

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГБОУ ВПО "Тамбовский государственный технический университет"

**Институт архитектуры, строительства и транспорта**

**В.И. Леднев,  
А.М. Макаров**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕННЫХ  
ПОЯСОВ УСИЛЕНИЯ СТЕН КИРПИЧНЫХ ЗДАНИЙ**

Утверждено Методическим советом ТГТУ  
в качестве методических указаний к выполнению курсовой работы для магистров по направлению 270800.68  
"Строительство" (программа "Техническая эксплуатация и реконструкция зданий и сооружений")

Тамбов  
2015

Р е ц е н з е н т

кандидат технических наук,  
доцент кафедры "Архитектура и строительство зданий" ФГБОУ  
ВПО ТГТУ  
*А.И. Антонов*

Утверждено Методическим советом ТГТУ  
(протокол № 1 от 20.01.2015г.)

## **ВВЕДЕНИЕ**

При строительстве и эксплуатации каменных зданий и сооружений часто наблюдаются повреждения конструкций, снижающие прочность, устойчивость, долговечность и эксплуатационную надежность как всего сооружения в целом, так и отдельных частей. Указанные повреждения являются следствием различных дефектов и нарушений, допущенных при инженерно-геологических изысканиях на площадке строительства, проектирования сооружения, изготовлении строительных материалов и деталей, строительномонтажных работах, а также ситуациях, возникающих в процессе эксплуатации сооружений.

Для обеспечения достаточной прочности, устойчивости зданий и возможности их эксплуатации необходимо усилить поврежденные конструкции.

При изучении специального курса «Основы усиления конструкций при эксплуатации и реконструкции зданий» в качестве отчетного материала студенты дневной и заочной формы обучения выполняют курсовую работу, в которой решается задача по расчету и проектированию стальных напряженных поясов, предназначенных для восстановления пространственной жесткости зданий, стены которых деформированы из-за неравномерный осадок грунтов оснований под подошвами фундаментов части здания. В настоящих указаниях приведены варианты заданий работы и даны рекомендации по ее выполнению.

## **1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

### **1.1. Цель и задачи курсовой работы**

Цель работы: приобретение практических навыков по проектированию усиления зданий с кирпичными стенами с помощью стальных напряженных поясов.

В процессе выполнения работы студент должен устанавливать причины, вызвавшие повреждения каменных зданий, освоить навыки правильного выбора способа усиления и методы их проектирования, использовать в своей работе техническую, нормативную и справочную литературу, показать умение самостоятельной творческой работы при решении конкретных инженерных задач с учетом новейших достижений науки и техники.

К выполнению курсовой работы следует приступать после тщательного изучения соответствующих разделов курса «Основы усиления конструкций при эксплуатации и реконструкции зданий» [5-7] и норм проектирования [1-4].

### **1.3. Состав и оформление работы**

В настоящей работе необходимо выполнить проектирование стальных напряженных поясов для здания с деформированными кирпичными стенами

при характере деформаций, соответствующем перегибу. Причиной деформаций следует считать ослабление грунта из-за его замачивания под торцевой частью здания.

Расчет тяжей поясов необходимо выполнять для случая, когда они компенсируют недостаточную величину отпора грунта основания в месте замачивания. Пример решения данной задачи приведен ниже.

Курсовая работа должна содержать следующие материалы:

- задание на выполнение курсовой работы;
- пояснительную записку с необходимыми расчетами и обоснованиями принимаемых решений: расчеты и подбор тяжей, уголков, устанавливаемых для крепления, тяжей на углах здания, стяжных муфт, элементов для крепления поперечных тяжей; дать описание конструктивного решения и технологии работ по устройству тяжей.

- графический материал, в котором следует привести схемы расположения тяжей на фасаде, плане и разрезе здания и дать рабочие чертежи узлов пояса при открытой или закрытой прокладке.

Пояснительная записка должна быть представлена в следующем виде: набрана в формате редактора Microsoft Word; шрифт – Times New Roman 14, normal. Абзацный отступ – 1 см. Межстрочный интервал – полуторный. Формат листа А4. Поля документа: нижнее – 3 см и верхнее — 1,5 см, правое – 3 см и левое – 1,5 см. Текст в таблицах и подписи к рисункам — Times New Roman 14, normal. Заголовки таблиц и подписи к рисункам набираются с абзацного отступа 1 см.

Формулы должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. Шрифт – Times New Roman, устанавливаются размеры шрифта: обычного – 14 пт, крупного и мелкого индекса – соответственно 8 и 6 пунктов, крупного и мелкого символа – соответственно 14 и 10 пунктов. Цифры, греческие, готические и русские буквы набираются прямым шрифтом, латинские буквы для обозначения различных физических величин (A, F, b и т.п.) – курсивом, наименования тригонометрических функций, сокращенные наименования математических понятий на латинице (max, div, log и т.п.) – прямым.

Пояснительная записка должна быть распечатана на одной стороне листов формата А4 с угловыми штампами и по содержанию соответствовать последовательности изложения, приведенном в задании к курсовой работе.

