250	Ø6A240C	B25
	C2-B2	200	98	1200	2	250	Ø6A240C	B25
III	C3-B1	200	98	1200	3	250	Ø6A240C	B25
	C3-B2	200	98	1200	3	250	Ø6A240C	B25
IV	C4-B1	200	98	1200	4	250	Ø6A240C	B25
	C4-B2	200	98	1200	4	250	Ø6A240C	B25
V	C5-B1	200	98	1200	5	250	Ø6A240C	B25
	C5-B2	200	98	1200	5	250	Ø6A240C	B25
VI	C6-B1	200	98	1200	6	250	Ø6A240C	B25
	C6-B2	200	98	1200	6	250	Ø6A240C	B25

Стенд «КРАБ» погружался в установку в виде металлического лотка и силовой рамы из двутавровой балки и стоек. Лоток выполнен в виде стального короба размером 2,0×2,0 м, а также имеет усиление из швеллеров. Для стоек стенда использовался прокатный двутавр №27, привариваемый к лотку. Внутренняя полость

лотка была заполнена кварцевым песком средней крупности с влажностью 0,04...0,06 о. е. Конечная плотность замерялась иглой-плотномером в 20 точках составила 1,80–1,85 т/м³. Мощность слоя песка – 1,95 м. Песок уплотнялся послойно каждые 10 см, начиная от днища лотка, по два этапа в пять ступеней.

Таблица 2

Серии, объем и характеристики экспериментальных конструкций аспиранта Протченко М.В.

№ серии	Шифр конструкции	h , мм	b , мм	l , мм	Схема испытаний (рис. 1)	Плечо приложения нагрузки, мм	Арматура растянутой и сжатой зоны, диаметр – мм, класс	Класс бетона	
								растянутой зоны	сжатой зоны
I	C1-Б1,а	200	98	1200	1	250	Ø6A240C	B25	
	C1-Б2,б	200	98	1200	1	250	Ø6A240C	B25	
II	C2-Б1,а	200	98	1200	2	250	Ø6A240C	B25	
	C2-Б2,б	200	98	1200	2	250	Ø6A240C	B25	
III	C3-Б1,а	200	98	1200	3	250	Ø6A240C	B25	
	C3-Б2,б	200	98 <td 1200	3	250	Ø6A240C	B25		
IV	C4-Б1,а	200	98	1200	4	250	Ø6A240C	B25	
	C4-Б2,б	200	98	1200	4	250	Ø6A240C	B25	
V	C5-Б1,а	200	98	1200	5	250	Ø6A240C	B25	
	C5-Б2,б	200	98	1200	5	250	Ø6A240C	B25	
VI	C6-Б1,а	200	98	1200	6	250	Ø6A240C	B25	
	C6-Б2,б	200	98	1200	6	250	Ø6A240C	B25	
VII	C7-БС1	200	98	1200	1	250	Ø6A240C	B20	B30
	C7-БС2	200	98	1200	1	250	Ø6A240C	B20	B30
	C7-БС3	200	98	1200	1	250	Ø6A240C	B20	B30
VIII	C8-БС1	200	98	1200	2	250	Ø6A240C	B20	B30
	C8-БС2	200	98	1200	2	250	Ø6A240C	B20	B30
	C8-БС3	200	98	1200	2	250	Ø6A240C	B20	B30

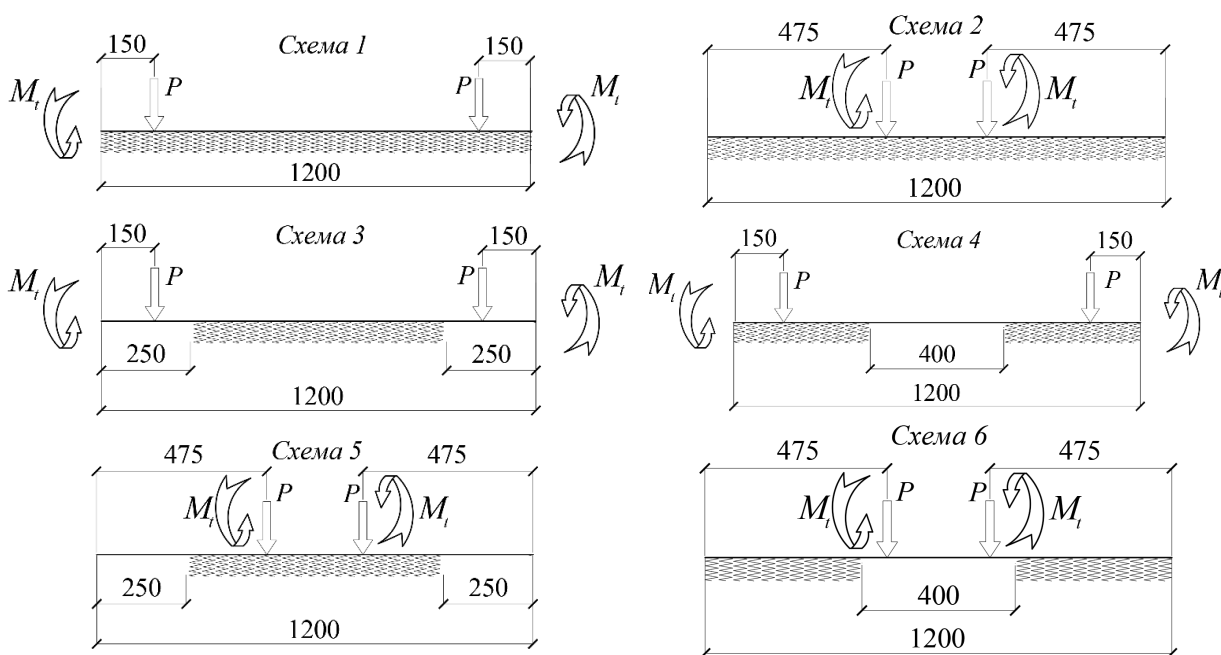


Рис. 1. Схема проведения испытаний

Для выбора схемы уплотнения грунтового основания в стенде «КРАБ», было проанализированы три различных варианта: уплотнение каждого отсека отдельно; попарное уплотнение отсеков (1 и 2, 3 и 4, 5 и 6), а также попарное уплотнение отсеков с одним видом заполнителя (1 и 3,

