

РЕКОМЕНДАЦИИ

**ПО ПРИМЕНЕНИЮ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ (СПА),
ВЫПУСКАЕМОЙ БИЙСКИМ ЗАВОДОМ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ ПО
ТУ 2296-001-20994511-04, В КАЧЕСТВЕ ГИБКИХ СВЯЗЕЙ ТРЕХСЛОЙНЫХ
КАМЕННЫХ СТЕН**

2296-001-20994511 РП2

**Бийск
2008**

СОДЕРЖАНИЕ

	Лист
1 Общие положения	3
2 Особенности конструирования	4
3 Методика расчета прочности трехслойной стены.....	5
4 Расчетные характеристики.....	7
4.1 Физико-механические характеристики СПА	7
4.2 Расчетные характеристики сцепления СПА с каменной кладкой	8
4.3 Коэффициенты условий работы	9
4.3.1 Коэффициенты условий работы СПА.....	9
4.3.3 Коэффициенты условий работы сцепления СПА с каменной кладкой.....	10
4.4 Оценка прочности связей	11
5 Пример проектного расчета кирпичной трехслойной стены с гибкими связями из СПА.....	12
6 Список использованных источников.....	18

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящие рекомендации разработаны на основании работ, проведенных ОАО «УралНИАСЦентр, Сибирским государственным университетом (СГУПС) и ООО «Бийский завод стеклопластиков», изложенных в итоговом отчете «Подтверждение пригодности для применения (в качестве гибких связей в трехслойных железобетонных стеновых панелях и стенах) стеклопластиковой арматуры ТУ 2296-001-20994511, изготавливаемой Бийским заводом стеклопластиков» СГУПС, г. Новосибирск, 1999 г., и «Рекомендациях по применению стеклопластиковой арматуры (СПА) в качестве гибких связей трехслойных каменных стен» ОАО «УралНИАСЦентр, Екатеринбург, 1999 г.»

1.2 Настоящие рекомендации распространяются на проектирование трехслойных каменных стен зданий и сооружений для гражданского, промышленного и сельскохозяйственного строительства, включающих несущий слой, облицовочный слой и слой жесткого утеплителя. Несущий и облицовочный слои соединены между собой гибкими связями из стеклопластиковой арматуры по ТУ 2296-001-20994511.

1.3 При проектировании трехслойных каменных стен с гибкими связями из стеклопластиковой арматуры следует руководствоваться общими требованиями глав СНиП по проектированию каменных и армокаменных конструкций по нагрузкам и воздействиям, по строительной теплотехнике, по строительной климатологии и геофизике, а также настоящими рекомендациями.

1.4 Расчет прочности трехслойных каменных стен с гибкими связями из стеклопластиковой арматуры следует вести с учетом прочностных и деформационных свойств стеклопластиковой арматуры, приведенных в технических условиях ТУ 2296-001-20994511. При этом подразумевается, что технические условия на стеклопластиковую арматуру включают в себя нормативные и расчетные значения сопротивления арматуры на различные виды механического воздействия.

1.5 Теплотехнический расчет трехслойных несущих стен должен включать весь комплекс вопросов, предусмотренный главой СНиП по строительной теплотехнике, в том числе расчет их сопротивления теплопередаче, воздухо- и паропроницанию.

1.6 Влажность теплоизоляционного слоя не должна превышать предельно допускаемую влажность, установленную для теплоизоляционных изделий, из которых выполнен этот слой.

1.6 В рабочих чертежах на элементы трехслойных каменных стеновых конструкций с гибкими связями из стеклопластиковой арматуры должны быть указаны:

- а) вид кирпича, применяемого для кладки, с указанием соответствующих ГОСТов и его проектной марки по прочности и морозостойкости;
- б) проектные марки растворов и вид вяжущего для кладки монтажных швов;
- в) марка стеклопластиковой арматуры, используемой для гибких связей, с указанием технических условий;
- г) конструкция стен, система перевязки швов, вид и толщина утеплителя;
- д) для кладки, выполняемой при отрицательных температурах, – способ кладки и дополнительные мероприятия, обеспечивающие устойчивость зимней кладки в период ее возведения и последующей эксплуатации.

1.7 При производстве кладочных работ по устройству трехслойных каменных стен с гибкими связями из стеклопластиковой арматуры следует руководствоваться требованиями СНиП 3.03.01-87 «Каменные конструкции».

2 ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУИРОВАНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ СТЕН

2.1 Каменный облицовочный слой необходимо выполнять из отборного облицовочного кирпича. В зависимости от класса зданий и влажностных условий его помещений для облицовочного слоя может применяться обыкновенный глиняный полнотелый или пустотелый и силикатный кирпич. Использование глиняного кирпича сухого прессования для облицовки наружных стен допускается только в зданиях с нормальной (до 60 %) влажностью помещений.

2.2 Стеклопластиковые связи закладывают в горизонтальные швы кладки не более, чем через 50 см по длине стены и не более чем через 50 см (через четыре пять рядов кирпича) по ее высоте. Суммарная площадь сечения гибких связей из стеклопластиковых стержней должна быть не менее 1 см^2 на 1 м^2 поверхности стены.

2.3 При кладке стеклопластиковые стержни, выполняющие функцию связей, необходимо укладывать горизонтально и перпендикулярно плоскости стены. Разница крайних вертикальных отметок концов уложенного в стену стержня (связи) не должна превышать 5 мм.

