

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ВИСЯЧИХ КИРПИЧНЫХ СТЕН С ЗАТЯЖКАМИ В
УРОВНЕ ИХ НИЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСЧЕТНОЙ
ПРОГРАММЫ "LIRA"**

Викторов Валерий Васильевич,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г.Пенза,*

кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции».

Викторова Ольга Леонидовна,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г.Пенза,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Городское строительство и
архитектура».*

Лазебная Виктория Валерьевна,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г.Пенза,
студент.*

Аннотация

Предложена методика расчета несущей способности висячих стен. Разработана схема каркасно-стержневой модели для расчета висячих кирпичных стен с затяжками в уровне низа. Рассмотрены варианты стен с различным соотношением высоты стены к пролету. Рассмотрены способы определения растягивающих усилий в уровне затяжки и сжимающих усилий в каменной кладке.

Ключевые слова: каменные конструкции, кирпичные стены, висячие стены, балки стенки, метод конечных элементов, каркасно-стержневая модель.

**INVESTIGATION OF THE STRESS-DEFORMED STATE OF
HANGING BRICK WALLS WITH TIGHTENINGS AT THEIR BOTTOM
USING A CALCULATION PROGRAM "LIRA"**

Viktorov Valery Vasilyevich,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Candidate of Sciences, Associate Professor of the department “Building structures”.

Viktorova Olga Leonidovna,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Candidate of Sciences, Associate Professor of the department “Urban construction and Architecture”.

Lazebnaya Victoria Valeryevna,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Assistant of the Department «Descriptive Geometry and Graphics»

Abstract

A method for calculating the load-bearing capacity of hanging walls is proposed. A frame-rod model is developed for calculating hanging brick walls with ties at the bottom level. Options for walls with different ratios of wall height to span are considered. Methods for determining tensile forces at the tie level and compressive forces in masonry are discussed.

Keywords: stone structures, brick walls, hanging walls, wall beams, finite element method, frame-and-rod model.

Опираение стен на поддерживающие конструкции имеет широкое применение в практике строительства зданий из каменной кладки.

К таким разновидностям конструкций можно отнести фрагменты стен, опирающиеся на перемычки над оконными и дверными проемами, стены, опирающиеся на монолитные железобетонные перекрытия в каркасных зданиях, элементы стен над проездами через здание (см. рис. 1).



Рисунок 1 - Опирающие стены на монолитные плиты перекрытий и стены над проездами

Работа кирпичных стен опирающихся на поддерживающие конструкции в восприятии нагрузок не учитывается.

Как правило, работа стены в расчетах учитывается только, как нагрузка на плиту или балку.

Однако практика применения таких стен показывает, что прочность перемычек над проемами значительно повышается с увеличением высоты кирпичной кладки над ней.

При этом, работу таких конструкций определить очень сложно из-за отсутствия совершенных методов расчета. Причина заключается в том, что увеличение высоты висячих стеновых конструкций приводит к изменению напряженно-деформированного состояния (НДС) и характера их работы, который значительно отличается от работы стандартной балки. Сложность напряженного состояния таких стен не позволяет использовать существующие методы расчета, представленные в СП 15.13330.2020 Каменные и армокаменные конструкции и в работах Л.И. Онищика [1], [2].

В настоящей работе предложен принцип построения расчетных моделей и расчетных зависимостей, позволяющих описать совместную физическую работу кирпичных стен, опертых на поддерживающие конструкции, с работой самих поддерживающих конструкций, чтобы обеспечить их прочность, жесткость и пространственную неизменяемость.

В ходе работы был проведен анализ результатов отечественных и зарубежных исследований стен из каменной кладки, в том числе балок-стенок, с различными типами поддерживающих конструкций [3,4]. На основании проведенного анализа разработана программа комплексного анализа экспериментально-теоретических исследований балок-стенок из каменной кладки. В ходе реализации данной программы проведены исследования стен численным методом с применением расчетных компьютерных программ, основанных на методе конечных элементов.

В работе стеновых конструкций можно выделить работу по балочной схеме и работу по стеновой схеме (см. рис. 2).

НДС конструкции, работающей по балочной схеме, характеризуется низкими значениями касательных и вертикальных нормальных напряжений и максимальными величинами горизонтальных нормальных напряжений в средней части элемента. В зоне опор величина горизонтальных нормальных напряжений уменьшается, касательные и вертикальные нормальные напряжения увеличиваются и достигают максимальных значений. Ширина зоны максимальных касательных напряжений, в уровне низа элемента ограничивается размерами опоры и расширяется в направлении высоты элемента.

