

УДК 624.012:691.316

**МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ
ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ БАЛКИ-СТЕНКИ,
ОПИРАЮЩЕЙСЯ НА РАЗНОМОДУЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
(ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ)**

**THE FAILURE MECHANISM OF BRICK MASONRY
UNDER UNIAXIAL COMPRESSION, BEAM-WALL,
BASED ON MULTIMODULUS MATERIALS
(EXPERIMENTAL RESEARCH)**

**Кичаева О.В., к.т.н., доц. (Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.М. Бекетова),
Убийвовк А.В., к.т.н., доц. (Харьковский национальный университет строительства и архитектуры)**

**Kichaeva O.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv),
Ubijvovk A.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Kharkov national university of building and architecture)**

У статті розглянуті і проаналізовані результати експериментальних досліджень балок-стінок, виконаних з цегляної кладки із силікатної цегли. Фрагменти цегляних стін з двома отворами, спираються на різномодульний матеріал, що імітує нерівномірні осідання основи. Розглянуто процес утворення тріщин експериментальних балок-стінок. Виявлено механізм руйнування цегляної кладки балки-стінки при одноосьовому стиску.

The article describes and analyzes the results of experimental studies of beams, walls made of masonry from silicate bricks. Fragments of brick wall with two holes, based on multimodulus material that mimics the irregular rainfall base. The dependence of the relative and absolute deformations of the load. The process of cracking experimental beams-walls. The mechanism of destruction of the masonry beams, walls in uniaxial compression. It was shown that the destruction of the brickwork in this case takes place by cutting and separation schemes.

Ключевые слова: балка-стенка, экспериментальные исследования, механизм разрушения, кирпичная кладка.

Keywords: beam-wall, experimental studies, failure mechanism, brickwork.

Вступлення. На всех этапах жизненного цикла системы «основание – фундамент – сооружение» (ОФС) сопутствуют определенные риски. При назначении нормативной надежности несущих конструкций под их отказом понимают техническое состояние элемента, предшествующее исчерпанию несущей способности или полной потере первоначальных функций. В свою очередь, под отказом системы ОФС следует понимать существенное уменьшение (исчерпание) несущей способности хотя бы одного из составляющих этой системы, что может привести к отказу всей системы в целом, результатом чего станет обрушение конструкций или аварийное состояние здания (сооружения).

Отметим, что по данным [1] (рис. 1) видно, что 70% из всего числа обследованных зданий имеют дефекты наружных и внутренних стен, отказ которых может привести к отказу всей системы.

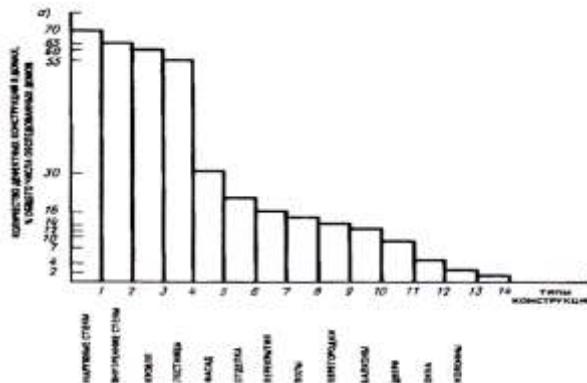


Рис. 1. Гистограмма дефектов в зданиях

«Слабыми» местами в системе ОФС являются: сложность и неоднозначность грунтовых условий нашей страны, проявления взаимодействия зданий с неравномерно-деформируемым основанием, восстановление системы в виде усиления (реконструкции) всех или некоторых частей системы, необходимый

объем которого качественно и количественно устанавливается с помощью современных методов расчета и моделирования. После всесторонней оценки, инженер имеет целостную картину происходящего геотехнического события, которая максимально приближена к сложившейся ситуации, поэтому актуальными являются исследования взаимодействия стен с неравномерно-деформируемым основанием.

Анализ последних исследований. В работах Т.И. Барановой, Н.Н. Ласькова, Д.В. Артюшина [2, 3] изложены результаты исследований работы стен из каменной кладки в условиях сдвига при действии нагрузок различной величины, приложенных к образцу перпендикулярно горизонтальным швам. Известные экспериментальные исследования О.В. Кабанцева [4] посвящены особенностям работы кладки в условиях двухосного напряженного состояния; при этом определены механизмы разрушения кладки. Работы В.Н. Деркача [5] посвящены учету анизотропии каменной кладки в условиях работы материала на растяжение при раскалывании. В данных работах модель кладки рассматривается с использованием обобщенных характеристик и параметров прочности кладки на сжатие как гомогенного материала. Экспериментальные исследования работы каменной кладки при сейсмических воздействиях выполнены С.В. Поляковым, С.М. Сафаргалиевым [6]. В работах R.H. Atkinson, B.P. Amadei, B.P. Sinha, S.R. Davies, W.Mann [7 - 9]. приведены результаты многочисленных исследований кирпичной кладки на сдвиг и на сжатие.