2.4 При кладке стеклопластиковые стержни-связи следует укладывать в горизонтальный шов на расстоянии не менее 60 мм от вертикальных швов кладки. Стеклопластиковые стержни должны заходить в облицовочный слой (минимальная толщина которого 120 мм) и в несущий слой на глубину не менее 90 мм.

2.5 В летних условиях работы кладку облицовочного и несущего слоев следует вести с использованием цементно-песчаного раствора марки М100 и выше.

2.6 При возведении зданий и сооружений в зимнее время кладку следует вести на растворах с противоморозными химическими добавками, не вызывающими коррозии материалов кладки и стеклопластиковых связей и твердеющими на морозе без обогрева, в соответствии с указаниями СНиП II-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции».

2.7 Для теплоизоляционного слоя трехслойных стен следует принимать жесткие плиты из полистирольного пенопласта или жесткие минеральные плиты с прочностью на сжатие не менее 0,1 МПа, сжимаемость которых не превышает 4 %.

2.8 Теплоизоляционные плиты должны быть расположены в один или несколько слоев плотно друг к другу. При расположении теплоизоляционных плит в несколько слоев они должны быть уложены со смещением швов в смежных слоях на величину не менее толщины плиты в соответствии с указаниями проектной документации.

2.9 В местах примыкания утеплителя к оконным и дверным проемам необходимо предусматривать защитный слой из негорючего теплоизолирующего материала толщиной не менее 45 мм.

2.10 В уровне перекрытий, но не более чем через 4 м по вертикали, в теплоизолирующем слое следует предусматривать рассечки из негорючих теплоизолирующих материалов на всю толщину слоя утеплителя и высотой не менее 15 см.

2.11 Облицовочный и несущий слои стены должны опираться в нижней своей части на единый фундамент. Опора должна происходить через слой гидроизоляции.

3 МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ ТРЕХСЛОЙНОЙ СТЕНЫ

3.1 При расчете прочности трехслойной стены с гибкими связями из стеклопластиковой арматуры несущий и облицовочный слой следует рассчитывать отдельно на прочность от воспринимаемых ими нагрузок. Нагрузки от покрытия и перекрытий должны передаваться только на внутренний (несущий) слой. Нагрузку от собственного веса утеплителя следует распределять равномерно на облицовочный и несущий слои стены или (в запас прочности) – на облицовочный слой.

3.2 При расчете прочности трехслойной стены несущая способность утеплителя не учитывается.

3.3 При расчете и проектировании трехслойных каменных стен с гибкими связями из стеклопластиковой арматуры необходимо соблюдать допустимые отношения высот стен к их толщинам в соответствии с п.п. 6.16-6.20 СНиП II-22-81, причем каждый слой со своей толщиной рассматривается независимо от другого.

3.4 Расчет внутреннего несущего слоя производится как внецентренно-сжатого при опирании на него плит перекрытий и покрытий при изменении сечения стены в уровне перекрытия или в уровне между перекрытиями. Расчет производится по п.п. 4.1-4.12 СНиП II-22-81.

3.5 При расчете прочности несущего слоя в зданиях с жесткой конструктивной схемой перекрытия принимаются как неподвижные опоры. Статическая схема стены, в этом случае, представляется в виде неразрезной балки с пролетами, равными высоте этажа, и горизонтальными опорами, расположенными на уровне низа перекрытий, в местах опирания последних на стену. Для упрощения вычислений неразрезная балка может быть расчленена на ряд простых балок (см. п.6.10 СНиП II-22-81).

3.6 Прочность облицовочного слоя определяется как внецентренно-сжатого каменного элемента с эксцентриситетом, равным $1/100$ от высоты стены - для свободно стоящих стен или $1/200$ от расстояния между перекрытиями - для стен, связанных с этими перекрытиями.

3.7 При расчете стен усилия следует определять на каждом этаже в наиболее опасных сечениях, где стена наиболее ослаблена или где действуют наибольшие изгибающие моменты или продольные силы.

3.8 Расчетное сопротивление кладки определяется по таблице 2 СНиП II-22-81.

3.9 При расчете трехслойной стены с гибкими связями из стеклопластика необходимо проводить расчет на прочность анкеровки стеклопластиковой арматуры в кладке, при этом следует учитывать возможность смятия раствора под анкерными уширениями арматуры, а также возможность вырыва арматуры из растворного слоя с образованием пирамиды вырыва. Поверхности пирамиды вырыва, равные толщине растворного слоя, будут наклонены на 45° к плоскости стены, и будут начинаться в месте начала утолщения на стеклопластиковой арматуре. Две другие поверхности возникнут в месте соприкосновения раствора с кирпичом. Расчетное сопротивление растяжению цементно-песчаного раствора может быть принято по таблице 13 СНиП 2.03.01-84 как для мелкозернистого бетона группы Б.

3.10 При расчете трехслойных стен напряжения в стеклопластиковой арматуре, работающей в качестве связей, определяются по формулам сопротивления упругих материалов. Стеклопластиковая арматура должна быть представлена в виде стержня, защемленного в двух параллельных слоях, один из которых несущий слой стены, а другой - облицовочный, сдвигающихся относительно друг друга.

Величина относительного сдвига слоев определяется из условий сложных деформаций, которые претерпевает каменная стена, в том числе необходимо учитывать деформации усадки, ползучести, силовые и температурные деформации и т.п.