2 и 4, 5 и 6). Согласно построенным графикам, «нагрузка-осадка», наиболее эффективной оказалась третья схема уплотнения, которая и была принята для проведения испытаний, как наиболее рациональная.

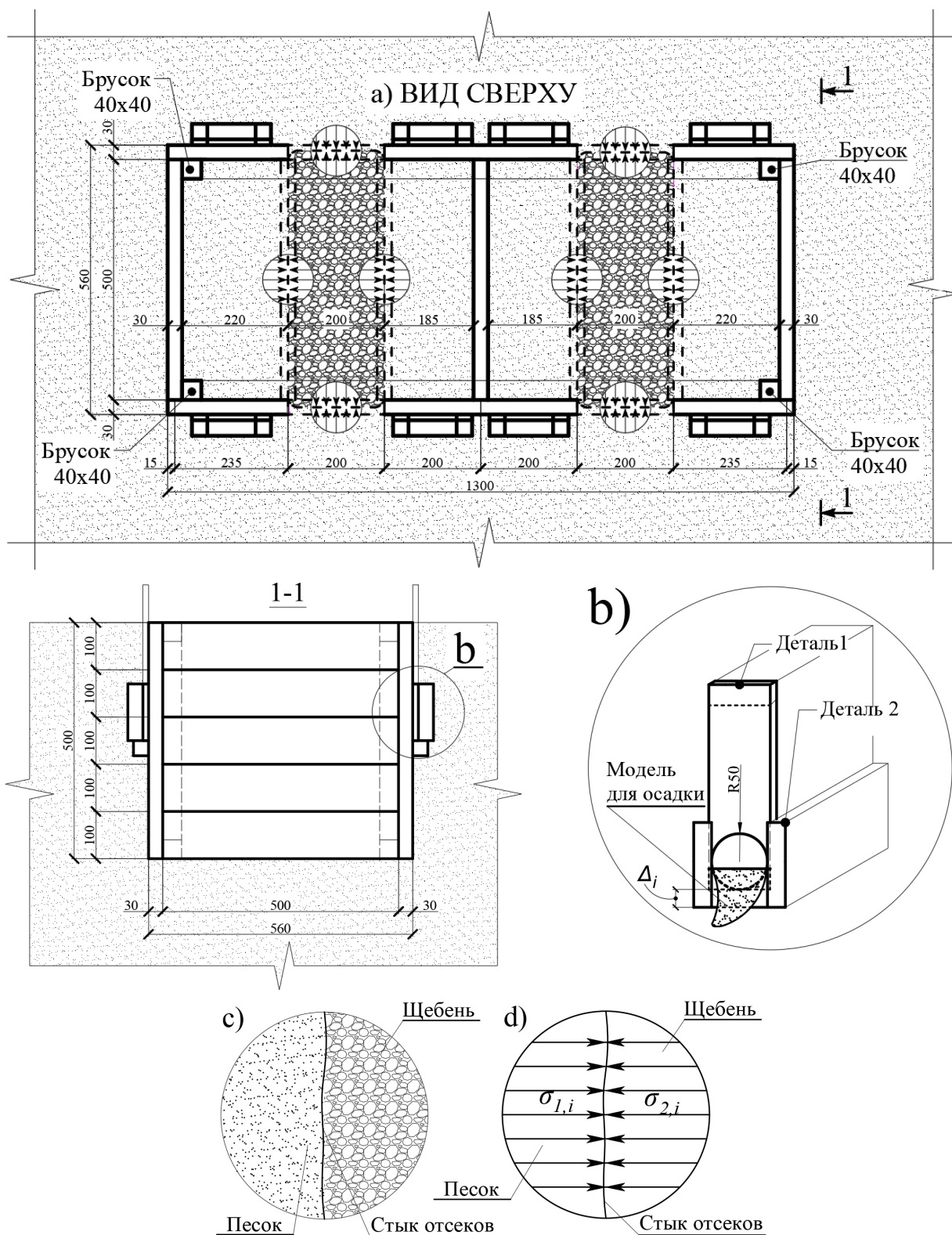


Рис. 2. Схема испытательной установки:
 а) вид сверху и разрез 1-1; б) модель для осадки; в) стык отсеков; д) напряжения в стыке отсеков

На предварительно просеянный, уплотненный и выровненный контактный слой песка мембраной вниз укладывались месдозы. После укладки месдоз на глубину не более 15 мм, зона равномерно обсыпалась песком, а новый слой основания уплотнялся и выравнивался. Мембрана

прогибалась при воздействии нагрузки, что вызывало растяжение тензорезистора и изменение его внутреннего сопротивления. Показания месдоз регистрировали через коммутатор.