Постановка цели и задач исследований. Определение характера неравномерных деформаций системы «основание – фундамент – сооружение» посредством проведения экспериментальных исследований фрагментов кирпичных стен при условиях опирания, имитирующих неравномерные осадки основания, а также определение механизмов разрушения кирпичной кладки при одноосном сжатии.

Методика исследований. Проведены экспериментальные исследования моделей балок-стенок в масштабе 1:2, одноосное сжатие. Расчетная схема – балка-стенка с двумя проемами на неподвижной опоре, нагруженная равномерно распределенной нагрузкой. Стена сверху обжимается жесткими траверсами – 2 швеллера 18 с листами и может быть доведена до разрушения (рис.

2). Материал – силикатный одинарный кирпич 250x120x65 мм марки М150, раствор марки М100, толщина шва 10 мм, расчетное сопротивление кладки на сжатие $f_d = 2,2$ МПа.

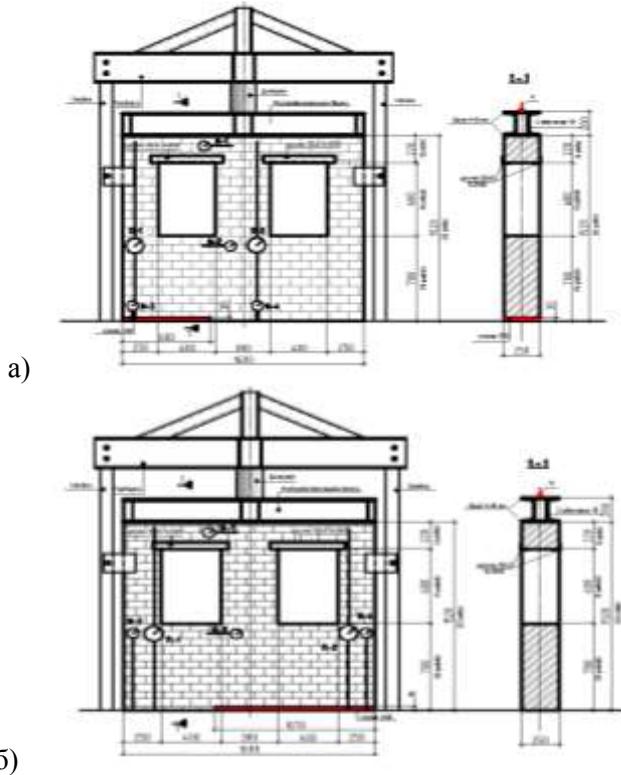


Рис. 2. Схемы экспериментальных установок: а) ФС-1; б) ФС-2

Неравномерное опирание создается за счет опирания части стены на слой плиты OSB толщиной 30 мм длиной $0,3l$ и $0,64l$ от общей длины фрагмента стены (рис. 1), обозначение ФС-1 и ФС-2 соответственно. Модуль деформации трехслойной плиты OSB по результатам испытаний составляет 30,4 МПа. Измерительные приборы устанавливались в зонах: а) с наибольшими ожидаемыми значениями деформаций, перемещений, б) на участках возможных разрушений (по результатам расчетов на ЭВМ); установка приборов осуществлялась с двух сторон фрагмента стены зеркально. Нагружение опытных образцов производилось при помощи

гидравлического домкрата; нагрузка прикладывалась ступенями по 2,0, 3,0 и 5,0 т, при этом фиксировалась нагрузка трещинообразования. Измерения деформаций производились до разрушения образца, при этом определялось среднее значение по двум индикаторам, установленным с двух сторон образца; использовались индикаторы часового типа ИЧ-10 с ценой деления 0,01, 0,001 и 0,002 мм, и прогибомеры 6ПАО с ценой деления 0,01 мм (рис. 3).