Напряжения, возникающие в стержне в месте защемления от относительного сдвига слоев стены, не должны превышать величины расчетного сопротивления срезу поперек слоев СПА, приведенного в технических условиях на стеклопластиковую арматуру, с учетом коэффициентов условий работы.

3.11 При определении прочности стеклопластиковой связи необходимо рассчитать величину наибольших краевых напряжений (в упругой стадии работы стеклопластика) по формуле

$$\sigma = N/F + M/W,$$

где σ – напряжение в стеклопластиковом стержне;

N – растягивающая сила от действия ветра;

F – площадь сечения стеклопластикового стержня;

M – изгибающий момент, действующий на стеклопластиковый стержень;

W – момент сопротивления сечения стеклопластикового стержня.

Величина рассчитанного напряжения не должна превышать предельного сопротивления растяжению (с учетом коэффициентов условий работы), указанного в технических условиях на стеклопластиковую арматуру, из которой изготовлена связь.

3.12 При определении величин деформации кладки от усадки, ползучести, действия температур следует пользоваться п.п. 3.20 – 3.28 СНиП II-22-81.

Величина рассчитанной деформации кладки не должна превышать предельного значения деформации арматуры, указанного в технических условиях.

4 ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ СВЯЗЕЙ

4.1 Физико-механические характеристики СПА

Характеристики СПА для проектного расчета напряженно-деформированного состояния связей приведены в таблице 4.1

Таблица 4.1

Наименование характеристики	Обозначение	Единица измерения	Расчетное значение
Разрушающее напряжение при растяжении, сжатии изгибе	σ	МПа	1600
Модуль упругости при растяжении	E_{cp}	МПа	50000
Модуль ползучести при растяжении	$E_{cp}(t)$	МПа	40000
Модуль упругости при сжатии	E_{cc}	МПа	50000
Модуль ползучести при сжатии	$E_{cc}(t)$	МПа	40000
Относительная деформация при разрыве	ε_{cp}	%	2,8
Коэффициент линейного расширения	α_{ct}	K^{-1}	$0,60 \cdot 10^{-5}$
Коэффициент теплопроводности	λ_c	Вт/(м·К)	0,48

4.2 Расчетные характеристики

4.2.1 Расчетные характеристики СПА

Механические характеристики СПА диаметром 5,5 и 7,5 мм для расчета прочности стенов приведены в таблице 4.2

Таблица 4.2

Вид разрушающего воздействия	Нормативные сопротивления R_{cin}	Расчетные сопротивления R_{ci}
Растяжение	$R_{cprn}=1000$ МПа (10200 кгс/см ²)	$R_{cp}=770$ МПа (7800 кгс/см ²)
Изгиб	$R_{cин}=1200$ МПа (12200 кгс/см ²)	$R_{cи}=900$ МПа (9200 кгс/см ²)
	$R_{ctn}=33,0$ МПа (335 кгс/см ²)	$R_{ct}=25,5$ МПа (260 кгс/см ²)
Сжатие	$R_{ccn}=1200$ МПа (12200 кгс/см ²)	$R_{cc}=900$ МПа (9200 кгс/см ²)
Срез поперек волокон	$R_{cqn}=200$ МПа (2040 кгс/см ²)	$R_{cq}=175$ МПа (1780 кгс/см ²)
<p>Примечания: 1 Общий индекс i объединяет частные индексы $r, и, c, q, t$; 2 Браковочные минимумы при растяжении и изгибе необходимо контролировать по методикам, приведенным в ТУ 2296-001-20994511; 3 Характеристики СПА приведены к расчетному диаметру $d_{in}=(d_1-0,3)$мм</p>		

4.2.2 Расчетные характеристики сцепления гибкой связи с каменной кладкой

Усилие при выдергивании связи из каменной кладки определяется по уравнению

$$F_{cp} = R_p \cdot S = R_p \cdot ((d_2 + B) \cdot h_s + 2 \cdot b \cdot h_s / \cos(\alpha)), \quad (4.1)$$

где R_p - расчетное сопротивление раствора растяжению по СНиП 2.03.01-84 (таблица 13) равняется 6,53 кгс/см²;

S - площадь боковой поверхности пирамиды отрыва (обозначения - в соответствии с рисунком 4.1);

b - толщина шва.

При угле конуса вырыва $\alpha = 45^\circ$ и принимая длину цилиндрической части анкерного уширения гибкой связи из СПА $h_c - h_s = 1,2$ см = const (см. рисунок 4.1), формула (4.1) примет вид

$$F_{cp} = R_p \cdot S = 2 \cdot R_p \cdot (h_c - 1,2) \cdot [d_2 + (h_c - 1,2) + b / \cos(\alpha)] \text{ кгс/см}^2,$$

где h_c - глубина заложения гибкой связи в кладку (см. рисунок 4.1) - «глубина анкеровки», см;

d_2 - диаметр цилиндрической части анкерного уширения гибкой связи из СПА, см. (для СПА $\varnothing 5,5$ мм $d_2 = 0,775$ см, для СПА $\varnothing 7,5$ мм $d_2 = 1,06$ см).

