

## ГЛАВА ПЯТАЯ

### ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНОЙ КЛАДКИ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ДИАФРАГМАМИ

#### 5.1. Экспериментальные исследования образцов кладки при внецентренном сжатии

В конце 40-х, начале 50-х годов В.И. Милоновым под руководством Л.И. Онищика и А.С. Дмитриева впервые были проведены испытания на больших образцах многослойной кладки с вертикальными диафрагмами на внецентренное сжатие. На

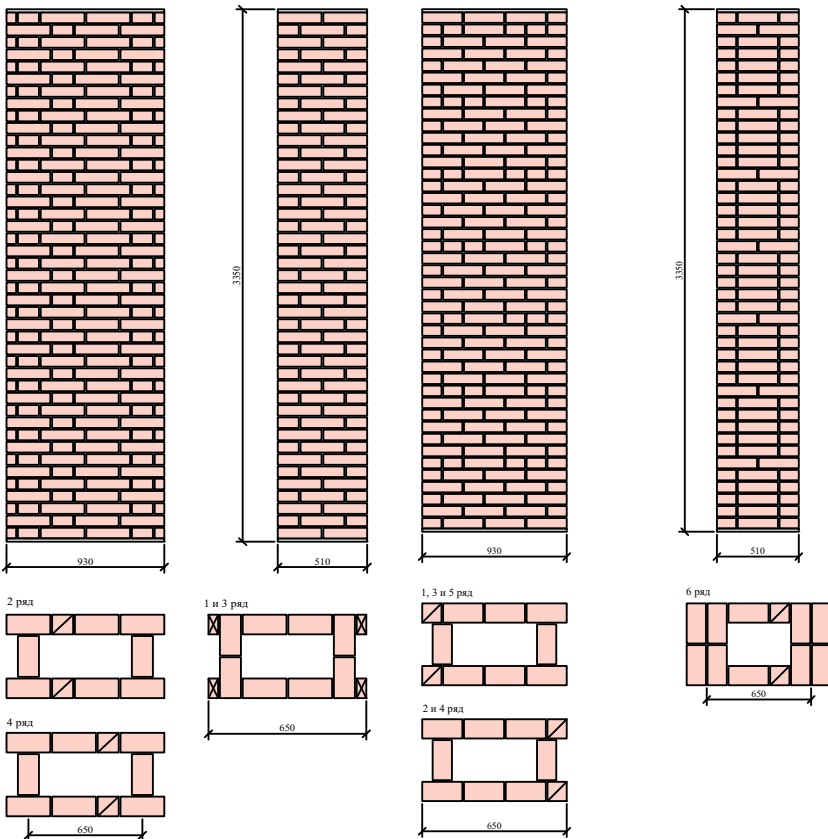


рис. 5.1.1 и 5.1.2 показаны общий вид и конструкция опытных образцов колодцевой кладки, испытанных В.И. Милоновым в начале 50-х годов [4.1]. Образцы выкладывались из глиняного кирпича на растворе состава (цемент : известь : песок) в объемном соотношении 1:1.2:10. Испытания проводились на внецентренное сжатие при эксцентриситете продольной силы  $e_0 = 0,33 y$  ( $y$  – расстояние от центра тяжести сечения до наиболее сжатой грани).

Испытания образцов первого типа, имеющих перевязку кирпичей наружного и внутреннего слоев с поперечной диафрагмой в каждом ряду, показали, что до появления первых трещин все сечение работает совместно. Затем при величине нагрузки, равной 0,71 от разрушающей, в наиболее напряженном слое появляются вертикальные трещины в местах соединения с поперечными диафрагмами. После этого слои кладки начинают работать раздельно, их прогибы по горизонтали несколько отличаются и происходит разрушение наиболее сжатой стенки.

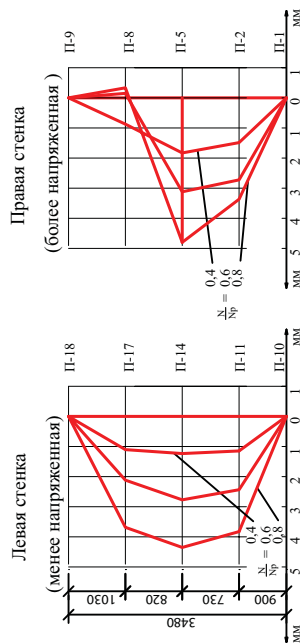
Испытания образцов второго типа, у которых перевязка слоев кладки с поперечными диафрагмами осуществлена через пять рядов, отделения слоев друг от друга практически не произошло до самого разрушения наиболее сжатой стенки. Отличия в характере деформирования и разрушения образцов первого и второго типов кроются в первую очередь в большей податливости на сдвиг диафрагм образцов второго типа. Это позволило обоим слоям кладки работать совместно до самого разрушения.

