

УДК 624.072.31:075.23

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАЛЬНЫХ И СТАЛЕБЕТОННЫХ КОЛОНН ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ НАГРУЖЕНИЯ

Е.И. Галагура к.т.н., асс, Е.Ю. Галагура асс

*Украинская государственная академия железнодорожного транспорта
г. Харьков, Украина*

Задачи снижения металлоемкости, стоимости и трудоемкости строительства, могут быть успешно решены путем применения конструкций с внешним армированием взамен стальных и во многих случаях железобетонных. Этому способствует ряд преимуществ сталебетонных конструкций, а именно: упрощение технологии изготовления; сокращение расходов на опалубку и закладные детали; простота сборки, ремонта и усиления; лучшая сопротивляемость в агрессивных средах; уменьшение высоты элементов за счет отсутствия защитного слоя и компактного расположения арматуры. Наиболее распространенными видами конструкций с внешним армированием являются колонны.

В сталебетонных колоннах наличие обоймы, сопротивляющейся перемещению бетона в поперечном направлении, приводит к увеличению прочности бетона, а наличие заполнителя внутри оболочки увеличивает ее устойчивость. Бетон и сталь в таком сочетании создают наиболее благоприятные условия для совместной работы. Для изучения отмеченных особенностей работы сталебетонных коротких и длинных колонн были проведены описанные ниже экспериментальные исследования.

Для проведения экспериментальных исследований было изготовлено тридцать пять опытных образцов, объединенных в три серии. Их конструктивное решение разработано в следующих вариантах.

Образцы первой серии запроектированы и изготовлены в виде стальной обоймы длиной 450 мм прямоугольного поперечного сечения, заполненной бетоном и пустотелых (рис. 1). Образцы второй серии отличаются от образцов первой серии размерами поперечного сечения, длиной $l=500$ мм и классом бетона для заполнителя.

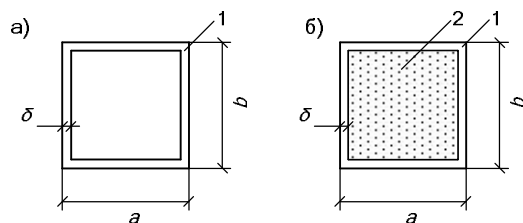


Рис. 1. Схемы поперечных сечений опытных образцов:
1 – стальная оболочка; 2 – заполнитель (бетон).

Образцы третьей серии состоят из обоймы прямоугольного поперечного сечения длиной 900 мм с бетоном и только обоймы.

В табл. 1 приведены геометрические размеры опытных образцов.

Таблица 1

Геометрические размеры опытных образцов

№№ серий колонн	№ колонн	Размеры сечений, мм			Длина l мм	Площадь бетона A_b , см ²	Площадь стали A_s , см ²	$\frac{A_b}{A_s}$	$\frac{a}{l}$			
		a	b	δ								
I	K-1П-1	50	50	2	450	0	3,84	0	$\frac{1}{9}$			
	K-2П-1									0		
	K-3П-1									0		
	K-4Б-1									21,16	5,51	
	K-5Б-1									21,16	5,51	
	K-6Б-1									21,16	5,51	
	K-7П-1									0		
	K-8П-1									0		
	K-9П-1									0		
	K-10Б-1									21,16	5,51	
	K-11Б-1									21,16	5,51	
	K-12Б-1									21,16	5,51	
II	K-1П-2	101,0	98,8	2	500	0	7,836	0	$\frac{1}{5}$			
	K-2П-2	107,7	106,1	2,75		0	11,46	0				
	K-3П-2	106,3	106,0	2,75		0	11,374	0				
	K-4Б-2	104,7	103,7	2		100,39	8,176	12,2				
	K-5Б-2	104,0	103,6	2,75		96,629	11,115	8,69				
	K-6Б-2	104,3	103,4	2,75		96,725	11,121	8,69				
	K-7П-2	106,7	106,0	2,75		0	11,396	0				
	K-8П-2	101,4	100,3	2		0	7,908	0				
	K-9Б-2	104,2	104,4	2		100,6	8,184	12,2				
	K-10Б-2	105,1	103,8	2		100,89	8,196	12,3				
	K-11Б-2	104,0	103,6	2		99,6	8,144	12,2				
III	K-1П-3	50	50	2	900	0	3,84	0	$\frac{1}{18}$			
	K-2П-3									0	-/-	0
	K-3П-3									0	-/-	0
	K-4Б-3									21,16	-/-	5,51
	K-5Б-3									21,16	-/-	5,51
	K-6Б-3									21,16	-/-	5,51
	K-7П-3									0	-/-	0
	K-8П-3									0	-/-	0
	K-9П-3									0	-/-	0
	K-10Б-3									21,16	-/-	5,51
	K-11Б-3									21,16	-/-	5,51
	K-12Б-3									21,16	-/-	5,51