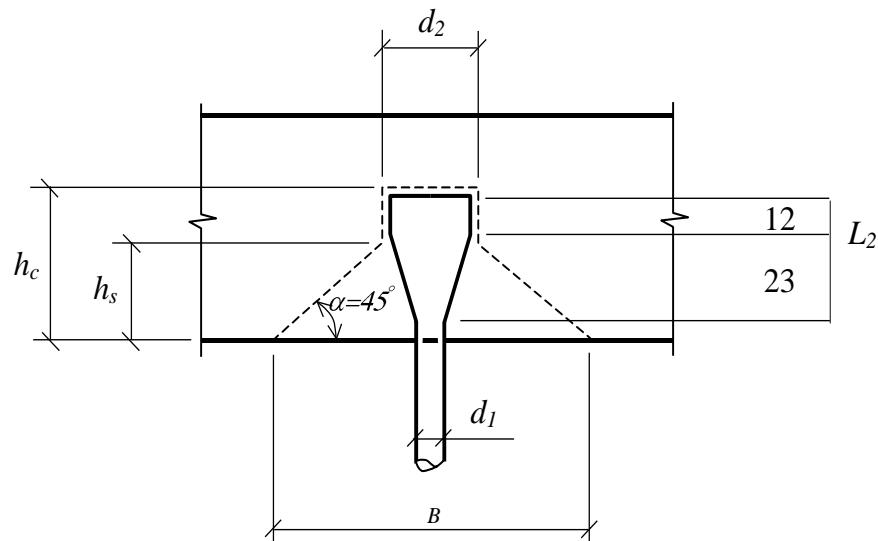


Рисунок 4.1 Схема работы анкерного узла на отрыв (выдергивание) из каменной кладки

Таблица 4.3 Расчетные характеристики сцепления СПА диаметром 5,5 мм с каменной кладкой (усилия при выдергивании СПА из каменной кладки, рассчитанные по уравнению (4.1))

Расчетное сопротивление раствора марки М200 (класса В12) при растяжении, (R_p) МПа (кгс/см ²)	Глубина анкеровки h_c , мм	Расчетные значения усилия выдергивания, кН (кгс)
0,64 (6,53)	90	9,97 (1017)
	100	12,37 (1262)
	110	15,03 (1534)
	120	17,95 (1830)
	130	21,12 (2155)
	140	24,55 (2505)

4.3 Коэффициенты условий работы

4.3.1 Коэффициенты условий работы СПА

4.3.1.1 Кратковременно действующие на СПА факторы и коэффициенты условий работы СПА при воздействии этих факторов приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4.

Учитываемые факторы	Коэффициенты условий работы стержней из СПА	
	условное обозначение	числовое значение
1 Нахождение СПА в нейтральной среде – в воде или над её поверхностью	γ_{c1}	0,95
2 Нахождение СПА в щелочной среде с $pH=12$ или в кислой среде при $pH=5$	γ_{c2}	0,94
3 Нахождение СПА без бетона или в бетоне в условиях замораживания – оттаивания (морозостойкость по стандартной программе до 150 циклов)	γ_{c4}	0,94
4 Долговременное воздействие нагрузки более 65...70 % от разрушающей	γ_{c5}	0,65

4.3.1.2 Коэффициент условий работы по химической стойкости γ_{c6}

В таблице 4.5 приведены рассчитанные для конкретных климатических районов (определенных в соответствии ГОСТ 16350) и срока эксплуатации 50 и 100 лет значения коэффициента γ_{c6} (коэффициент старения, учитывающий влияние длительного воздействия на стеклопластиковую арматуру агрессивной среды влажного бетона или кладочного раствора)

Таблица 4.5

Характеристика климатического района по ГОСТ 16350-80	Коэффициент старения γ_{c6} при расчетном сроке эксплуатации	
	50 лет	100 лет
Очень холодный	0,825	0,605
Холодный	0,892	0,762
Арктически влажный	0,951	0,897
Умеренно холодный	0,776	0,495
Умеренный	0,762	0,465
Умеренно влажный	0,776	0,495
Умеренно теплый	0,675	0,311
Умеренно теплый влажный	0,776	0,495
Умеренно теплый с влажной зимой	0,635	0,253

4.3.1.3 Коэффициент условий работы по долговременной механической прочности γ_{c7}

В таблице 4.6 приведены значения коэффициента γ_{c7} (коэффициент долговременной прочности, учитывающий влияние длительного воздействия на СПА постоянных усилий и температуры эксплуатации), подсчитанные для различных климатических зон Российской Федерации. Значения коэффициента γ_{c7} определены с учетом срока службы стержней 50 и 100 лет и влияния солнечной радиации, соответствующей повышению эквивалентной температуры на 15⁰С.

Таблица 4.6

Характеристика климатического района по ГОСТ 16350-80	Коэффициент γ_{c7}			
	при расчетном сроке эксплуатации без учета солнечной радиации		при расчетном сроке эксплуатации с учетом солнечной радиации	
	50 лет	100 лет	50 лет	100 лет
Очень холодный	0,333	0,303	0,222	0,190
Холодный	0,372	0,348	0,261	0,235
Арктически влажный	0,426	0,397	0,315	0,288
Умеренно холодный	0,325	0,295	0,214	0,182
Умеренный	0,329	0,299	0,218	0,187
Умеренно влажный	0,433	0,404	0,322	0,291
Умеренно теплый	0,318	0,281	0,201	0,169
Умеренно теплый влажный	0,437	0,408	0,326	0,296
Умеренно теплый с влажной зимой	0,311	0,280	0,200	0,168