Представляет интерес такой факт, что помимо изгиба стенок в вертикальной плоскости происходил их изгиб и в горизонтальной плоскости. Это хорошо видно на графиках прогибов образцов типа 1 и типа 2, представленных на рис. 5.1.3.

Испытания также показали, что экспериментальная разрушающая нагрузка для обоих типов образцов превышала расчетную более чем на 40%.

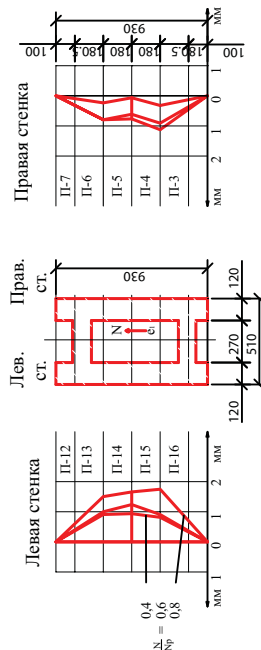
Авторы исследований сделали вывод о том, что для кладок с вертикальными диафрагмами толщиной 51 см и расстоянием между диафрагмами 65 см конструкция имеет повышенные запасы прочности вследствие более высокой прочности на сжатие тонких стенок. Однако в расчетную формулу ими предложено подставлять значение прочности кладки без учета этих факторов, что объясняется большим влиянием случайных факторов на несущую способность тонких стенок. Коэффициент продольного изгиба кладки принят таким же, как и у сплошной кладки той же толщины.

а) Проггибы образца в горизонтальной плоскости .  
Сечение образца.

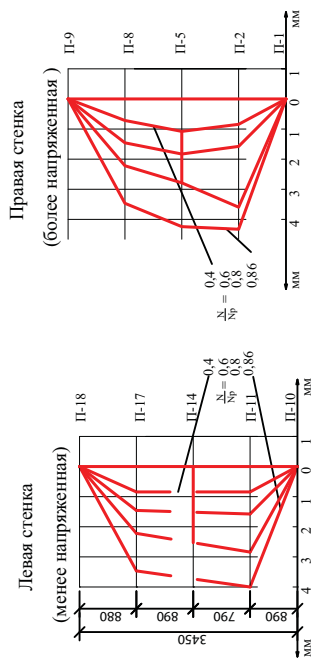


Проггибы образца в горизонтальной плоскости .

Сечение образца.



б) Проггибы образца в горизонтальной плоскости .  
Сечение образца.



Проггибы образца в горизонтальной плоскости .

Сечение образца.

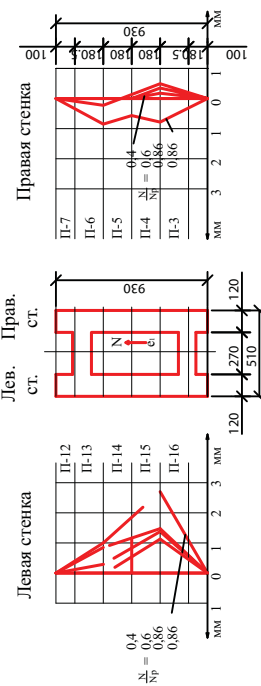


Рис. 5.1.3. Графики прогибов образцов из многослойной кладки с вертикальными диафрагмами, 1952 г. [30]

а – кладка I-го типа;