Перед испытанием месдозы градуировались в экспериментальной установке под жестким

Прогибомеры марки ПАУ-6, устанавливаемые в середине конструкции, а также в точках приложения нагрузок, представлены на рис. 3. (П1-П6). Объемная модель испытательного стенда с закрепленным образцом представлена на рис. 4. Конструкция стенда позволила получить доступ к растянутой зоне бетона для детального изучения картины образования, развития и раскрытия трещин.

Результаты исследований. Перед испытанием осуществлялся осмотр конструкций на предмет естественных дефектов (сколов, начальных трещин и др.). Деформирование проводилось до разрушения с целью получения наибольшего числа экспериментальных данных. На каждом этапе нагружения конструкции осматривались на предмет образования и развития трещин. Фиксация трещин осуществлялась графически на специализированных планшетах. Измерение

ширины раскрытия трещин производилось на уровне рабочей арматуры, а также на удалении двух с половиной диаметров от ее оси ввиду деформационного эффекта в виде эллипсоида трещины.

Линейные деформации испытуемых конструкций фиксируются при помощи электротензорезисторов базой 50 мм, которые устанавливаются в фибровых волокнах или сжатой зоне бетона под концом опасной пространственной трещины.

По результатам испытания получены зависимости относительных деформаций по показаниям электротензорезисторов, углов поворота и прогибов конструкции от прикладываемой нагрузки (рис. 5). Значения прогибов и углов поворота были определены на каждом этапе нагружения конструкций.

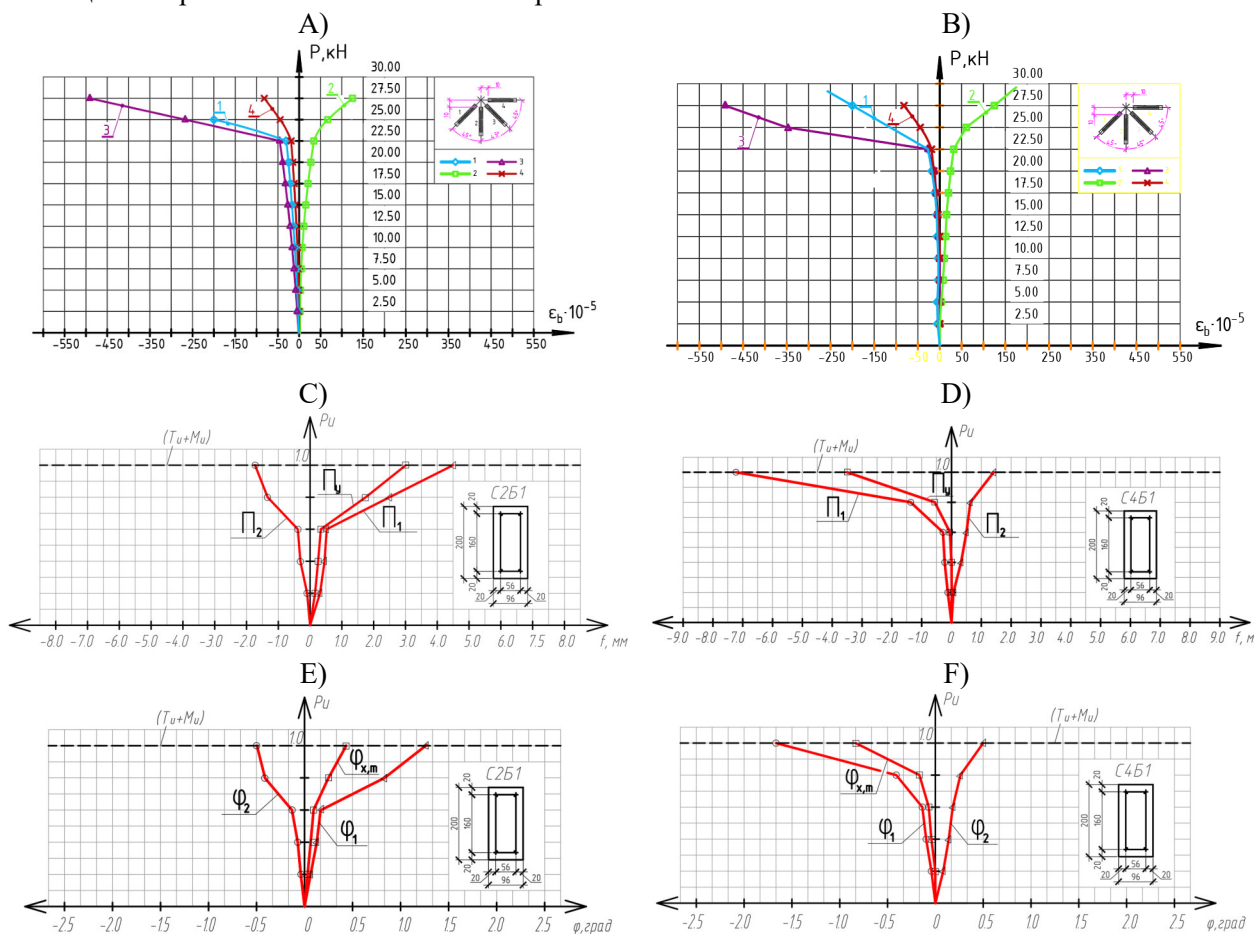


Рис. 5. График зависимости «нагрузка-деформации» по показаниям розетки электротензорезисторов для балки 1 серии ii (A) и iv (B), а также зависимости прогибов и углов поворота от деформации для балки 1 серии II (C, D) и IV (E, F) соответственно

Появление и развитие трещин в растянутой зоне фиксируется микроскопом МПБ-3 с 30-ти кратным увеличением, ценой деления 0.05 мм и точностью до 0.025 мм. Картины образования и

развития трещин при проведении испытаний железобетонных конструкций на деформируемом основании при кручении с изгибом приведены на рис. 6 и 7.