4.3.1.4 Коэффициент надежности γ_{c8}

Зависимость надежности работы связей от их количества в стене учитывают коэффициентом надежности γ_{c8} , значения которого приведены в таблице 4.7

Таблица 4.7

Количество учитываемых связей	Значение коэффициента условий работы γ_{c8}
1	1,00
4	1,07
6	1,07
8	1,09
10	1,10
12	1,10
16	1,11
20	1,11
24	1,11
30	1,12

4.3.2 Коэффициенты условий работы узла сцепления СПА с каменной кладкой

Факторы, действующие на узел сцепления СПА с кладочным раствором и коэффициенты условий работы узла сцепления СПА с кладкой приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8

Учитываемые факторы	Коэффициенты условий работы раствора	
	условное обозначение	числовое значение
1. Длительность действия нагрузки	γ_{cb2}	0,90
2. Попеременное замораживание и оттаивание в условиях эпизодического водонасыщения при расчетной зимней температуре наружного воздуха: минус 40 °С и выше ниже минус 40 °С	γ_{cb6}	1,00 0,90
3. Неравномерное распределение напряжений в каменной кладке в зоне анкеровки СПА (при совместном действии отрывающей силы T_{cb} , изгибающего момента M_{cb} и поперечной силы Q_{cb})	γ_{cb13}	0,75

4.4 Оценка прочности связей

4.4.1 Оценку прочности единичной i – той связи проводят сравнением расчетных значений усилий или напряжений в ее наиболее напряженных сечениях с предельными допустимыми значениями усилий или сопротивлений, рассчитанных с учетом условий работы данной связи. Например, для растянутой связи из СПА оценку ее прочности производят по формуле:

$$N_{срi} \leq F_{срi, \text{lim}} = \gamma_y \cdot F_{срi}$$

или

$$\sigma_{срi} \leq R_{срi, \text{lim}} = \gamma_y \cdot R_{срi},$$

где γ_y – обобщенный коэффициент условий работы, равный произведению отдельных учитываемых коэффициентов условий работы для рассчитываемого элемента;

$F_{срi}$, $R_{срi}$ – расчетное значение несущей способности (усилия или сопротивления) элемента с номером « i ».

Формулы для расчета значений обобщенного коэффициента γ_y приведены в таблице 4.9

Таблица 4.9

Стадия	Нагрузочные воздействия	Рассчитываемые элементы	Применение коэффициентов условий работы
Эксплуатация	Смещение слоев от всех факторов	СПА	$\gamma_y = \gamma_{c1} \cdot \gamma_{c4} \cdot \gamma_{c5} \cdot \gamma_{c6}$
		Узлы сцепления	$\gamma_y = \gamma_{cb2} \cdot \gamma_{cb6} \cdot \gamma_{cb13}$
	Ветровая нагрузка	СПА	$\gamma_y = \gamma_{c1} \cdot \gamma_{c4} \cdot \gamma_{c5} \cdot \gamma_{c6}$
		Узлы сцепления	$\gamma_y = \gamma_{cb2} \cdot \gamma_{cb6} \cdot \gamma_{cb13}$

5 ПРИМЕР ПРОЕКТНОГО РАСЧЕТА КИРПИЧНОЙ ТРЕХСЛОЙНОЙ СТЕНЫ С ГИБКИМИ СВЯЗЯМИ ИЗ СПА

5.1 Дано:

Основные расчетные данные:

- высота этажа – 2,8 м;
- высота здания от пола первого этажа до верхней отметки парапета – 12,2 м;
- расстояние между осями смежных проемов – 3 м;
- ширина простенка – 1,5 м;
- высота проема – 2,1 м;
- стены запроектированы из кирпича марки М100 и цементно-песчаного раствора марки М100;
- объемный вес кладки – 1800 кг/м³;
- стена трехслойная:
- толщина внутреннего несущего слоя – 380 мм;
- толщина облицовочного слоя – 120 мм;
- средний утепляющий слой запроектирован из плитного пенополистирола толщиной 140 мм со средней плотностью 50 кг/м³;
- связь между облицовочным и несущим слоем осуществляется с помощью стеклопластиковой арматуры диаметром 5,5 мм;
- дом строится в 4-м ветровом районе, имеет прямоугольную форму в плане;
- расстояние между поперечными стенами 6 м;
- перекрытия выполнены из многопустотных железобетонных плит.

5.2 Расчет

Принимаем:

- постоянные расчетные нагрузки на перекрытие (р) равными 467 кг/м²;
- полезные расчетные нагрузки на перекрытия (q) равными 195 кг/м²;
- нагрузки на конструкции покрытия условно приняты равными нагрузкам на междуэтажные перекрытия.

Проверяем прочность простенка для летних условий кладки.