б – кладка II-го типа



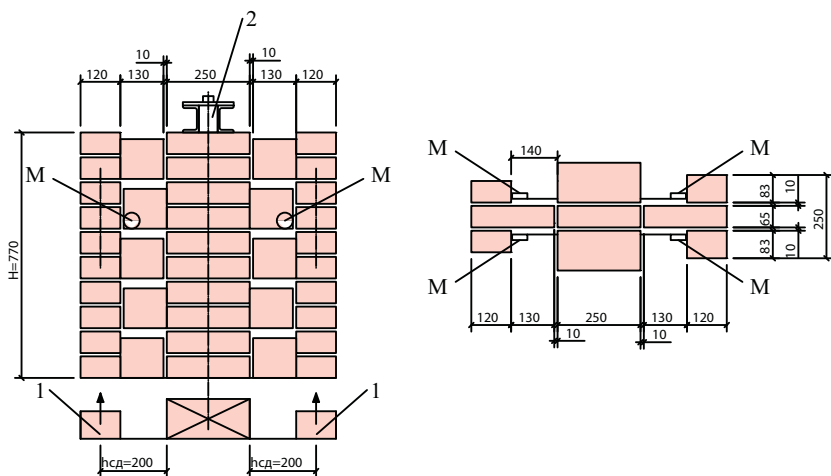


Рис. 5.2.3. Конструкция и схема испытаний на сдвиг диафрагм с отверстиями из кирпича «на ребро» (тип III)

девять — из глиняного. Прочность на сжатие силикатного кирпича составила 18 МПа и при изгибе 4,7 МПа. Прочность на сжатие глиняного кирпича равнялась 18 МПа и при изгибе 2,5 МПа. Раствор брался марки М25. Образцы являлись симметричными относительно центральной оси и состояли из трех столбов, соединенных вертикальными диафрагмами (рис. 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3). Отличие образцов состояло в конструкции вертикальной диафрагмы. В серии I длина диафрагмы равнялась 16 см, сериях II и III — 14 см, но в серии III кирпичи диафрагмы укладывались на ребро.

Нагрузка прикладывалась с двух сторон с помощью пятитонных домкратов, что позволяло исключить изгиб образцов относительно оси симметрии. Во время испытаний замерялись деформации сдвига наружных слоев кладки относительно внутреннего слоя с помощью индикаторов часового типа (мессур).

**Разрушение образцов происходило в результате как среза кирпичей в диафрагмах, так и по вертикальным и горизонтальным растворным швам.** На рис. 5.2.4 показаны фотографии двух образцов типа I и II после испытаний. На рис. 5.2.4 а показан образец, разрушение которого произошло в результате среза кирпичей в диафрагме в одной плоскости. В то же время образец, изображенный на рис. 5.2.2 б, разрушился в результате расслоения кладки диафрагмы по вертикальным и горизонтальным швам. Такой характер разрушения будет наиболее вероятен для верха стен, где отсутствует обжатие кладки. Для средних и нижних этажей более вероятен срез кирпичей диафрагм по первому случаю (рис. 5.2.5).



Рис. 5.2.4. Фотографии образцов кладки I-го и II-го типов. Испытания автора и инж. Е.В. Шенкаренко, ЦНИИСК, 1987 г.

На рис. 5.2.6 показаны усредненные графики зависимости между относительными сдвигающими усилиями ( $\Delta N / \Delta N_u$ ) и относительным сдвигом  $\Delta e$ , построенные по результатам испытаний.

Для дальнейших расчетов может понадобиться **предельная величина абсолютного сдвига  $\Delta e$ , равная 0,2 мм для всех типов образцов.**

### 5.2.2. Кладка с диафрагмами из ячеистобетонных камней

Для снижения теплотерьер через «мостики холода», которыми являются вертикальные диафрагмы, заказчиком работы трестом Мособлстрой-5 было предложено выполнить их из ячеистобетонных камней.

В 2003 году в ЦНИИСК инж. А.В. Калугиным и О.В. Кудиновым под руководством автора были проведены испытания кладки с такими диафрагмами. Испытаны две серии образцов с толщиной наружного слоя кладки 12 и 25 см.

#### Описание опытных образцов

Образцы выполнялись двух типов. Образцы первого типа представляли собой фрагменты трехслойной кладки. Толщина наружного слоя равнялась 12 см, внутреннего — 25 см. Оба слоя выполнялись из полнотелого глиняного кирпича. Соединение наружного и внутреннего слоев осуществлялось вертикальной диафрагмой. Диафрагма выполнялась комбинированной — из