Графический материал должен быть выполнен в системе AutoCAD. Настройки текстового стиля: шрифт – ISOCPEUR; степень растяжения – 0.7; угол наклона – 15°. Формат листа А2.

При оформлении материалов курсовой работы необходимо учитывать требования СТП ТГТУ 07-97, ГОСТ Р 21.1101-2009 и ЕСКД.

#### **1.4. Задание к работе**

Во всех вариантах заданий предусматриваются расчеты и проектирование стальных напряженных поясов для усиления кирпичных зданий со стенами, деформированными из-за неравномерных осадок грунтов оснований.

В каждом конкретном задании исходные условия различаются: пролетами дома; этажностью дома; толщиной стен; высотой этажа, длиной здания; размерами фундаментов, длиной отколовшейся части дома; временной нагрузкой на перекрытие. задание выдается каждому магистранту индивидуально.

Все характеристики здания устанавливаются заданием работы в соответствии с его шифром.

Форма бланка задания приведена в приложении. Исходные данные, вносимые в бланк задания, принимаются студентами по табл. П.1 и П.2 приложение 1. По табл. П.1 принимается вариант, совпадающий с разностью двух последних цифр номера зачетной книжки (шифр задания), по табл. П.2 – вариант, совпадающий с суммой двух последних цифр. Если получается сумма более 9, вариант устанавливается по последней цифре суммы.

Например, при номере зачетной книжки (шифр задания) 0286 принимаются варианты: по табл. П.1 – 2, по табл. П.2 – 4.

## **2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ СТАЛЬНЫМИ НАПРЯЖЕННЫМИ ПОЯСАМИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ ЗДАНИЯ С ДЕФОРМИРОВАННЫМИ КИРПИЧНЫМИ СТЕНАМИ**

### **2.1. Общие сведения**

В практике эксплуатации зданий с кирпичными стенами достаточно часто встречаются случаи, когда происходят деформации стен и создается предаварийная ситуация. Деформации стен проявляются в виде трещин и разрушений несущих межоконных простенков и других участков стен, в отклонениях или выпучиваниях стен по вертикали, а также в смещениях отдельных участков здания.

Одной из основных причин подобных деформаций являются неравномерные осадки грунтов оснований, например, в результате их замачивания при эксплуатации. При неравномерных осадках оснований в стенах зданий возникают растягивающие напряжения и, как следствие, в силу ТОГО, что материал стен обычно имеет малую прочность на растяжение, образуются трещины. При наличии сквозных трещин здание разделяется на блоки, нарушается устойчивость стен и пространственная жесткость здания в целом.

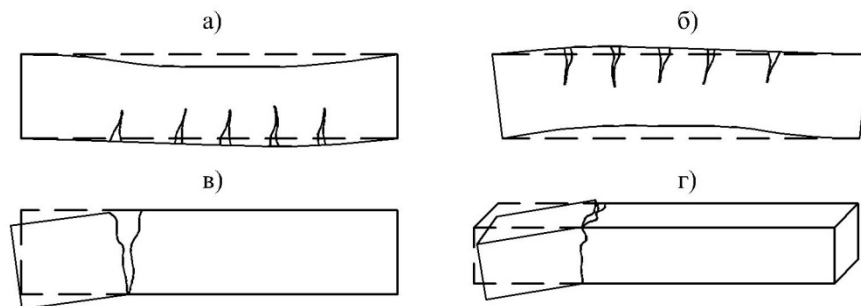
Различают три основных вида деформаций зданий, происходящих из-за неравномерных осадок оснований (см. рис. 1):

*перегиб* - трещины вертикальные или наклонные с началом у карнизной части стен;

*перекос* - трещины вертикальные с одинаковым раскрытием по высоте или парные между смежными по высоте проемами;

*прогиб* - трещины наклонные и вертикальные или параболического очертания с началом внизу здания.

Кроме указанных в практике встречаются также деформации кручения.