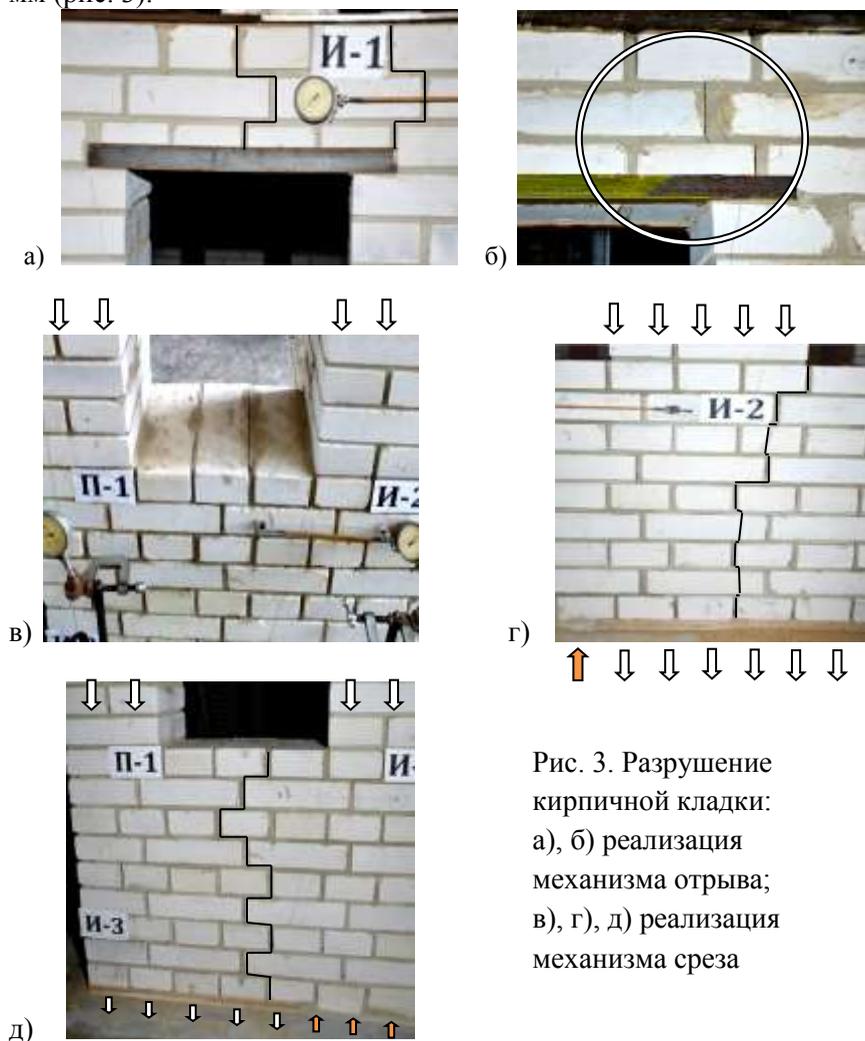


Рис. 3. Разрушение кирпичной кладки:
а), б) реализация механизма отрыва;
в), г), д) реализация механизма среза

Усилие возрастало равномерно, во время снятия отсчетов по приборам нагрузка поддерживалась на постоянном уровне. Подробно схема трещинообразования описана в [10].

Результаты исследований. По результатам экспериментальных исследований фрагментов кирпичных стен, опирающихся на разномодульный материал, возможно сформулировать следующие механизмы разрушения кирпичной кладки в условиях одноосного напряженного состояния.

1) Разрушение происходит от растягивающих напряжений, которые действуют параллельно горизонтальным раствором швам. При этом разрушение кладки происходит в плоскости, перпендикулярной горизонтальным швам и проходит по вертикальному шву (рис. 2 а, б). Такой вид разрушения можно квалифицировать как отрыв собственно кирпича от растворного камня.

2) Разрушение происходит по схеме среза по плоскости, перпендикулярной горизонтальному шву и проходит по плоскости вертикального шва, при этом в область разрушения включаются поперечные сечения кирпича и вертикального шва. Отмечено, что разрушение может происходить как по растворным швам, так и по кирпичу (3 в, г, д). Характер трещин сквозной; разрушение происходит по ступенчатому сечению.

По результатам экспериментальных исследований балки-стенки ФС-1 были построены диаграммы зависимости «нагрузка – относительные деформации» (рис. 4 – 7) и «нагрузка – абсолютные деформации» (рис. 8), ФС-2 – рисунки 9 – 13 соответственно.