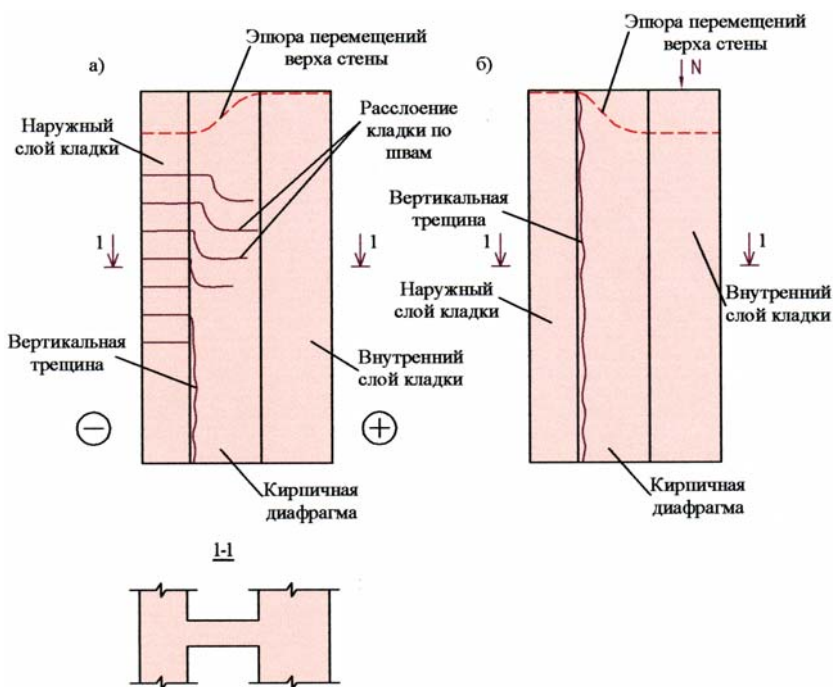


Рис. 5.2.5. Вероятный характер разрушения вертикальных многослойной кладки при сдвиге слоев относительно друг друга: а – от разности температур наружного и внутреннего слоев кладки (1-й случай разрушения); б – от неодинаковой нагрузки на слои кладки (2-й случай разрушения)

относительное  
усилие сдвига

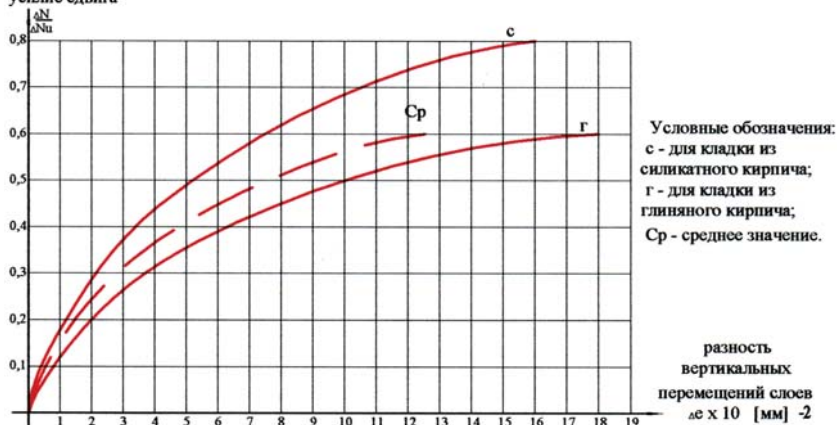


Рис. 5.2.6. Усредненные графики зависимости между относительными сдвигающими усилиями ( $\Delta N / \Delta N_u$ ) и относительным сдвигом  $\Delta \epsilon$  по вертикальной диафрагме, построенные по результатам испытаний образцов кладки с вертикальными диафрагмами из силикатного и глиняного кирпича с прочностью на сжатие 180 МПа. Испытания автора и инж. Е.В. Шенкаренко, ЦНИИСК, 1987 г.

глиняного кирпича, заводимого в наружный слой кладки, и ячеистобетонных камней, заводимых во внутренний слой кладки (рис. 5.2.7 и 5.2.8).

Камни из ячеистого бетона имели толщину 10 см, высоту 13,8 см и длину 16 см. Высота образца составляла 8 см. Такая конструкция образца позволяла осуществлять соединение наружного и внутреннего слоев кладки без выхода на фасад камней из ячеистого бетона.

Образцы выполнялись без армирования и с армированием горизонтальными Z-образными стержнями из арматуры  $\varnothing 6A_I$ .

Образцы второго типа выполнялись с толщиной наружного и внутреннего слоев по 25 см с расстоянием между ними в свету 18 см. Чертеж образца приведен на рис. 5.2.9 и 5.2.10, высота образцов равнялась 113,5 см. Наружный и внутренний слои выполнялись из полнотелого глиняного кирпича, диафрагма — из ячеистобетонных камней толщиной 10 см, высотой 20 см и длиной 30 см.

Такая конструкция диафрагмы позволяет, как и в первом случае, не выходить камням из ячеистого бетона на фасад. При этом такие стены являются более эффективными с точки зрения теплотехники.