Маркировка опытных образцов всех серий выполнена следующим образом: Буква К – колонна, 1П или 4Б – 1,4 порядковый номер колонны, П – пустотелая колонна, Б – колонна, заполненная бетоном, 1,2,3 – номер серии. Пример: К-1П-1 (колонна первой серии, первый опытный образец, пустотелый).

К образцам №№(1, 2, 3, 4, 5, 6) всех серий прикладывается осевая нагрузка, а образцы №№(7, 8, 9, 10, 11, 12) также всех серий нагружаются внецентренной нагрузкой (рис.3.4), величина эксцентриситета $0,5a$. При осевом сжатии в расчет принимается случайный эксцентриситет $l/300$.

Металлическая оболочка опытных образцов 1 и 3 серий представляет собой стальную квадратную электросварную холоднодеформированную трубу с толщиной оболочки $\delta=2$ мм, а образцы 2 серии изготавливались из двух стальных листов, согнутых в виде швеллеров и сваренных по всей длине.

Бетонирование опытных образцов было выполнено в лаборатории кафедры «Строительной механики и гидравлики» Украинской государственной академии железнодорожного транспорта. Для изготовления бетонной смеси составом по массе 1:1,23:2,9, при водоцементном отношении 0,33, использовался шлако-портландцемент Балаклейского цементно-шиферного комбината активностью 400, песок Безлюдовского карьера модулем крупности 1,45. В качестве крупного заполнителя применялся гранитный щебень марки М-1200 (по прочности) фракции 5-10 мм.

С целью получения данных о физико-механических характеристиках бетона и стали, параллельно с бетонированием опытных образцов изготавливали бетонные кубы серии размерами $0,1 \times 0,1 \times 0,1$ м в стандартных металлических сборно-разборных опалубках, в количестве четырех штук на каждую партию смеси и стальные полоски размерами $0,5 \times 0,04 \times 0,002$ м, вырезанные из металлической оболочки образцов. Испытание контрольных бетонных образцов были проведены в соответствии с ГОСТ 10180-90 (СТ СЭВ 3978-83), а стальных полосок – по ГОСТ 12004-81. По мере твердения, образцы постоянно увлажняли. Контрольные и опытные образцы выдерживали в естественных условиях до набора ими 100% прочности. Результаты испытаний контрольных образцов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Прочностные и деформативные характеристики материалов

σ_r , МПа	E_s , МПа	R_b , МПа	E_b , МПа
Образцы I, III серий			
245,1	$2,05 \cdot 10^5$	16,5	$21,4 \cdot 10^3$
Образцы II серии			
349,9	$1,96 \cdot 10^5$	25,21	$28 \cdot 10^3$

Сталебетонные и стальные колонны испытывали на гидравлических прессах ИП-2000 и ПММ-125. Опорные устройства обеспечивали шарнирную схему закрепления образца. В процессе испытаний измерялись продольные и поперечные деформации. Для этого в образцах по всему периметру среднего по длине сечения наклеивалось восемь тензодатчиков: в продольном (4 тензодатчика) и поперечном (4 тензодатчика) направлениях. Тензодатчики в поперечном направлении наклеивались ближе к угловым точкам сечения. Это делалось для того, чтобы уменьшать влияние деформации изгиба поперечного сечения.

Показания тензодатчиков снимали с помощью прибора АИД-4 (Автоматический измеритель деформации). Нагрузку прикладывали ступенями по 10 кН с выдержками для снятия показаний измерительных приборов. Отсчеты по приборам снимали на каждой ступени нагружения: в начале один раз до уровня $N/N_{пред} \leq 0,5$, а при $N/N_{пред} > 0,5$ дважды – сразу после установления необходимого уровня и после пятиминутной выдержки.