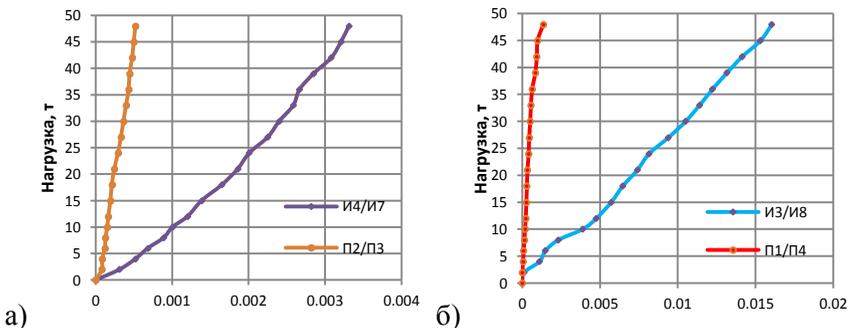


Рис. 4. Относительные деформации сжатия: а) И4/И7 - П2/П3; б) И3/И8 –П1/П4

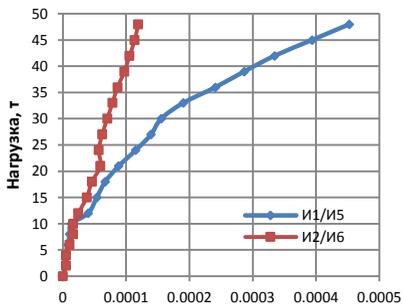


Рис. 5. Относительные деформации растяжения И1/И5 – И2/И6

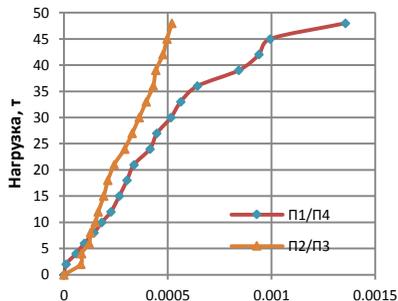


Рис. 6. Относительные деформации сжатия П1/П4 – П2/П3

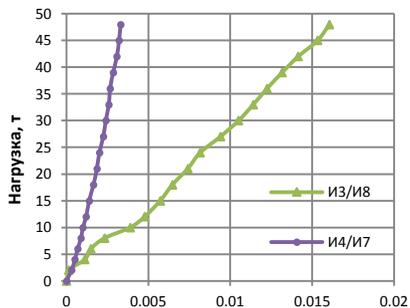


Рис. 7. Сравнение относительных деформаций сжатия И3/И8 – И4/И7

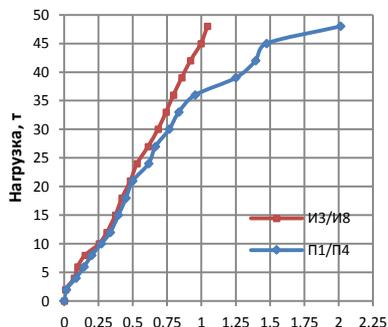
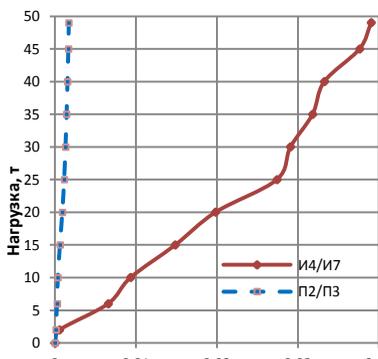
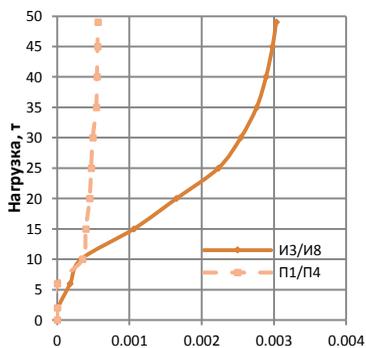


Рис. 8. Абсолютные деформации сжатия И3/И8 – П1/П4, мм



а)



б)