Были испытаны образцы кладки как с арматурой из Z-образных стержней, так и без нее.

Кладка образцов первого и второго типов выполнялась на цементно-песчаном растворе марки М50. В качестве пластификатора применялась известь.

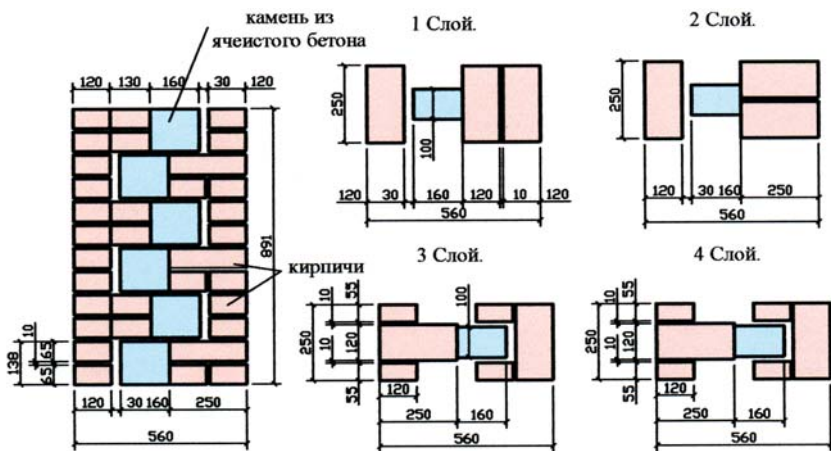


Рис. 5.2.7. Экспериментальный образец фрагмента трехслойной стены из кирпичной кладки с вертикальными диафрагмами из комбинированной кладки из ячеистобетонных камней и глиняного кирпича. Испытания автора и инж. А.В. Калугина, ЦНИИСК, 2003 г.



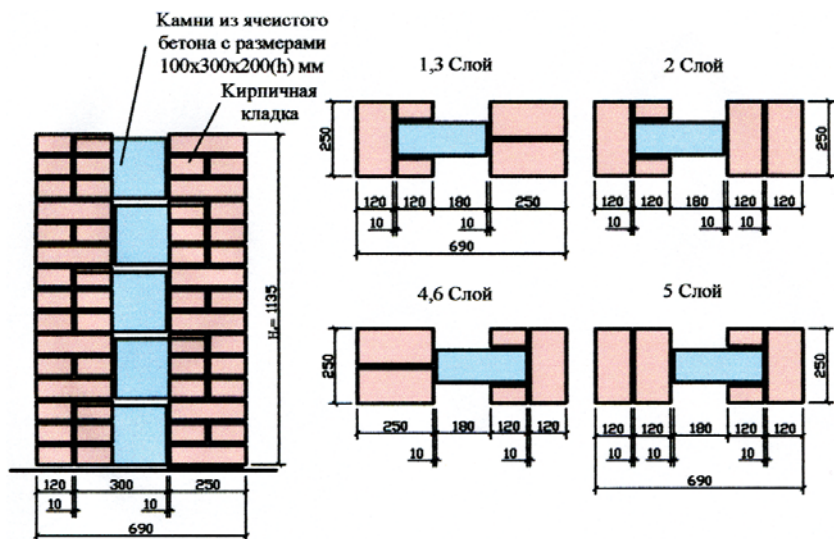


Рис. 5.2.9. Экспериментальный образец фрагмента трехслойной стены из кирпичной кладки с вертикальными диафрагмами из ячеистобетонных камней (тип II). Испытания автора и инж. А.В. Калугина, ЦНИИСК, 2003 г.

### Методика проведения испытания

Образцы испытывались на сдвиг наружного слоя стены относительно внутреннего. Для обеспечения сдвига была использована установка, представляющая собой П-образную стальную раму, крепящуюся к силовому полу.

Сдвиг обеспечивался десятитонным гидравлическим домкратом, усилие от которого прикладывалось к наружному слою кладки (рис. 5.2.11).

Для обеспечения возможности сдвига опора под наружным слоем кладки после помещения образца в установку для испытаний удалялась. Для исключения поворота образца к внутреннему слою кладки прикладывалось с помощью пятитонного домкрата усилие обжатия.