Во время испытаний измерялись перемещение образца в двух направлениях. Для этой цели использовались индикаторы часового типа ИМИГ с ценой деления 0,01 мм. В каждом направлении устанавливалось по одному прибору.

В результате проведенных экспериментальных исследований были получены сведения о деформациях и перемещениях среднего по длине сечения экспериментальных колонн и величины их несущей способности.

По результатам экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

Короткие пустотелые колонны (осевое сжатие) $\lambda=26,51$. Пустотелые короткие колонны под действием продольной сжимающей силы претерпевают местную потерю устойчивости. Явление местной потери устойчивости обладает следующими свойствами: сохранение прямых углов между составляющими конструкцию пластинами; общие кромки пластин остаются прямолинейными; местная потеря устойчивости распространяется на все сечение так, что все составляющие стержень пластины выпучиваются одновременно и имеют одинаковое число полуволн в продольном направлении, среднее значение величины продольных напряжений в момент потери устойчивости в наших опытах составляет ~ 209 МПа.

Короткие колонны, заполненные бетоном (осевое сжатие) $\lambda_{прив}=29,19$. При малых уровнях напряженного состояния $v_c > v_6$ бетонное ядро растянуто в поперечном направлении, но растягивающие напряжения не превышают напряжений, характеризующих прочность контакта между ядром и облоймой, значение этой величины не превышает ~ 1 МПа. При уровне напряженного состояния в бетоне $\sim 0,3 - 0,4$, что соответствует нагрузке 45 кН – 60 кН, напряжение в поперечном направлении в бетонном ядре меняют знак и оно становится сжатым, а облойма растянутой. При нагрузках 0,75 – 0,85 от разрушающей (соответствует нагрузке 110 кН – 130 кН) наблюдается интенсивный рост продольных и в большей степени поперечных деформаций. Достижение продольными деформациями величин, превышающих предел

текущей в среднем на 18 – 20%, приводит к выпучиванию составляющих обойму пластин. При этом первоначально прямые углы между пластинами не сохраняются, пластины выпучиваются одновременно выпуклостью наружу, общие кромки пластин искривляются.

Короткие колонны, заполненные бетоном (внецентренное сжатие). При испытании на внецентренное сжатие, с величиной эксцентриситета равной $0,5a$, в поперечном сечении колонны появляются в общем случае две зоны: сжатая и растянутая. В каждой из этих зон бетон работает в условиях объемного напряженного состояния. Как и при центральном сжатии, причиной этому является оболочка, препятствующая поперечным деформациям бетонного ядра. Оболочка в сталебетонной внецентренно сжатой колонне работает по схеме четырех шарнирно-опертых пластин. Одна пластина сжата в продольном направлении, другая - растянута. Две боковые пластины воспринимают знакопеременные продольные усилия (в зависимости от места прохождения нейтральной оси, в нашем случае нейтральная ось проходила через сечение колонны, так что пластины воспринимали переменные разного знака продольные усилия). Если сравнить несущую способность пустотелой оболочки, бетонного ядра и сталебетонной колонны, то можно отметить следующее: несущая способность сталебетонной колонны не равна сумме несущих способностей ядра и оболочки; причина этого несоответствия заключается в увеличении прочности сжатого бетона, причем в большей степени по сравнению с центральным сжатием, а также в увеличении несущей способности оболочки за счет невозможности местной потери устойчивости. Как показали экспериментальные исследования, разрушение сталебетонной внецентренно сжатой колонны начинается с потери устойчивости пластинки, расположенной в сжатой зоне при напряжениях примерно равных 300 МПа. Вслед за ней выпучиваются пластинки на боковых сторонах при средних напряжениях – 195 МПа. Напряжения в растянутой пластинке не превышают 90 МПа. Относительный (к размеру поперечного сечения) прогиб колонны в момент, предшествующий разрушению, составил 0,12.