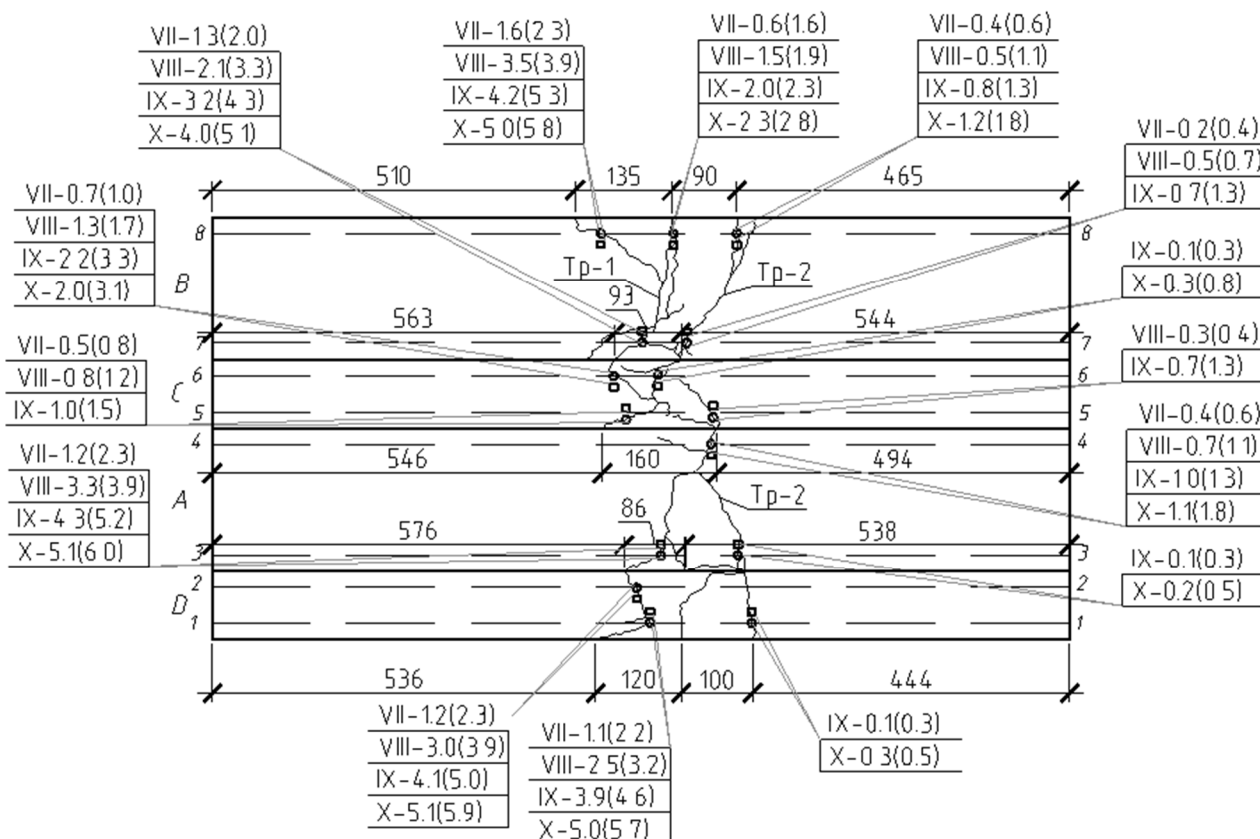


Рис. 6. Раскрытие трещин в экспериментальной железобетонной конструкции С2-Б1

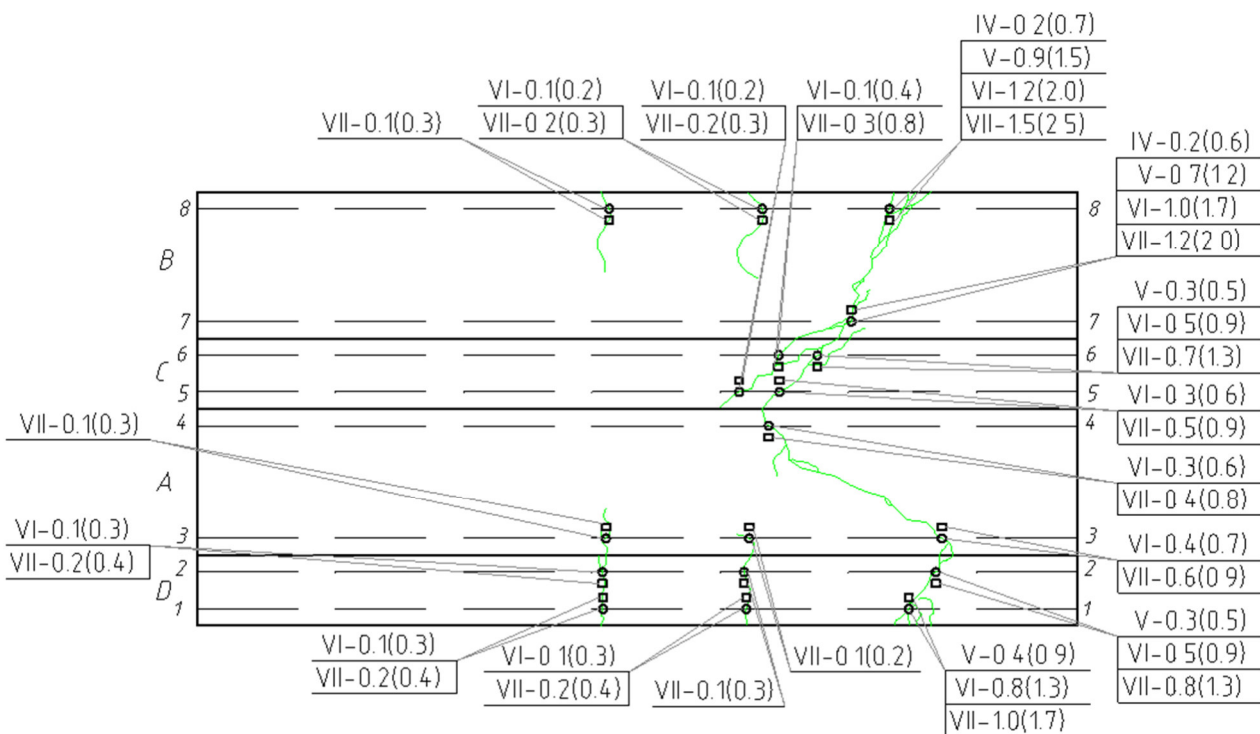


Рис. 7. Раскрытие трещин в экспериментальной железобетонной конструкции С4-Б1

*Без скобок приведены значения ширины раскрытия трещин, замеренные вдоль оси рабочей арматуры, в скобках – то же, на удалении двух с половиной диаметров от оси рабочей арматуры

Информация о максимальной ширине раскрытия трещин дополнительно фиксировалась в специализированном журнале испытаний. Значения

максимальной ширины раскрытия на боковой стороне конструкции и минимального расстояния между трещинами сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Экспериментальные значения ширины раскрытия трещин и расстояния между трещинами

№ серии	Шифр конструкции	P _и , кН	Степень нагружения P _i / P _{max}	Ширина раскрытия трещин на боковой стороне А, мм		Ширина раскрытия трещин на боковой стороне В, мм		Расстояние между трещинами $l_{crс,min}$, мм	
				$a_{crс-s}$	$a_{crс,max}$	$a_{crс-s}$	$a_{crс,max}$	Сторона А	Сторона В
I	С1-Б1	7,35	0,55	1,2	2,5	0,5	0,8	235	190
			0,70	2,5	3,9	1,2	1,5		
			0,85	4,0	6,5	1,8	2,1		
			1,0	4,5	8,5	3,0	3,5		
	С1-Б2	7,35	0,4	1,0	1,6	1,0	1,6	360	370
			0,6	1,5	2,0	1,5	2,0		
II	С2-Б1	22,05	0,4	2,3	2,9	1,0	1,8	70	130
			0,6	3,1	3,1	2,5	2,9		
			0,8	4,7	4,7	3,1	3,5		
			1,0	5,2	5,2	4,0	4,9		
	С2-Б2	22,05	0,4	1,2	2,3	1,6	2,3	86	135
			0,6	3,3	3,9	3,5	3,9		
III	С3-Б1	8,58	0,55	–	–	0,3	0,8	260	350
			0,70	0,1	0,3	0,6	1,5		
			0,85	0,2	0,4	1,0	2,1		
			1,0	0,2	0,5	1,2	2,5		