Сдвигающее усилие прикладывалось этапами. На каждом этапе замерялась разность вертикальных перемещений наружного и внутреннего слоев фрагмента стены с помощью расположенных по обеим сторонам образца мессур часового типа с ценой деления 0,01 мм. Кроме того, мессурами часового типа замерялись деформации образцов по диагоналям, вертикальные деформации наружного и внутреннего слоев. С помощью прогибомеров с ценой деления 0,1 мм определялись горизонтальные перемещения на-

ружного и внутреннего слоев в уровне верха и низа образца. Схема расстановки приборов приведена на рис. 5.2.12. На ряде образцов выполнялись замеры деформаций камней из ячеистого бетона с помощью наклеенных на них тензодатчиков.

### Характер разрушения образцов

Разрушение армированных и неармированных образцов значительно различалось. *Характер разрушения неармированных образцов был близок к хрупкому. У армированных образцов в процессе нагружения происходило вначале обжатие ячеистобетонных камней и их срез, а затем кладка работала, как с гибкими связями.* Причем у армированных образцов первого типа среза перевязоч-

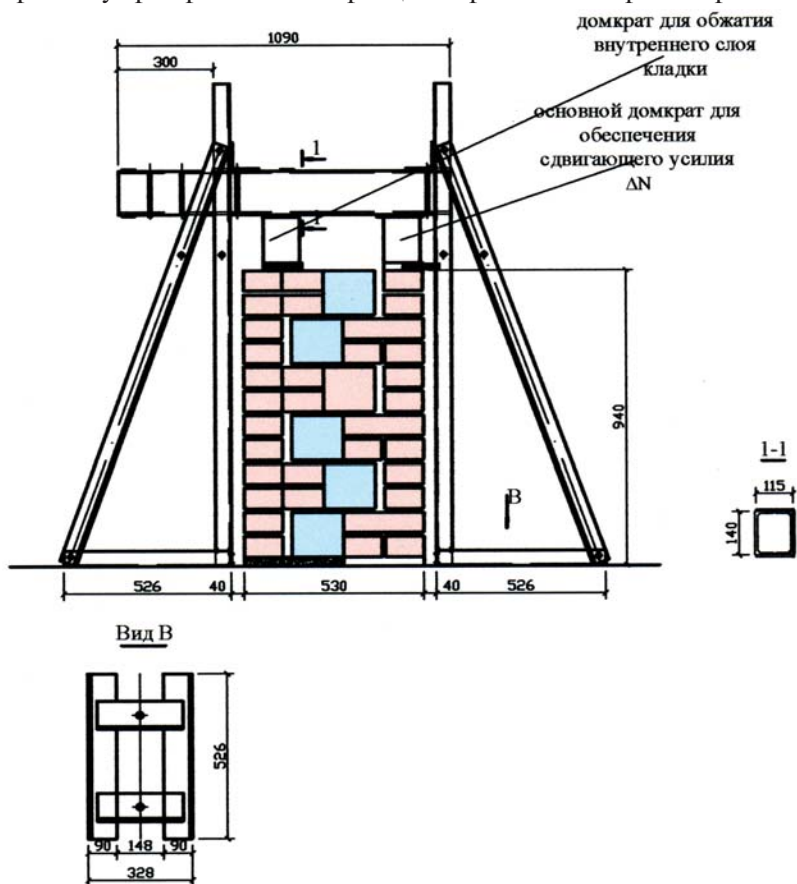


Рис. 5.2.11. Экспериментальная установка с помещенным в ней опытным образцом трехслойной стены с вертикальными диафрагмами из ячеистобетонных камней Испытания автора и инж. А.В. Калугина, ЦНИИСК, 2003 г.

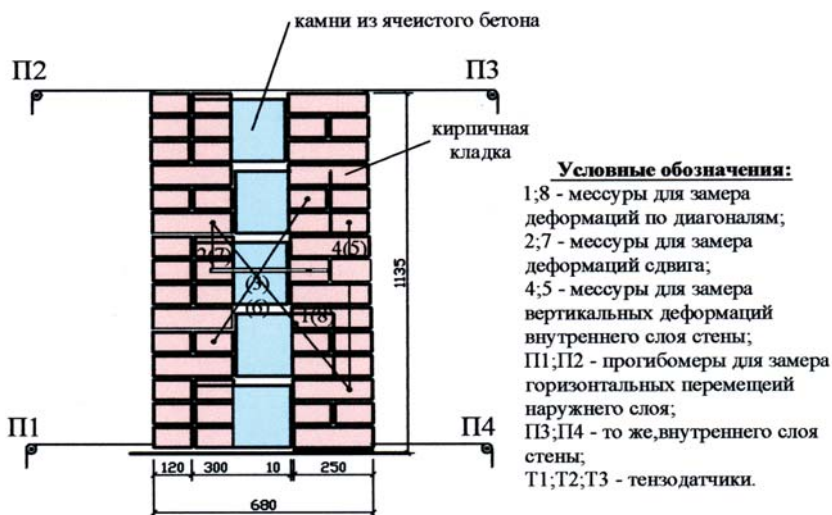


Рис. 5.2.12. Схема расстановки приборов на образце трехслойной стены с вертикальными диафрагмами из ячеистобетонных камней

ных глиняных кирпичей так и не происходило до самого разрушения кладки. На рис. 5.2.13–5.2.15 приведены фотографии образцов после их испытаний.