Короткие пустотелые колонны (внецентренное сжатие). При испытании на внецентренное сжатие коротких пустотелых колонн с величиной эксцентриситета равной $0,5a$, в поперечном сечении пустотелой колонны также как и в коротких колоннах, заполненных бетоном появляются в общем случае две зоны: сжатая и растянутая, но из-за отсутствия бетонного ядра деформации нарастают быстрее в пустотелых колоннах, чем в колоннах заполненных бетоном, и несущая способность в пустотелых колоннах снижается на 30%, при этом продольные напряжения в сжатой пластинке пустотелых колонн равны ~ 200 МПа, а в колоннах заполненных бетоном ~ 300 МПа. Относительный прогиб колонны в момент, предшествующий разрушению, составил 0,08.

Длинные пустотелые колонны (осевое сжатие), $\lambda=49,46$. При испытании на осевое сжатие длинные колонны претерпевают потерю устойчивости деформирования. Вследствие появления прогиба длинной колонны, возникает дополнительный момент, что приводит к ускорению процесса деформирования длинной колонны по сравнению с короткими колоннами. Как результат, разрушение длинной колонны происходит при нагрузках 100 кН, а коротких – 120 кН. При этом средние значения продольных напряжений равны 220 МПа, а значения поперечных напряжений в длинных колоннах составляют 55 МПа (в коротких 62 МПа). В длинных колоннах при нагрузках равных 0,8 от разрушающей нагрузки наблюдается интенсивный рост прогибов и продольных деформаций.

Длинные колонны, заполненные бетоном (осевое сжатие), $\lambda_{прив}=54,46$. Длинные колонны, заполненные бетоном при осевом сжатии ведут себя так же, как и короткие колонны, заполненные бетоном при осевом сжатии, но из-за появления дополнительного момента вследствие прогиба колонны разрушающая нагрузка для длинных колонн на 20 кН ниже, чем для коротких, при этом средние значения продольных напряжений в длинных колоннах равны 300 МПа, (в коротких 320 МПа), а поперечных – 80 МПа (в коротких 100 МПа). Если сравнить длинные, заполненные бетоном колонны при осевом сжатии с длинными пустотелыми колоннами, то можно отметить следующее: за счет бетонного ядра увеличилась несущая способность колонны на 20,3%, при этом продольные напряжения в обойме превысили аналогичные в пустотелых на 24%. Представлен график зависимости прогиба колонн от нагрузки.

Длинные пустотелые колонны (внецентренное сжатие). В длинных пустотелых колоннах при внецентренном сжатии с величиной эксцентриситета $0,5a$, так же, как и в коротких колоннах при внецентренном сжатии возникает две зоны: растянутая и сжатая, но из-за того, что в длинных колоннах при появлении прогиба возникает дополнительный момент, то разрушающая нагрузка на 16% ниже, чем в коротких, при этом средние продольные напряжения в сжатой пластинке в длинных колоннах составили ~ 200 МПа, напряжения в растянутой пластинке равны ~ 50 МПа, средние напряжения в боковых пластинках составляют 115 МПа. Относительный прогиб колонны в момент, предшествующий разрушению, составил 0,2.

Длинные колонны, заполненные бетоном (внецентренное сжатие). Длинные колонны, заполненные бетоном при внецентренном сжатии с величиной эксцентриситета $0,5a$ ведут себя так же, как и короткие, заполненные бетоном колонны при внецентренном сжатии, но из-за появления дополнительного момента вследствие прогиба, разрушающая нагрузка для длинных колонн на 22% ниже чем для коротких. Разрушение колонны начинается с потери устойчивости пластинки, расположенной в сжатой зоне при напряжениях ~ 300 МПа. Вслед за ней выпучиваются пластинки на боковых сторонах при средних напряжениях ~ 170 МПа. Напряжения в

растянутой пластинке ~ 41 МПа. Относительный прогиб колонны в момент, предшествующий разрушению, составил 0,3.

Сравнивая длинные, заполненные бетоном колонны с длинными пустотелыми можно отметить следующее: бетонное ядро увеличивает несущую способность колонн на 28%.

Проведенные экспериментальные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Короткие пустотелые колонны при осевом сжатии претерпевают местную потерю устойчивости.

2. В сталебетонных колоннах обойма работает по схеме четырех шарнирно-опертых пластин.

3. Наличие бетонного ядра позволяет обойме воспринимать продольные напряжения, превышающие предел текучести на 18 – 20 %.