5.2.1 Нагрузка на несущий слой простенка первого этажа будет равна

$$P = 1800 \cdot 1,1 \cdot (12,2 - 0,6) \cdot 0,38 \cdot 3 + (476 + 195) \cdot 4 \cdot 3 \cdot 3 + 0,14 \cdot 50 \cdot 1,2 \cdot (12,2 - 0,6) \cdot 3 \cdot 0,38 / 0,5 = 50561 \text{ кг,}$$

где 1800 – объемный вес кладки, кг/м³;

1,1; 1,2 – коэффициенты условий работы, безразмерные;

12,2 – высота здания от пола первого этажа до верхней отметки парапета, м;

0,6 – отметка расчетной точки по высоте, м;

0,38 – толщина несущего слоя простенка стены, м;

3 – расстояние между осями смежных проемов стены, м;

476 – постоянная расчетная (распределенная) нагрузка на перекрытие – (р), кгс/м²;

195 – полезная расчетная (распределенная) нагрузка на перекрытие – (q), кгс/м²;

4 – количество учитываемых перекрытий (покрытий), безразмерное;

3*3 – учитываемая площадь перекрытия (покрытия) - (А_у), м²;

0,14 – толщина слоя утеплителя, м;

50 – средняя плотность утеплителя, кг/м³;

0,38/0,5 – коэффициент распределения веса, приходящегося на несущий слой.

5.2.2 Нагрузка на облицовочный слой простенка первого этажа будет равна

$$P = 1800 \cdot 1,1 \cdot (12,2 - 0,6) \cdot 0,12 \cdot 3 + 0,14 \cdot 50 \cdot 1,2 \cdot (12,2 - 0,6) \cdot 3 \cdot 0,12 / 0,5 = 8338 \text{ кг,}$$

где 0,12 – толщина облицовочного слоя простенка стены;
 0,12/0,5 – коэффициент распределения веса, приходящегося на облицовочный слой.

5.2.3 Рассчитываем несущий слой как внецентренно-сжатый по формуле (13) из СНиП 11-22-81

$$P \leq N = \varphi_1 \cdot m_G \cdot R \cdot A_c \cdot \omega,$$

где φ_1 – коэффициент продольного изгиба;
 m_G – коэффициент, учитывающий влияние прогиба сжатых элементов на их несущую способность при длительно действующей нагрузке;
 R – расчетное сопротивление кладки сжатию;
 A_c – площадь сечения сжимаемого элемента;
 ω – табличный коэффициент, зависящий от видов материалов кладки и формы рассчитываемых элементов кладки;
 N – расчетная продольная сила, приложенная к рассчитываемому элементу кладки.

Рассчитаем эксцентриситет расчетной силы относительно центра тяжести сечения:

При опирании одного перекрытия весом $(476+195) \cdot 3 \cdot 3 = 6039$ кгс на глубину 0,12 м момент от действия перекрытия будет равен

$$M = 6039 \cdot (0,38/2 - 0,12/2) = 785,07 \text{ кгс} \cdot \text{м}$$

Эксцентриситет действия силы будет равен

$$e = 785,07/50561 = 0,0155 \text{ м}$$

При дополнительном случайном эксцентриситете, равном 0,01 м, суммарный эксцентриситет будет равен

$$e = 0,0155 + 0,0100 = 0,0255 \text{ м.}$$

Площадь сжатой части сечения простенка определим по формуле (14) СНиП 11-22-81

$$A_c = 0,38 \cdot 1,50 \cdot (1 - 2 \cdot 0,0255/0,38) = 0,5316 \text{ м}^2,$$

где 1,5 – ширина простенка, м.

Рассчитаем гибкость несущего слоя простенка для всего сечения и для сжатой части сечения

$$\lambda = 2,10/0,38 = 5,526;$$

$$\lambda_c = 2,10/h_c = 2,10/0,349 = 6,02,$$

где $h_c = 0,38 - 2 \cdot 0,0155 = 0,349$ м.

Коэффициент продольного изгиба определим по таблице 18 СНиП 11-22-81

$$\varphi = 0,955.$$

Коэффициент ω определяем по таблице 19 СНиП 11-22-81

$$\omega = 1,06 < 1,25.$$

Коэффициент m_G определяем по формуле (16) СНиП 11-22-81

$$m_G \approx 1.$$

Расчетное сопротивление кладки равно 180000 кгс/м^2 (см. таблицу 20 СНиП 11-22-81).
При этих значениях

$$N = 180000 \cdot 1 \cdot 0,955 \cdot 0,5316 \cdot 1,06 = 95037 \text{ кгс} > P = 50561 \text{ кгс}$$

Прочность несущего слоя простенка обеспечена.

5.2.4 Рассчитываем облицовочный слой как внецентренно-сжатый по формуле (13) СНиП 11-22-81

$$N \leq \varphi_1 \cdot m_G \cdot R \cdot A_c \cdot \omega.$$

Принимаем эксцентриситет расчетной силы относительно центра тяжести сечения равным $1/200$ высоты этажа т.е. равным $0,014 \text{ м}$.

Площадь сжатой части сечения определим по формуле (14) СНиП 11-22-81

$$A_c = 0,12 \cdot 1,50 \cdot (1 - 2 \cdot 0,014 / 0,12) = 0,1380 \text{ м}^2.$$

Рассчитаем гибкость несущего слоя простенка для всего сечения и для сжатой части сечения

$$\lambda = 2,10 / 0,12 = 17,5;$$

$$\lambda_2 = 2,10 / 0,092 = 22,83,$$

где $h_c = 0,12 - 2 \cdot 0,014 = 0,092 \text{ м}$

Определим коэффициент продольного изгиба по таблице 18 СНиП 11-22-81

$$\varphi = 0,66.$$

Коэффициент ω определяем по таблице 19 СНиП 11-22-81

$$\omega = 1,156 < 1,25.$$

Коэффициент m_G определяем по формуле (16) СНиП 11-22-81

$$m_G \approx 1.$$

Расчетное сопротивление кладки R равно $180000 / 2,5 = 72000 \text{ кгс/м}^2$ (см. таблицу 20 СНиП 11-22-81).