Первые трещины в неармированных образцах типа I появились в ячеистобетонных камнях при уровне нагружения около 1,0 от предельного сдвигающего усилия. В армированных образцах типа I первые трещины появились при уровне сдвигающего усилия около 0,5 от предельного значения.

В неармированных образцах типа II первые трещины появились при уровне сдвигающего усилия около 1,0 от предельного и в армированных — около 0,4 от предельного.

Армированные образцы даже после образования в диафрагме трещин, практически разделяющих две стенки, продолжали работать за счет арматуры, все более превращающейся в гибкие связи. Вместе с тем даже после среза камней диафрагмы еще некоторое время также продолжали работать совместно со стальными связями.

### **Прочность вертикальных диафрагм при сдвиге**

**Предельное усилие сдвига при испытании диафрагм составило:**

- в неармированных образцах типа I — 6 КН;
- в армированных образцах типа Ia — 27 КН;
- в неармированных образцах типа II — 5 КН;

– в армированных образцах типа Па – 32 КН.

Таким образом, благодаря армированию несущая способность образцов типа I возросла в 4,5 раза и образцов типа II в 6,4 раза.

### Деформации образцов

На рис. 5.2.16 приведены сводные графики зависимости абсолютного сдвига диафрагм  $\Delta e$  от сдвигающего усилия  $\Delta N$ . Видно, что до момента образования первых трещин в кладке неармированных диафрагм образцов I-го и II-го типов зависимость абсолютного сдвига  $e$  от сдвигающего усилия  $\Delta N$  является практически линейной. Напротив, в армированных образцах эта зависимость после образования трещин становится ярко выраженной нелинейной.

Предельные величины абсолютного сдвига между слоями кладки для неармированных образцов были значительно ниже. При этом в армированных образцах предельные деформации достигали очень больших величин за счет работы арматуры в качестве гибких связей после среза камней.

Предельные величины абсолютного сдвига, полученные для каждой группы образцов, составили:

- в неармированных образцах типа I – 0,4 мм;
- в армированных образцах типа Ia – 2,9 мм;
- в неармированных образцах типа II – 0,4 мм;
- в армированных образцах типа II – 0,5 мм.

*Для всех типов образцов величину предельного сдвига, ниже которой многослойная стена сохранила бы свои эксплуатационные качества, может быть принята равной 0,3 мм.*

### 5.3. Сдвиговая жесткость вертикальных диафрагм

Для расчета многослойной стены, например, методом составных стержней, понадобится определение сдвиговой жесткости  $\xi$  кладки вертикальных диафрагм, которая может быть подсчитана по формуле:

$$\xi = \frac{T}{\Delta e}, \quad (5.3.1)$$

где  $T$  – погонное усилие сдвига;  $\Delta e$  – абсолютный сдвиг слоев.

На основании полученных экспериментальных данных по этой формуле были подсчитаны коэффициенты жесткости кладки вертикальных диафрагм.

Для оценки жесткости вертикальных диафрагм многослойной кладки предлагается следующая формула, которая по

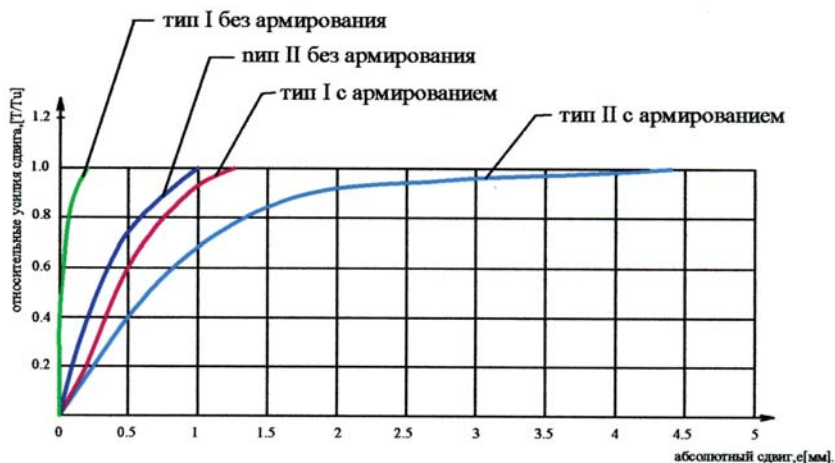


Рис. 5.2.16. Сводный график зависимости абсолютных деформаций от относительных усилий сдвига