	С3-Б2	8,58	0,55	1,2	2,5	0,5	0,8	320	465
			0,70	2,5	3,9	1,2	1,5		
IV	С4-Б1	7,35	0,25	–	–	0,2	0,7	455	200
			0,5	–	–	0,9	1,5		
			0,75	0,4	0,7	1,2	2,0		
			1,0	0,6	0,9	1,5	2,5		
	С4-Б2	7,35	0,25	–	–	–	–	170	160
			0,5	0,2	0,5	–	–		
V	С5-Б1	9,8	0,7	0,9	1,2	0,2	0,3	140	90
			0,8	1,3	1,8	0,4	0,7		
			0,85	2,5	2,9	0,6	1,2		
			1,0	3,0	3,7	0,8	1,6		
	С5-Б2	9,8	0,7	–	–	0,5	0,9	110	80
			0,8	0,3	0,9	0,9	1,5		
VI	С6-Б1	12,25	0,3	–	–	0,7	1,2	60	50
			0,5	0,1	0,2	1,1	1,7		
			0,7	0,3	0,4	1,8	2,2		
			0,9	0,3	0,7	2,2	2,7		
	С6-Б2	12,25	0,3	0,9	1,5	–	–	100	130
			0,5	1,6	2,1	0,2	0,4		
			0,7	2,1	2,8	0,5	1,4		
			0,9	2,9	3,3	0,9	1,7		

Выводы.

1. Сформулированы цель и задачи проводимых исследований. Определены число испытываемых конструкций, схемы испытаний. Испытательный стенд используется для получения данных трещинообразующей нагрузки, координат образования трещин, прогибов и углов поворота, ширины раскрытия трещин и расстояний между ними, а также главных деформаций при изменении точек приложения нагрузки, величины изгибающего и крутящего моментов для сложного сопротивления в виде изгиба с кручением на деформируемом основании

2. Разработанная методика испытаний конструкций позволяет проверить расчетную модель и данные о напряженно-деформированном состоянии опытных образцов под действием изгиба с кручением на сложном деформируемом грунтовом основании. При этом технология включает отдельные области для песчаных и щебеночных грунтов и их границы между отдельными областями с месдозами, а также специальный способ для определения просадки.