Таким образом

$$N = 72000 \cdot 1 \cdot 0,66 \cdot 0,1380 \cdot 1,156 = 7581 \text{ кгс} < 8338 \text{ кгс}$$

Условие прочности не выполняется. Необходимо увеличить расчетное сопротивление кладки.

Примем кирпич марки М150 на цементно-песчаном растворе марки М100.

Тогда

$$R = 220000/2.5 = 88000 \text{ кгс/см}^2$$

$$N = 88000 \cdot 1 \cdot 0,66 \cdot 0,1380 \cdot 1,156 = 9265 \text{ кгс} > 8338 \text{ кгс}$$

Прочность облицовочного слоя кладки при изготовлении ее из более прочных материалов обеспечена.

5.2.5 Рассчитаем несущую способность стеклопластиковых связей.

5.2.5.1 Усилие P , при котором связь будет вырвана из кладки, определим следующим образом:

- площадь боковой поверхности усеченной пирамиды вырыва при глубине заложения связи $h_c = 90$ мм, длине утолщенной части связи $L_2 = 35$ мм и толщине шва $b = 10$ мм (см. рисунок 4.1) будет равна

$$S = (d_2 + B) \cdot h_s + 2 \cdot b \cdot h_s / \cos(\alpha)$$

$$S = (0,77 + 16,37) \cdot 7,8 + 2 \cdot 1,0 \cdot 7,8 / 0,707 = 155,757 \text{ см}^2$$

- расчетное сопротивление раствора растяжению по СНиП 2.03.01-84 (таблица 13) равняется $6,53 \text{ кгс/см}^2$.

Тогда усилие P будет равно

$$P = S \cdot R_p \cdot \gamma_y = S \cdot R_p \cdot \gamma_{сб2} \cdot \gamma_{сб6} \cdot \gamma_{сб13}$$

$$P = 155,757 \cdot 6,53 \cdot 0,90 \cdot 0,90 \cdot 0,75 = 617,8 \text{ кгс.}$$

Ветровая нагрузка на 1 м^2 для четвертого ветрового района по СНиП 2.01.07-85 будет равна $40,3 \text{ кгс}$, что меньше чем усилие вырыва, то есть **прочность в этом случае обеспечена.**

5.2.5.2 Определим величину смещения облицовочного слоя относительно несущего слоя в вертикальном направлении.

5.2.5.2.1 Случайную величину такого смещения примем равной $\Delta L_{сл} = \pm 0,5$ см.

5.2.5.2.2 Вызванное нагрузками смещение слоев обусловлено только действием на несущий слой постоянной нагрузки от веса перекрытий (покрытий) и полезной нагрузки на них.

Действительно, удлинение (сокращение) слоя стены от собственного веса $\Delta L = \gamma \cdot L^2 / (2 \cdot E)$.

Поскольку γ (объемный вес), L (длина) и E (модуль упругости) для обоих слоев одинаковы, то и изменение длины от собственного веса для них одинаково.

Напряжения, возникающие в несущем слое от воздействия перекрытий, меняются дискретно от этажа к этажу. Аналогично изменяется и деформация стены.

Нагрузку, действующую от перекрытий на расчетный простенок несущего слоя i – того (при счете сверху вниз) этажа, определим по формуле

$$P_i = i \cdot (p+q) \cdot A_y.$$

Вертикальное перемещение верхней точки учитываемого простенка i – того этажа (с учетом ползучести) рассчитаем по формуле:

$$\Delta L_i = 2,2 \cdot P_i \cdot L_i / (E \cdot A_i),$$

где – L_i – высота простенка i – того этажа;

E – модуль упругости кладки;

A_i – площадь горизонтального сечения простенка i – того этажа;

2,2 – коэффициент, учитывающий ползучесть.

Суммарное относительное перемещение слоев в верхней точки здания составит

$$\Delta L_p = \sum \Delta L_i$$

Модуль упругости кладки

$$E = 1000 \cdot 2 \cdot 22 = 44000 \text{ кгс/см}^2.$$

Суммарное относительное перемещение слоев в верхней точки здания составит

$$\Delta L_p = 2,2 \cdot (24156 + 18117 + 12078 + 6039) \cdot 280 / (44000 \cdot 38 \cdot 300) = 0,074 \text{ см.}$$

5.2.5.2.3 Относительные деформации от разности температур будут равны

$$\Delta L_T = \alpha \cdot \Delta t \cdot \Sigma L_i = 0,000005 \cdot (-60) \cdot 1220 = -0,366 \text{ см.}$$

Зимой температурные деформации компенсируют силовые деформации, поэтому в дальнейшем расчете их не учитываем.

5.2.5.2.4 При возможном деформировании облицовочного слоя от действия сжимающих сил и действия ветра как стойки, шарнирно закрепленной в уровне перекрытий, необходимо оценить возможность смещения концов стеклопластиковой арматуры относительно друг друга в результате изменения геометрической формы стены.