4. Бетонное ядро увеличивает несущую способность сталебетонных колонн по сравнению с пустотелыми: при осевом сжатии до 14% в коротких колоннах и до 15% в длинных колоннах; при внецентренном сжатии до 31% в коротких колоннах и до 22% в длинных колоннах;

5. Разрушающая нагрузка в коротких пустотелых колоннах ($\lambda=26,51$) при осевом сжатии в среднем на 13,96 % выше, чем в длинных пустотелых колоннах ($\lambda=49,46$);

6. Разрушающие нагрузки в коротких, заполненных бетоном колоннах ($\lambda_{прив}=29,19$) при осевом сжатии на 13,5 % в среднем выше, чем в длинных колоннах заполненных бетоном ($\lambda_{прив}=54,46$);

7. Разрушающая нагрузка в коротких пустотелых колоннах при внецентренном сжатии в среднем на 18,1 % выше, чем в длинных пустотелых колоннах;

8. Разрушающая нагрузка в коротких колоннах, заполненных бетоном при внецентренном сжатии в среднем на 31,96 % выше, чем в длинных колоннах, заполненных бетоном.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Чихладзе Э.Д., Арсланханов А.Д. Расчёт сталебетонных элементов прямоугольного сечения на прочность при внецентренном сжатии и изгибе // Известия вузов. Строительство. – 1992. – №1. – С.6-10.
2. Чихладзе Э.Д., Арсланханов А.Д. Расчёт сталебетонных элементов прямоугольного сечения на прочность при осевом сжатии // Бетон и железобетон. – 1993. – №1. – С.13-15.
3. Яшин А.В. Теория деформирования бетона при простом и сложном нагружении // Бетон и железобетон. – 1986. – №8. – С.39-42.
4. Тимошенко С.П. Устойчивость стержней пластин и оболочек. М., 1971г., 808стр. с илл.

УДК 65.015

ЭКОНОМИКО - МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЕЗРЕМОНТНЫХ СРОКОВ СЛУЖБЫ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

В.А. Галушко, к.т.н., доц

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Жилые здания характеризуются эксплуатационной надежностью, которая определяется сроком службы до полного их отказа. Одним из факторов эксплуатационной надежности является межремонтный период, который определяется как разность между началом эксплуатации и первым капитальным ремонтом или срок эксплуатации между двумя капитальными ремонтами.

Цель исследования состоит в определении этого срока эксплуатации с помощью экономико-математического моделирования.

На основании фактических данных построены графики 1 - 2 (рис. 1).

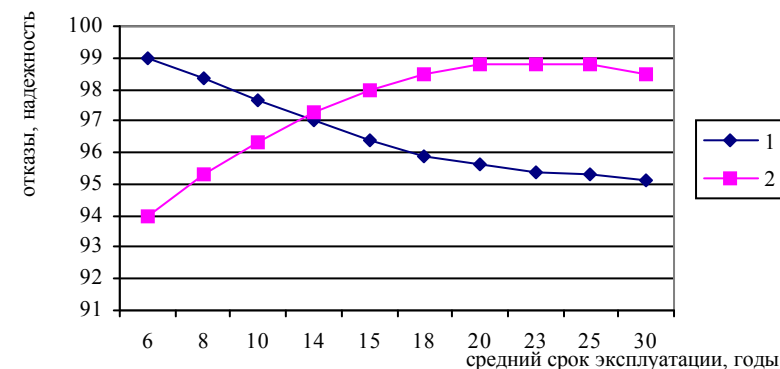


рис. 1 Зависимость показателя надежности и интенсивности отказов от срока эксплуатации

1- показатель надежности от срока эксплуатации (фактические)

2- показатель отказов от срока эксплуатации (фактические).

Для определения сроков безремонтной эксплуатации жилых зданий используется экономико-математическая модель. Решая эту задачу, используем графики 1 - 2 (рис. 1,) а именно зависимость надежности и вероятности отказов от сроков эксплуатации.

Характер кривых на рис. 1 представляет собой параболические зависимости. Поэтому для решения этой задачи используем уравнения, общий вид которых представлен ниже.

$$y = a \cdot x^e,$$

$$y = a \cdot e^{\frac{e}{x}},$$