

12. Серпик И.Н., Алексейцев А.В., Швыряев М.В. Параметрическая оптимизация стальных балочных клеток // Строительство и реконструкция. 2013. № 4 (48). С. 43-50.

13. Alekseytsev A.V., Al Ali M. Optimization of hybrid i-beams using modified particle swarm method. Инженерно-строительный журнал. 2018. № 7 (83). С. 175-185.

14. Serpik I.N., Alekseytsev A.V., Balabin P.Yu., Kurchenko N.S. Flat rod systems: optimization with overall stability control. // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 8 (76). С. 181-192.

## ОЦЕНКА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КИРПИЧНЫХ СТЕН ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ

Парфенов С.Г., Курченко Н.С. (ФГБОУ ВО «БГИТУ», г. Брянск, Россия),  
Макарова А.К., Алексейцев А.В. (ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», г. Москва, Россия)

*Приведен состав мероприятий, включающих оценку механических характеристик и несущей способности кирпичных стен исторических зданий и сооружений. Предлагается в рамках общепринятого в нормативных документах порядка исследования конструкций такого типа использовать метод конечных элементов, геодезические измерения, данные разрушающих испытаний и ультразвуковой метод. Приводится выдержка из технического отчета, иллюстрирующая результаты, полученные на основе предложенных мероприятий.*

Уровень риска социально-экономических потерь, связанных с ошибками проектирования, аварийными ситуациями [1, 6], не учетом надежности проектных решений [4, 8] случайных факторов в жизненном цикле сооружения [3] все больше возрастает. Данные риски можно снизить путем получения полной и достоверной информации об исследуемой конструкции, а также с использованием методов оптимизации [5, 7, 9], особенно актуально применение этих методов для восстанавливаемых несущих конструкций исторических зданий [2].

В нормативных документах [10] приводится общий перечень мероприятий по определению состояния конструкций зданий. В данной статье предлагается поэтапная схема для оценки технического состояния стен. В ходе подготовки и собственно обследования рекомендуем выполнить следующие этапы:

1) Сбор данных или изучение архивных данных об участке застройки, в том числе сведения о проложенных системах инженерных сетей и категории использования земельного участка.

2) Изучение инженерно-геологических условий. Если данные геологической разведки отсутствуют, следует выполнить изыскания в непосредственной близости от рассматриваемых объектов [10].

3) Получение данных об основных конструктивных решениях, которые могут быть взяты из проектной документации. Если эта документация отсутствует, следует выполнить анализ соответствия конструкций и узлов типовым сериям.

## Секция 5. Строительные конструкции

4) Определение марок строительных материалов стен. Физико-механические характеристики могут быть измерены неразрушающими методами или в ходе лабораторных испытаний путем разрушения. В ряде случаев полезными оказываются сведения из актов на скрытые работы.

5) Геодезические измерения фактического расположения стен, их отклонений от требований норм.

6) Инструментальное определение наличия армирования в стенах с использованием металлоискателей. Сопоставление схем армирования с нормативными требованиями.

7) Обследование систем усиления или восстановления несущей способности стен (при их наличии).

8) Сбор эксплуатационных нагрузок на конструкцию.

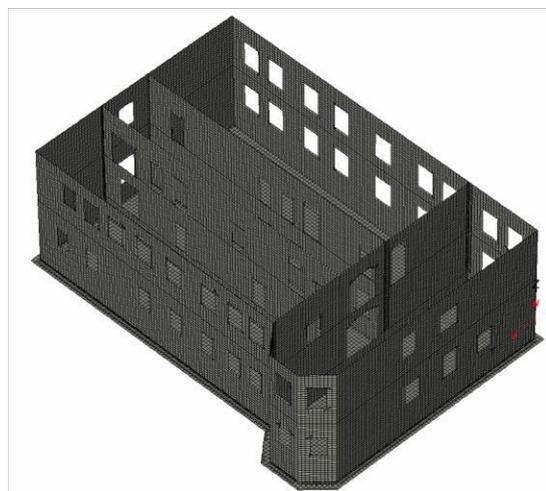
9) Составление расчетных схем и моделирование напряженно-деформированного состояния отдельных фрагментов стен или при необходимости всего объекта. При этом должны использоваться пространственные модели, рассчитываемые по схеме метода конечных элементов. Исходная геометрия для моделей должна формироваться по результатам выполнения п. 5, а характеристики материалов – с использованием данных п. 4. На расчетных моделях следует учитывать существующие дефекты. Для этого можно использовать контактные стержневые элементы, односторонние шарниры и т.п. Эти средства моделирования реализованы применительно к строительным задачам в современных пакетах конечно-элементного моделирования, например, в комплексе Stark ES.

10) Анализ условий эксплуатации стеновых конструкций. Особое внимание, по нашему мнению, следует уделять анализу работоспособности водосточных систем, отведению воды от здания, поведению конструкции при циклических замораживаниях и оттаиваниях.

Рассмотрим использование предлагаемых этапов исследований на примере двухэтажного кирпичного здания, расположенного по адресу: г. Брянск, ул. Красноармейская, 61, построенного по историческим данным в первой половине XIX века (рисунок 1, а).