3. Разработаны технология и алгоритм проведения испытаний, Описан порядок сборки испытательного стенда «КРАБ», схема уплотнения отсеков для слоев основания с помощью домкрата с манометром на 250 кг/см^2 с приведением к расчетному давлению 400 кг/см^2 для каждого отсека.

4. В соответствии с программой экспериментальных исследований определены достоверные данные о напряженно-деформированном состоянии железобетонной конструкции на деформируемом основании, по показаниям розеток тензорезисторов получены графики зависимости деформаций от нагрузки, определены ширина раскрытия трещин, расстояние между трещинами, прогибы и углы поворота.

5. По результатам испытаний определены соотношения между опытными величинами и проведен анализ. Наименьшие значения прогибов железобетонной конструкции резонно получено при использовании первой схемы испытаний с шестью песчаными отсеками. Наибольшие прогибы и углы поворота конструкции наблюдаются при использовании четвертой схемы испытаний. По сравнению с первой серией величины прогиба отличаются более чем в 2–2,1 раза в отсеках с песчаным и щебеночным основанием и в 2,5–3 раза для 3 и 4 отсеков с просадкой грунта в сравнении с аналогичными песчаными отсеками. Для 4 схемы испытаний наибольший изгибающий момент находится в центре железобетонной конструкции, поэтому характер полученных результатов хорошо описывается теорией. При этом величина углов поворота отличается не так

незначительно: порядка 1,8–2 раз в зависимости от замеряемой точки. Также 4 схема испытаний имеет наименьшую ширину раскрытия трещин.

Отношения прогибов конструкции составляет 1,1–6 раз (отношение серии 2 к серии 1), 1,2–1,3 раза (серия 3 к серии 1), 2–2,5 раза (серия 4 к серии 1), 1,4–4 раза (серия 5 к серии 1), 1,2–2,4 раза (серия 6 к серии 1).

6. Наибольшие разрушающие нагрузки имеют 2, 5 и 6 схема испытаний за счет обеспечения минимального изгибающего и крутящего моментов. В случае, когда отсеки с просадкой грунта остаются ненагруженными, разрушение происходит при наименьшем усилии, за счет большей величины реакции грунтов основания в точках приложения внешних моментов. Прогиб конструкции в точках приложения сил на грунтовое основание выше по сравнению с просадкой основания 1,5–1,8 раза, а угол поворота в 1,4–1,6 раза.

Отношения углов поворота конструкции составляет 1,2–5,6 раз (отношение серии 2 к серии 1), 1,5–1,8 раза (серия 3 к серии 1), 1,3–2,7 раза (серия 4 к серии 1), 1,5–3,3 раза (серия 5 к серии 1), 1,1–2,8 раза (серия 6 к серии 1).

7. Ширина раскрытия трещин при нагружении пустотных отсеков основания выше в 1,2–1,8 раза чем при нагружении песчаных отсеков. При этом наибольшие значения ширины раскрытия трещин наблюдаются для 1, 2 и третьей схемы испытаний 6–8,5 мм. Значения ширины раскрытия трещин на расстоянии двух с половиной диаметров отличается от 1,2 до 2 раз в зависимости от серии конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гольшев А. Б., Колчунов Вл. И. Сопротивление железобетона К.: Основа. 2009. 432 с.
2. Бондаренко В.М., Колчунов Вл.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. М.: АСВ, 2004. 471 с.
3. Верюжский Ю.В., Колчунов Вл.И. Методы механики железобетона. Учебное пособие. К.: Книжное издательство НАУ, 2005. 653 с
4. Гольшев А. Б., Колчунов Вл. И., Яковенко И. А. Сопротивление железобетонных конструкций, зданий и сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях. К.: Талком, 2015. 371 с.
5. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройиздат, 1996. 410 с.
6. Kim C., Kim S., Kim K.-H., Shin D., Haroon, M., Lee, J.-Y. Torsional Behavior of Reinforced Concrete Beams with High-Strength Steel Bars // ACI Structural Journal. 2019. 116. Pp. 251–233. DOI:10.14359/51718014