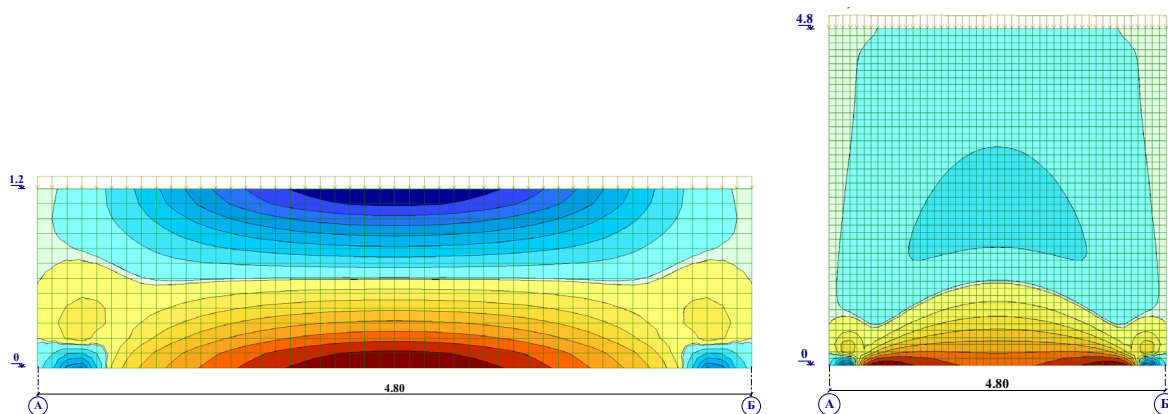


Рисунок 2 - Распределение напряжений N_x в конструкции стены

а) балочная схема, б) стеновая схема

При небольшой высоте конструкции зона концентрации касательных и вертикальных сжимающих напряжений вертикальных сжимающих напряжений невелика и не оказывает существенного влияния на распределение нормальных сжимающих и растягивающих напряжений в средней части. При увеличении

высоты элемента увеличивается ширина зоны влияния опорных напряжений – касательных и сжимающих нормальных. Начиная, с некоторой высоты конструкции зоны действия этих напряжений начинают пересекаться. Это вызывает изменение НДС конструкции в средней ее части, которое характеризуется увеличением высоты сжатой и уменьшением высоты растянутой зоны. Причем с уменьшением высоты растянутой зоны уменьшается интенсивность растягивающих напряжений. Такое НДС характерно для конструкций, работающих по стеновой схеме.

Для описания НДС стен, работающих по стеновой схеме, предлагается каркасно-стержневая модель, разработанная в свое время на кафедре строительных конструкций ПГУАС для расчета железобетонных конструкций.

Суть модели заключается в выделении основных потоков главных сжимающих и главных растягивающих напряжений. Каждый поток представляется в виде отдельного стержня. Для каждого из потоков определяется его размеры и интенсивность напряжений. Интенсивность определяется исходя из статического равновесия всей рассматриваемой системы.

Для рассматриваемых висячих кирпичных стен в данной работе предлагается каркасно-стержневая модель, имеющая два наклонных потока сжимающих напряжений переменной ширины и один горизонтальный поток растягивающих напряжений.

Наклонные потоки сжимающих напряжений в нижнем сечении ограничиваются размерами опорной площадки и расширяются на более высоких уровнях. Поток растягивающих напряжений находится между опорами.

Схема формирования расчетной каркасно-стержневой модели для кирпичных стен, усиленных затяжками, представлена на рисунке 3.

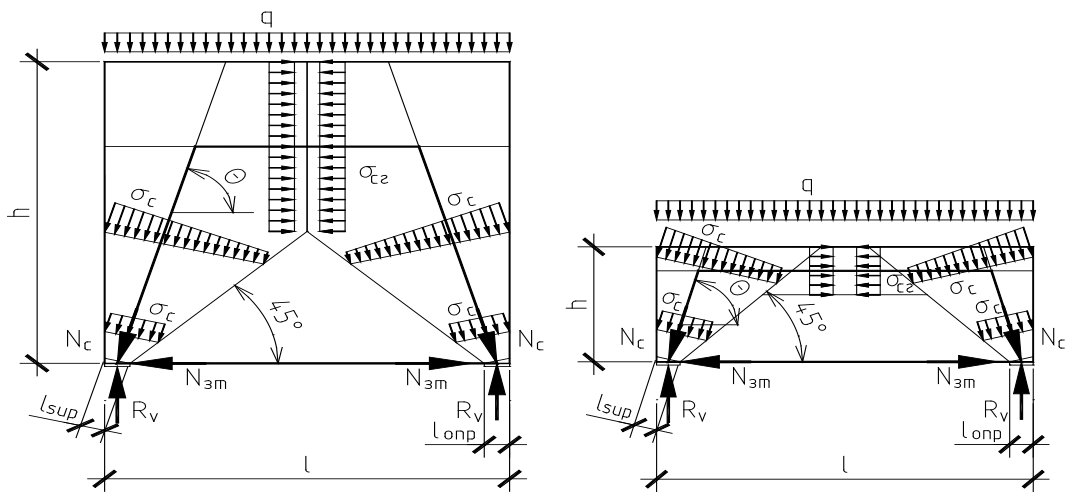


Рисунок 3 - Схема формирования каркасно-стержневой модели

а) балочный элемент; б) стеновой элемент

Схема каркасно-стержневой модели для кирпичных стен, усиленных затяжками, представлена на рисунке 4.