Рис. 9. Относительные деформации сжатия: а) И4/И7 - П2/П3; б) И3/И8 – П1/П4

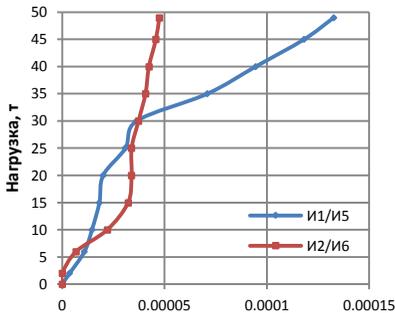


Рис. 10. Относительные деформации растяжения И1/И5 – И2/И6

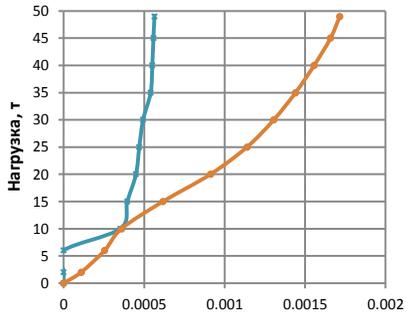


Рис. 11. Относительные деформации сжатия П1/П4 – П2/П3

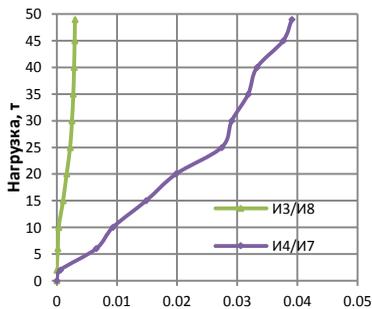


Рис. 12. Сравнение относительных деформаций сжатия И3/И8 – И4/И7

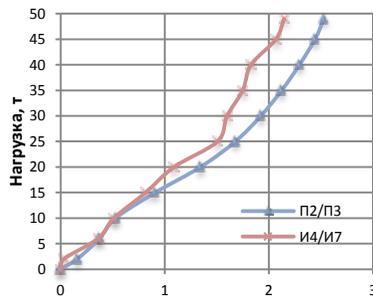


Рис. 13. Абсолютные деформации сжатия И3/И8 – П1/П4, мм

Анализируя диаграммы зависимости «нагрузка – относительные деформации» балок-стенок, можно выделить следующие фазы деформирования: 1) фаза упругого деформирования образца, где указанная зависимость близкой к линейной; 2) фаза пластического деформирования в виде нелинейной зависимости «нагрузка – деформация». При близких механических характеристиках кирпича и раствора уровень нагрузки, при которой начинается фаза пластических деформаций, находится в диапазоне 27 – 37 т.

Выводы. Результаты экспериментальных исследований кирпичной кладки в условиях одноосного сжатия при опирании балки-стенки на разномодульный материал, можно сформулировать следующим образом.

1) Механизм разрушения кирпичной кладки происходит по схеме отрыва и среза.

2) Для ФС-1 деформации кирпичной кладки примерно в 5 раз меньше, чем деформации низко модульного материала. При этом общие деформации кладки и низко модульного материала больше в 2,6 раза, чем собственно кирпичной кладки.

3) Для ФС-2 деформации кирпичной кладки в 12,9 раз меньше, чем деформации низко модульного материала. При этом общие деформации кладки и низко модульного материала больше в 3 раза, чем собственно кирпичной кладки.

4) Абсолютные деформации ФС-2 больше, чем деформации ФС-1 в 1,2 раза.

1. Ройтман А.Г. Предупреждение аварий жилых зданий [Текст] – М.: Стройиздат, 1990. – 240 с. 2. Баранова, Т.И. Совершенствование методов расчета прочности и конструирования кирпичных и армокирпичных стен при совместном действии вертикальных и горизонтальных сил на основе расчетных моделей: Моногр. [Текст] / Т.И. Баранова, А.В. Туманов, Н.Н. Ласьков // - М., 2000. – 92 с. 3. Баранова, Т.И. Сопrotивление стен из каменной кладки при совместном действии вертикальных и горизонтальных сил [Текст] / Т.И. Баранова, Н.Н. Ласьков, Д.В. Артюшин // БСТ / РААСН – М., 1999. – №9 – С. 17-18. 4. Кабанцев, О.В. Пластическое деформирование и разрушение каменной кладки в условиях двухосного напряженного состояния [Текст] / О.В. Кабанцев // Вестник МГСУ. – 2016 . – №2 . – С. 34-48. 5. Деркач, В.Н. Анизотропия прочности каменной кладки на растяжение при раскалывании [Текст] / В.Н. Деркач // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. – 2012. – №2–2(147) . – С. 259–265. 6. Поляков С.В. Сейсмостойкость зданий с несущими кирпичными стенами [Текст] / С.В. Поляков, С.М. Сафаргалиев. – Изд. «Казахстан», 1988. – 188 с. 7. A.W. Henry, B.P. Sinha, S.R. Davies. Design of Masonry Structures. Third Edition. E&FN SPON, 2004, Taylor&Francis, 279 p. 8. A.W. Henry. Masonry walls: Materials and Construction. Construction and Building Materials, 2001, p. 323 – 330. 9. Mann W., Müller H. Bruchkriterien für gnerkraft beanspruchtes Maurwerk and ihre Anwendung auf gemeuerte wind seheiben. – Die Bautechnik, 1973. – №12. – p. 421-425. 10. Кичаева О.В. Деформации зданий и сооружений как результат процессов, происходящих в грунтах основания [Текст] / О.В. Кичаева, А.В. Убийвовк, А.М. Левенко. - Міжвідомчий науково-технічний збірник «Основи та фундаменти». – Київ, КНУБА, 2015 – Вип. 37. – 371 - 382