7. Bernardo L. Modeling the Full Behavior of Reinforced Concrete Flanged Beams under Torsion // Applied Sciences. 2019. Vol. 9: 2730. Pp. 1–16. DOI:10.3390/app9132730
8. Karpyuk V.M., Kostyuk A.I., Semina Y.A. General Case of Nonlinear Deformation-Strength Model of Reinforced Concrete Structures // Strength of Materials. 2018. Vol. 50, №. 3. Pp. 453–454. DOI: 10.1007/s11223-018-9990-9
9. Křístek V., Průša J., Vitek J.L. Torsion of Reinforced Concrete Structural Members // Solid State Phenomena. 2018. Vol. 272. Pp. 178–184. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.272.178
10. Santhakumar R., Dhanaraj R., Chandrasekaran E. Behaviour of retrofitted reinforced concrete beams under combined bending and torsion: A numerical study // Electronic Journal of Structural Engineering, 2007. No. 7. Pp. 1–7. DOI: 10.56748/ejse.769
11. Kalkan I., Kartal S. Torsional Rigidities of Reinforced Concrete Beams Subjected to Elastic Lateral Torsional Buckling // International Journal of Civil and Environmental Engineering. 2017. Vol. 11. No.7. Pp. 969–972.
12. Lin W. Experimental investigation on composite beams under combined negative bending and torsional moments // Advances in Structural Engineering, 2020. Vol. 24(6). Pp. 1456–1465. DOI: 10.1177/1369433220981660
13. Nahvi H., Jabbari M. Crack detection in beams using experimental modal data and finite element model // International Journal of Mechanical Sciences. 2005. Vol. 47. Pp.1477–1497. DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2005.06.008
14. Vishnu H. Jariwalaa, Paresh V. Patel, Sharadkumar P. Purohit. Strengthening of RC Beams subjected to Combined Torsion and Bending with GFRP Composites // Procedia Engineering. 2013. Vol. 51. Pp. 282–289. DOI: 10.1016/j.proeng.2013.01.038
15. Tsai H.-C., Liao M.-C. Modeling Torsional Strength of Reinforced Concrete Beams using Genetic Programming Polynomials with Building Codes // KSCE Journal of Civil Engineering. 2019. Vol. 23. Pp. 3464–3475. DOI: 10.1007/s12205-019-1292-7
16. Kolchunov, V., Dem'yanov, A., Naumov N. Analysis of the “nagel effect” in reinforced concrete structures under torsion with bending // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, Pp. 95
17. Колчунов Вл.И., Федоров В.С. Понятийная иерархия моделей в теории сопротивления строительных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. 2020. Vol. 8. Pp. 16–23. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.08.16-23
18. Травуш В.И., Карпенко Н.И., Колчунов В.И., Каприелов С.С., Демьянов А.И., Конорев А.В. Результаты экспериментальных исследований конструкций квадратного и коробчатого сечений из высокопрочного бетона при кручении с изгибом // Строительство и реконструкция. 2018. Vol. 6 (80). с. 32-43.
19. Колчунов В.И., Демьянов А.И., Печенев И.В. Результаты экспериментальных исследований конструкций квадратного сечения при кручении с изгибом // Строительство и реконструкция. 2020. №5. С. 3-12. DOI: 10.33979/2073-7416-2020-91-5-3-12
20. Dem'yanov A., Kolchunov V., Iakovenko I., Kozarez A. Load bearing capacity calculation of the system "reinforced concrete beam - deformable base" under torsion with bending // E3S Web of Conferences: 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. 04059. DOI: 10.1051/e3sconf/20199704059

Информация об авторах

Колчунов Владимир Иванович, член-корреспондент РААСН, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Уникальные здания и сооружения». E-mail: vlik52@mail.ru Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ), Россия, 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Козарез Анастасия Вадимовна, аспирант Академии Строительства и Архитектуры. E-mail: kozarez.1995@mail.ru Крымский федеральный университет им. Вернадского (КФУ им. В.И. Вернадского), Россия, 295007, Симферополь, просп. Академика Вернадского, 4.

Протченко Максим Владимирович, аспирант кафедры «Строительные конструкции». E-mail: maxBROMmax@ua.ru Брянский инженерно-технологический университет (БГИТУ), Россия, 241037, Брянск, просп. Станке Димитрова, 3.

Поступила 17.09.2022 г.

© Колчунов Вл.И., Козарез А.В., Протченко М.В., 2023

^{1,*}Kolchunov V.I., ²Kozarez A.V., ¹Protchenko M.V.

¹Southwestern State University

²Vernadsky Crimean Federal University. Vernadsky Crimean Federal University

³Bryansk Engineering and Technological University

*E-mail: vlik52@mail.ru

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES FOR REINFORCED CONCRETE STRUCTURES RESISTANCE ON A DEFORMABLE BASE IN BENDING WITH TORSION

Abstract. The article obtains the results of experimental studies of reinforced concrete structures under torsion with bending. The basic parameters of the stress-strain state of eight series of structures, including those on the deformable base and composite ones, have been determined. A test stand is developed for realization of the chosen loading schemes and getting of reliable experimental values of crack loading, deflections, angles of turn, crack opening width, distance between cracks and other parameters of the structures. Loading is carried out smoothly, in small steps with endurance at each stage. The value of crack opening width is fixed in the compressed and stretched working reinforcement, at the distance of two diameters from the reinforcement axis, in the middle of the height of an experimental reinforced concrete structure, and at characteristic points along the entire crack profile. Tests is conducted for structures on a deformable base and for composite structures of two layers of different concrete classes. The deflections are measured at six points, with simultaneous determination of the rotation angles. The research results show, that the values of relative deformations according to the readings of electrical resistors, deflections and angles of rotation in the center of the tested structure and in the places where the load is applied are obtained.

Keywords: bending with torsion, reinforced concrete structures, experimental studies, spatial cracks, crack opening width, deflection, rotation angle