мере накопления экспериментальных данных может быть уточнена:

$$\xi = \frac{\xi_{отн.} \alpha R_u h_D H_D}{l_D}, \quad (5.3.2.)$$

где  $\xi_{отн.}$  — относительная величина жесткости диафрагмы:

$\xi_{отн.} = 0,07$  — для диафрагмы из кирпичей высотой 65–88 мм;

$\xi_{отн.} = 0,04$  — для диафрагмы из комбинированной кладки из кирпича высотой 65 мм и камней из ячеистого бетона высотой 138 мм;

$\xi_{отн.} = 0,02$  — для диафрагмы из кирпича «на ложок»;

$\xi_{отн.} = 0,08$  — для диафрагмы из кладки из ячеистобетонных камней высотой 200 мм;

$\alpha$  — упругая характеристика кладки диафрагмы, определяемая по [1.5];

$R_u$  — временное сопротивление кладки диафрагмы сжатию;  $l_D$  — длина диафрагмы, равная расстоянию в свету между наружным и внутренним слоями кладки;  $h_D$  — толщина диафрагмы;  $H_D$  — высота диафрагмы.

При определении сдвиговой жесткости диафрагм  $\xi$  значения усилий  $\Delta N$ , равных суммарному усилию сдвига, и абсолютного сдвига величины  $e$  определялись при уровне сдвига  $\Delta e_c$ , когда эксплуатационные качества диафрагмы еще не были исчерпаны.

### **Выводы**

1. До появления в вертикальных диафрагмах трещин наружный и внутренний слои стены работают совместно.

2. Разрушение кладки вертикальных диафрагм при сдвиге слоев относительно друг друга происходит по двум случаям:

– в вертикальной плоскости в результате среза кирпичей в диафрагмах;

– по вертикальным и горизонтальным растворным швам.

3. Жесткость вертикальных диафрагм при сдвиге может быть оценена по формуле (5.3.2.) Предельная величина абсолютного сдвига слоев относительно друг друга может быть принята для кирпичной кладки с вертикальными диафрагмами равной 0,2 мм и из ячеистобетонных камней 0,3 мм.





Рис. 5.2.8. Общий вид образца 1-го типа трехслойной стены из кирпичной кладки с вертикальными диафрагмами из комбинированной кладки из ячеистобетонных камней и глиняного кирпича. Испытания автора и инж. А.В. Калугина, ЦНИИСК, 2003 г.



Рис. 5.2.10. Общий вид образца II-го типа трехслойной стены из кирпичной кладки с вертикальными диафрагмами из ячеистобетонных камней. Испытания автора и инж. А.В. Калугина, ЦНИИСК, 2003 г.



Рис. 5.2.13 а. Неармированный образец I-го типа трехслойной стены из кирпичной кладки с вертикальными диафрагмами из ячеистобетонных камней и глиняного кирпича после испытания на сдвиг. Испытания автора и инж. А.В. Калугина, ЦНИИСК, 2003 г.



Рис. 5.2.13 б. Неармированный образец I-го типа после испытания на сдвиг



Рис. 5.2.14. Армированный образец I-го типа трехслойной стены из кирпичной кладки с вертикальными диафрагмами из ячеистобетонных камней и глиняного кирпича после испытания на сдвиг. Испытания автора и инж. А.В. Калугина, ЦНИИСК, 2003 г.





Рис. 5.2.15 а. Характер разрушения неармированных образцов II-го типа трехслойной стены с вертикальными диафрагмами из ячеистобетонных камней после испытания на сдвиг. Испытания автора и инж. А.В. Калугина, ЦНИИСК, 2003 г.



Рис. 5.2.15 б. Характер разрушения армированных образцов II-го типа трехслойной стены с вертикальными диафрагмами из ячеистобетонных камней после испытания на сдвиг. Испытания автора и инж. А.В. Калугина, ЦНИИСК, 2003 г.