а)



б)

Рисунок 1 – Фото фасадной стены (а), конечно-элементная модель стен на грунтовом основании (б)

## Секция 5. Строительные конструкции

Наружные стены выполнены из керамического полнотелого кирпича толщиной 700 мм. Обследование показало, что стены имеют высокую степень неоднородности, т.к. в различные периоды времени проемы в них частично пробивались, закладывались керамическим и силикатным кирпичом различного возраста. Внутренние стены выполнены из полнотелого керамического кирпича и имеют так же, как и наружные стены, неоднородные включения в виде закладки проемов, ослабления сечений или пробивки гнезд и сквозных отверстий.

При проверочном расчете стен использовался метод конечных элементов. Расчет проводился в физически нелинейной постановке с помощью лицензионного программного комплекса Stark\_ES. Формировалась пластинчатая конечно-элементная модель. В качестве исходных геометрических параметров здания принимались данные обмеров. Грунт основания моделировался в соответствии со схемой Пастернака, учитывающей сцепление частиц между собой. Данные для вычисления коэффициентов постели были взяты из отчета по инженерно-геологическим изысканиям, расчет коэффициентов постели выполнялся в программе SCAD R21.1. Конечно-элементная модель показана на рисунке 1, б.

Марки строительных материалов определялись разрушающим и неразрушающим методами. В качестве неразрушающего метода применялся ультразвуковой метод, реализуемый с применением ультразвуковых тарированных дефектоскопов УКС-МГ4 и Пульсар 2.2. Для измерения прочности разрушающим методом из наружных и внутренних стен отбирались цельные кирпичи. Из этих кирпичей изготавливались квадратные керны размером сечения 60×60 мм. Керны подвергались сжатию до разрушения на испытательном гидравлическом прессе ПСУ-10. Некоторые статистические данные оценки прочности представлены в таблице.

Таблица – Статистические данные измерения ультразвуковых характеристик и прочности образцов кирпича разрушающим методом

№ образца	Размеры сечения	Показания пресса, кг	Скорость УЗ, м/с	Время прохождения УЗ, мкс	R, МПа
Наружная стена					
1	6,2×6,2	2120	2226	53,9	5,5
2	6,6×6,1	1110	2226	53,9	2,8
3	6,0×5,9	1150	2226	53,9	3,2
Внутренняя стена выше отметки дневной поверхности грунта					
1	5,5×6,2	2120	870	137,8	6,1
2	5,9×6,5	1850	1739	69,0	4,8
3	6,2×6,2	1840	1351	88,8	4,8
Внутренняя стена ниже отметки дневной поверхности грунта					
1	5,8×6,2	3000	2325	51,6	8,3
2	6,0×6,0	1520	3053	39,3	4,2
3	6,3×6,1	1630	3053	39,3	4,2

Результаты разрушающих испытаний показали, что прочностные характеристики кирпичной кладки, расположенной как выше отметки дневной поверхности грунта, так и ниже этой отметки, соответствуют кирпичу марки М25

на растворе М25. Неоднородность фрагментов кладки и значительный разброс показателей прочности образцов не позволяет с достаточной степенью точности прогнозировать развитие деформаций под дополнительной нагрузкой.

Многочисленные оценки технического состояния стен для различных объектов позволяют заключить, что при анализе повреждений для всестороннего исследования причин их появления следует применять комплексный подход, включающий натурные измерения физико-механических свойств материалов, учет эксплуатационных нагрузок, геодезические измерения, оценку фактического армирования конструкций, расчеты по методу конечных элементов на основе пространственных моделей.

#### Список литературы

1. Парфенов С.Г., Алексейцев А.В. Моделирование нелинейного деформирования стальных балок и рам и оценка их предельной несущей способности // Вестник Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук. 2014. № 18. С. 60.
2. Алексейцев А.В., Безбородов Е.Л. Эволюционный поиск параметров систем "протезирования" деревянных балочных конструкций // Строительство и реконструкция. 2018. № 2 (76). С. 3-11.
3. Курченко Н.С., Алексейцев А.В. Эволюционная модель поиска рационального распределения ресурсов при ограничении продолжительности строительства // Наука и бизнес: пути развития. 2017. № 4 (70). С. 19-23
4. Parfenov S.G., Alekseytsev A.V., Vinokurov Yu.V. Fine grained concrete structures reliability assessment: theory and investigational studies MATEC Web of Conferences 251, 02002(2018). <https://doi.org/10.1051/matecconf/201825102002>
5. Серпик И.Н., Алексейцев А.В. Оптимизация металлических конструкций путем эволюционного моделирования. М.: АСВ, 2012. – 240 с.
6. Алексейцев А.В., Курченко Н.С. Обзор методов и результатов экспериментальных исследований стальных и сталебетонных конструкций при особых воздействиях // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. Т. 14. № 3. С. 205-215.
7. Серпик И.Н., Алексейцев А.В. Оптимизация рамных конструкций с учетом возможности запроектных воздействий // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – №9 – С. 23-29.
8. Тамразян, А.Г., Алексейцев А.В. Оптимальное проектирование несущих конструкций зданий с учетом относительного риска аварий // Вестник МГСУ №7. 2019. С. 819-830.
9. Алексейцев А.В., Курченко Н.С. Поиск рациональных параметров стержневых металлоконструкций на основе адаптивной эволюционной модели // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2011. № 3. С. 7-14.
10. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. МНТКС. 2012. – 89с.