Величину радиуса прогиба несущего слоя простенка оценим по формуле

$$R = E \cdot I / M,$$

где E – модуль упругости кладки;

I – момент инерции сечения простенка;

M – изгибающий момент от эксцентриситета сжимающей нагрузки на несущий слой простенка.

$$R = 440000000 \cdot (0,38)^3 \cdot 1,5 / (12 \cdot 785,07) = 3844 \text{ м.}$$

Смещение слоев относительно друг друга в результате изменения геометрической формы стены определяем по формуле

$$v = \frac{\Delta}{\sqrt{1 + \frac{4 \cdot R^2}{H^2}}},$$

где v – величина смещения;

Δ – толщина утепляющего слоя;

R – радиус кривизны стены;

H – расстояние между перекрытиями.

Величина смещения концов арматуры от прогиба, вызванного эксцентриситетом осевой нагрузки на простенок, будет равна

$$v = \Delta L_{эц} = \frac{14}{\sqrt{1 + 4 \cdot 384400^2 / 280^2}} = +0,005099 \text{ см}$$

5.2.5.2.5 Прогиб стены от ветровой нагрузки оценим по формуле

$$f = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

$$f = \frac{5 \cdot 0,0040 \cdot 280^4 \cdot 12}{384 \cdot 44000 \cdot 38^3 \cdot 1,0} = 0,0016 \text{ см.}$$

При прогибе стены в горизонтальном направлении, равном 0,0016 см, радиус кривизны рассчитаем по формуле

$$R = \frac{H^2 + 4 \cdot f^2}{8 \cdot f},$$

где H – расстояние между перекрытиями;
 f – прогиб стены.

$$R = \frac{280^2 + 4 \cdot 0,0016^2}{8 \cdot 0,0016} = 6125000 \text{ см.}$$

Величина смещения концов арматуры от прогиба, вызванного действием ветровой нагрузки на простенок, будет равна

$$e = \Delta L_{\text{вн}} = \frac{14}{\sqrt{1 + 4 \cdot 6125000^2 / 280^2}} = +0,00032 \text{ см.}$$

5.2.5.3 Наибольшее смещение слоев относительно друг друга от случайных факторов, силовых воздействий и температуры будет равно

$$\Delta L_c = \Delta L_{\text{сл}} + \Delta L_p + \Delta L_{\text{эц}} + \Delta L_{\text{вн}} + \Delta L_T = -0,500 + 0,074 + 0,005099 + 0,00032 - 0,366 = -0,7837 \text{ см.}$$

5.2.5.4 При таком смещении слоев относительная изгибная деформация СПА составляет (см. [1], стр.389 - схема нагружения «осадка опоры»)

$$\varepsilon_u = \frac{3 \cdot d_{\text{ip}} \cdot \Delta L_c}{\Delta^2} = \frac{3 \cdot (0,55 - 0,03) \cdot 0,7837}{(14)^2} = 0,0062$$

5.2.5.5 Предельная допустимая деформации стержня при изгибе (при эксплуатации в условиях умеренного климата) составляет

$$\varepsilon_{\text{lim}} = \varepsilon_{\text{и}} \cdot \gamma_y = \varepsilon_{\text{и}} \cdot \gamma_{c1} \cdot \gamma_{c4} \cdot \gamma_{c5} \cdot \gamma_{c6}$$

$$\varepsilon_{\text{lim}} = 0,0381 \cdot 0,95 \cdot 0,94 \cdot 0,762 \cdot 0,65 = 0,0115.$$

Прочность связи по изгибу обеспечена

5.2.5.6 Принимая модуль ползучести стеклопластиковых стержней равным 400000 кгс/см², момент инерции поперечного сечения стержня 0,003066 см⁴, момент сопротивления поперечного сечения стержня 0,012266 см³, площадь поперечного сечения стержня 0,196 см² получаем:

- усилие среза в стержне

$$P_{\text{сг}} = 12 \cdot 400000 \cdot 0,0036066 \cdot 0,7837 / (14)^3 = 4,94 \text{ кг.}$$

Напряжение от срезающих сил будет равно

$$\sigma_{\text{ср}} = P_{\text{сг}} / A = 4,94 / 0,196 = 29,23 \text{ кгс/см}^2.$$

Эта величина должна быть меньше расчетного сопротивления срезу стеклопластикового стержня, равного:

$$R_{cq \text{ lim}} = R_{cq} * \gamma_y = R_{cq} * \gamma_{c1} * \gamma_{c4} * \gamma_{c5} * \gamma_{c6}$$

$$R_{cq \text{ lim}} = 155 * 0,95 * 0,94 * 0,776 * 0,65 = 69,8.$$

Прочность связи по срезу обеспечена

Список использованных источников

- 1 Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Расчетно-теоретический. В 2-х кн. Кн. 1. Под ред. А.А. Уманского. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., Стройиздат, 1972. 600с.
- 2 СНиП II-22-81 «Каменные и армокаменные конструкции».
- 3 СНиП 2.01.07-85* «Нагрузки и воздействия».
- 4 «Рекомендации по применению стеклопластиковой арматуры (СПА) в качестве гибких связей трехслойных каменных стен» ОАО «УралНИАСЦентр, Екатеринбург, 1999 г.
- 5 ТУ2296-001-20994511-04 Арматура стеклопластиковая. Технические условия.
- 6 Подтверждение пригодности для применения (в качестве гибких связей в трехслойных железобетонных стеновых панелях и стенах) стеклопластиковой арматуры ТУ 2296-001-20994511, изготавливаемой Бийским заводом стеклопластиков. Разработка рекомендаций по применению. Итоговый отчет. /В 3-х книгах/ СГУПС, Новосибирск, 1999 г.