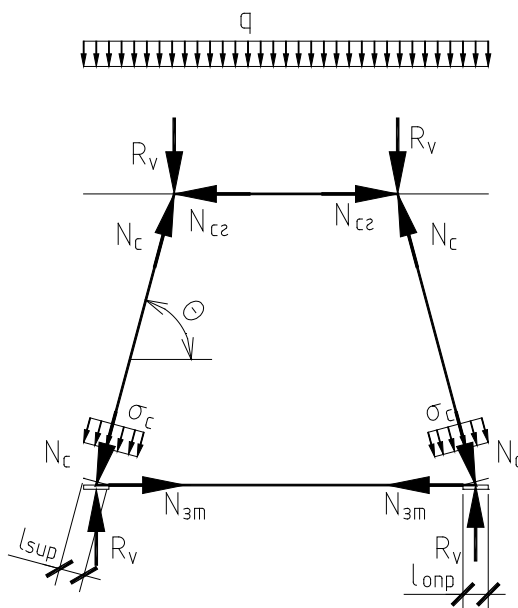


Рисунок 4 - Расчетная каркасно-стержневая модель стеновых элементов

В предположении прямоугольной эпюры опорного давления (на данном этапе исследований) принимается, что ось сжатого потока проходит на расстоянии 1/2 ширины опорной площадки. Высота сжатого потока напряжений в нижней части ограничена шириной опорной площадки. Ширина сжатого потока принимается равной ширине стены.

В случае устройства затяжки ось и габариты растянутого потока совпадают с осью и габаритами затяжки.

Без устройства затяжки высота и ширина растянутого потока принимаются равными толщине стены.

Усилия в сжатом и растянутом потоках будут зависеть от вертикальной реакции опор R_v .

В случае равномерной нагрузки по верху стены

$$R_v = \frac{q \cdot l}{2}$$

Равнодействующая усилия в сжатом потоке будет равна

$$N_c = \frac{R_v}{\sin Q}$$

Равнодействующая усилия в растянутом потоке будет равна

$$N_h = \frac{R_v}{\operatorname{tg} Q}$$

Угол наклона потока Q является величиной неизвестной, зависящей от соотношения высоты стенки к пролету.

В настоящей работе решались вопросы:

- **определение угла наклона сжатого потока;**
- **определение геометрических размеров сжатого и растянутого потоков;**
- **определение усилий, возникающих в сжатом и растянутом потоках для последующей оценки их несущей способности.**

Для решения этих задач был проведен численный эксперимент.

В рамках численного эксперимента с помощью программы "Ли́ра-Са́пр" моделировался ряд кирпичных стен с различным соотношением высоты к пролету от $l/h = 0,15$ до $l/h = 1,5$.

Рассматривалось три пролета – 3,0 м; 4,8 м; 6,0 м.

Высоты стен принимались равными

0,45; 0,75; 1,5; 2,25; 3,00; 3,75; и 4,5 м – для пролета 3,0 м.

0,72; 1,20; 2,4; 3,60; 4,80; 7,75; и 7,2 м – для пролета 3,0 м.

0,9; 1,5; 3,0; 4,5; 6,0; 7,5; и 9,0 м – для пролета 3,0 м.

Толщина стен принималась равной 0,51 м. Для оценки влияния толщины стены на деформативность элементов стен дополнительно выполнялся расчет с толщиной 0,38 м и 0,64 м. Рассматривались два вида нагрузки – нагрузка от собственного веса стены и равномерно распределенная нагрузка по верхней грани стены.

Анализ результатов, полученных в ходе исследования, позволил выполнить оценку усилий, возникающих в затяжке в зависимости от пролета стены и соотношения высоты стены к пролету.

По усилию в затяжке определяется усилие в сжатом подкосе и сжатом верхнем поясе. Анализ величины данных усилий позволяет выполнить оценку несущей способности висячих стен, усиленных затяжками.

Библиографический список:

1. О니щик Л.И. Каменные конструкции. - М., Стройиздат, 1939. 208 с.
2. Онищик Л.И. Особенности работы каменных конструкций под нагрузкой в стадии разрушения// В сб. статей: Исследования по каменным конструкциям. - М., Стройиздат, 1949. с. 5-44.
3. Ласьков Н.Н., Артющин Д.В., Гордеева Т.И. Экспериментальные исследования стен разной высоты из каменной кладки при совместном действии вертикальных и горизонтальных сил// Современное строительство. - Сборник докладов международной научно-практической конференции. - Пенза, 1998, с. 119-120.
4. Викторов В.В., Лазебная В.В. Компьютерное моделирование работы кирпичных висячих стен, опирающихся на поддерживающие конструкции. - Сборник докладов международной научно-практической конференции. - Пенза, 2025,.