REFERENCES

1. Golyshev A.B., Kolchunov V.I. Resistance of reinforced concrete [Soprotivlenie zhelezobetonu]. K.: Osнова. 2009. 432 p.(rus)
2. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Calculation models of strength resistance of reinforced concrete [Raschetnye modeli silovogo soprotivleniya zhelezobetonu]. M.: ASV, 2004. 471 p. (rus)
3. Veryuzhskij Yu.V., Kolchunov V.I. Methods of mechanics of reinforced concrete [Metody mekhaniki zhelezobetonu]. K.: NAU, 2005. 653 p. (rus)
4. Golyshev A.B., Kolchunov V.I., YAKovenko I. A. Resistance of reinforced concrete structures, buildings and structures erected in complex engineering and geological conditions [Soprotivlenie zhelezobetonnyh konstrukcij, zdaniy i sooruzhenij, vozvodimyh v slozhnyh inzhenerno-geologicheskikh usloviyah]. K.: Talkom, 2015. 371 p. (rus)
5. Karpenko N.I. General models of reinforced concrete mechanics [Obshchie modeli mekhaniki zhelezobetonu]. M.: Strojizdat, 1996. 410 p. (rus)
6. Kim C., Kim S., Kim K.-H., Shin D., Haroon, M., Lee, J.-Y. Torsional Behavior of Reinforced Concrete Beams with High-Strength Steel Bars. ACI Structural Journal. 2019. 116. Pp. 251–233. DOI:10.14359/51718014
7. Bernardo L. Modeling the Full Behavior of Reinforced Concrete Flanged Beams under Torsion. Applied Sciences. 2019. Vol. 9. Pp. 2730. DOI:10.3390/app9132730
8. Karpyuk V.M., Kostyuk A.I., Semina Y.A. General Case of Nonlinear Deformation-Strength Model of Reinforced Concrete Structures. Strength of Materials. 2018. Vol. 50, No. 3. Pp. 453–454. DOI: 10.1007/s11223-018-9990-9
9. Křístek V., Průša J., Vitek J.L. Torsion of Reinforced Concrete Structural Members. Solid State Phenomena. 2018. Vol. 272. Pp. 178–184. DOI: 10.4028/www.scientific.net/SSP.272.178
10. Santhakumar R., Dhanaraj R., Chandrasekaran E. Behaviour of retrofitted reinforced concrete beams under combined bending and torsion: A numerical study. Electronic Journal of Structural Engineering. 2007. No. 7. Pp. 1–7. DOI: 10.56748/ejse.769
11. Kalkan I., Kartal S. Torsional Rigidities of Reinforced Concrete Beams Subjected to Elastic Lateral Torsional Buckling. International Journal of Civil and Environmental Engineering. 2017. Vol. 11. No.7. Pp. 969–972.
12. Lin W. Experimental investigation on composite beams under combined negative bending and torsional moments. Advances in Structural Engineering, 2021. Vol. 24(6). Pp. 1456–1465. DOI:10.1177/1369433220981660
13. Nahvi H., Jabbari M. Crack detection in beams using experimental modal data and finite element model. International Journal of Mechanical Sciences. 2005. Vol. 47. Pp. 1477–1497. DOI:10.1016/j.ijmecsci.2005.06.008

14. Vishnu H. Jariwalaa, Paresh V. Patel, Sharadkumar P. Purohit. Strengthening of RC Beams subjected to Combined Torsion and Bending with GFRP Composites. *Procedia Engineering*. 2013. Vol. 51. Pp. 282–289. DOI:10.1016/j.proeng.2013.01.038

15. Tsai H.-C., Liao M.-C. Modeling Torsional Strength of Reinforced Concrete Beams using Genetic Programming Polynomials with Building Codes. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2019. Vol. 23. Pp. 3464–3475. DOI:10.1007/s12205-019-1292-7

16. Kolchunov, V., Dem'yanov, A., Naumov N. Analysis of the "nagel effect" in reinforced concrete structures under torsion with bending. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020, Pp. 95

17. Kolchunov V.I., Fedorov V. S. Conceptual Hierarchy of Models in the Theory of Resistance of Building Structures. *Promyshlennoe i grazhdanskoe Stroitelstvo*. 2020. Vol. 8, Pp. 16–23. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.08.16-23

18. Travush V.I., Karpenko N.I., Kolchunov V.I., Kaprielov S.S., Dem'yanov A.I., Konorev A.V.

The results of experimental studies of structures square and box sections in torsion with bending [Rezultaty eksperimental'nyh issledovanij konstrukcij kvadratnogo i korobchatogo sechenij iz vysokoprochnogo betona pri kruchenii s izgibom]. *Building and Reconstruction*. 2018. No. 6 (80). Pp. 32–43.

19. Kolchunov V.I., Dem'yanov A.I., Pechenev I.V. Results of experimental studies of reinforced concrete structures with square cross sections in torsion with bending [Rezultaty eksperimental'nyh issledovanij konstrukcij kvadratnogo secheniya pri kruchenii s izgibom]. *Building and Reconstruction*. 2020. No 5. Pp. 3–12. DOI: 10.33979/2073-7416-2020-91-5-3-12

20. Dem'yanov A., Kolchunov V., Iakovenko I., Kozarez A. Load bearing capacity calculation of the system "reinforced concrete beam - deformable base" under torsion with bending. *E3S Web of Conferences: 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019*. 04059. DOI: 10.1051/e3sconf/20199704059

Information about the authors

Kolchunov, Vladimir I. Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, DSc, Professor, Professor of the Department "Unique buildings and structures". Southwestern State University (SWSU). Russia, 305040, Kursk, 50 let Oktyabrya street, 94.

Kozarez, Anastasia V. Post-graduate student of the Academy of Civil Engineering and Architecture. V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Russia, 295007, Simferopol, ave. Academician Vernadsky, 4.

Protchenko, Maksim V. Post-graduate student of the Building Structures Department, Bryansk State Engineering Technological University. Russia, 241037, Bryansk, ave. Stanke Dimitrova, 3.

Received 17.09.2022

Для цитирования:

Колчунов Вл.И., Козарез А.В., Протченко М.В. Результаты экспериментальных исследований сопротивления железобетонных конструкций на деформируемом основании при изгибе с кручением // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 2. С. 41–52. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-2-41-52

For citation:

Kolchunov V.I., Kozarez A.V., Protchenko M.V. Results of experimental studies for reinforced concrete structures resistance on a deformable base in bending with torsion. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2023. No. 2. Pp. 41–52. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-2-41-52