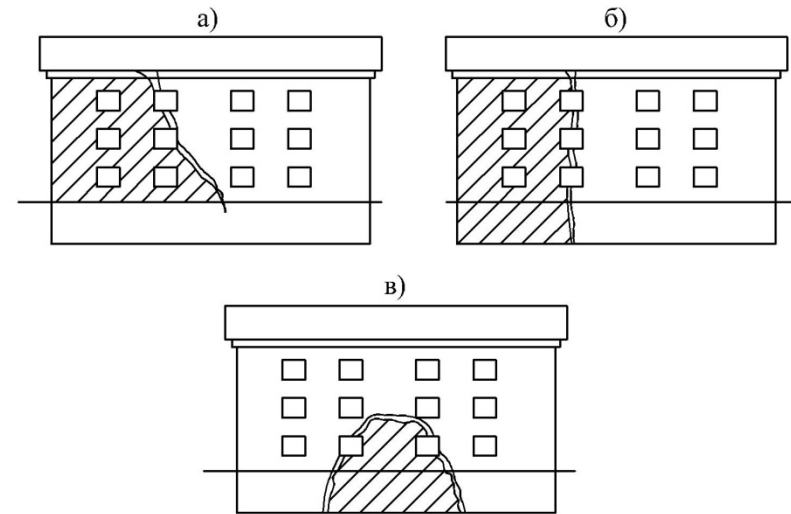


**Рис. 1. Схема деформаций при неравномерных осадках оснований:**

а – прогиб; б – перегиб; в – перекос; г – кручение

Так как здание во всех этих случаях разделяется на отдельные части (блоки), при решении вопроса об обеспечении пространственной жесткости и устойчивости необходимо рассматривать равновесие каждого блока. При этом следует иметь в виду, что каждому из указанных выше повреждений соответствует своя схема отделения блока от сохранившейся части здания (рис. 2). Например, при перегибе, как правило, прямоугольный осевший блок отделен трещиной не на всю высоту стены. Часть кладки или тело фундамента под трещиной не разорваны. При перекосе осевший блок отделен сплошной вертикальной трещиной по всей высоте до подошвы фундамента. При прогибе осевший блок очерчен сверху и по бокам параболической трещиной, а снизу - горизонтальным отрезком прямой.

Для обеспечения надежной работы здания с деформированными из-за осадок стенами необходимо выполнять комплекс мероприятий по восстановлению пространственной жесткости здания и усилению отдельных элементов стен. Как показывает практика, наиболее эффективным методом усиления зданий с нарушенной пространственной жесткостью является метод устройства стальных напряженных поясов, предложенный в МосжилНИИпроект. Метод во многих случаях позволяет избежать трудоемких работ по усилению оснований и фундаментов и укреплению местных участков стен прокатным металлом.



**Рис. 2. Схема отделения блоков (заштриховано) от сохранившейся части здания при деформации:**

а – перегиба; б – перекоса; в - прогиба

Суть метода заключается в установке на уровне чердачного и межэтажных перекрытий напряженных стальных продольных и поперечных тяжей из круглой стали, опоясывающих здание в целом или его часть. На углах тяжи привариваются к стальным элементам из уголков, чем образуются замкнутые контуры - пояса. Натяжение поясов осуществляют стальными муфтами одновременно по всему контуру пояса. После натяжения в поясах появляются сжимающие усилия, противодействующие силам, возникших из-за деформации грунтов. В свою очередь увеличение пространственной жесткости позволяет перераспределить нагрузки на грунты основания и выровнять осадки по всей площади здания.

## **2.2. Принципы расчета и проектирования стальных напряженных поясов**

При расчете и проектировании поясов необходимо решить целый ряд последовательно выполняемых задач:

1. Установить вид повреждений стен (перегиб, перекос, прогиб) и эпюру напряжений в грунте основания под подошвой фундамента.
2. Выбрать расчетную схему для определения усилий в стержнях напряженных поясов.
3. Произвести расчет и конструирование элементов поясов.
4. Разработать технологическую последовательность установки поясов.

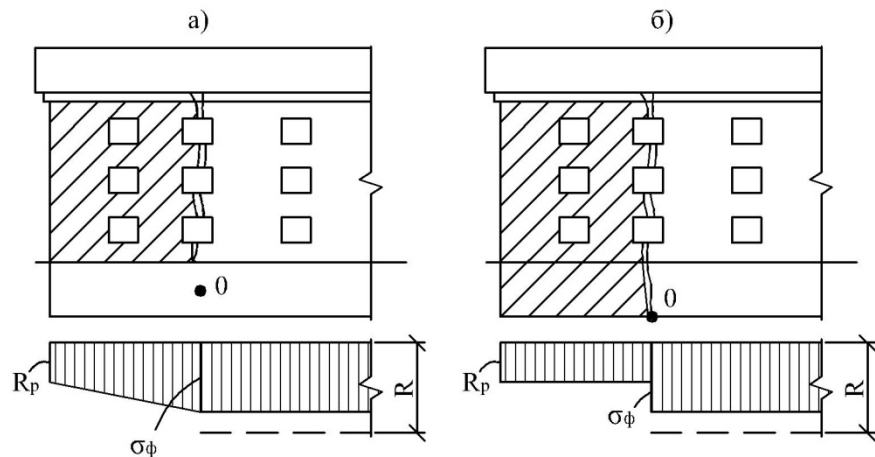
Вид повреждения стен и характер деформаций грунтов оснований определяются при натурном обследовании зданий путем установления общей картины деформаций здания. При этом желательно построить схемы расположения трещин по всем стенам здания и определить место положения и размеры отколовшихся блоков.

Эпюра напряжений в грунте основания под подошвой фундамента отколовшейся части определяется характером деформаций. И при перегибе может иметь вид трапеции, а при перекосе - трапеции или прямоугольника (см. рис. 3). Величина расчетного сопротивления грунта в зоне повреждения  $R_p$  может быть определена по формуле (1)

$$R_p = 0,8RK_0 / K_1 \quad (1)$$

где  $R$  - расчетное сопротивление грунта на здоровом участке основания, МПа;  $K_0$  - коэффициент постели на ослабленном участке основания;  $K_1$  - коэффициент постели на здоровом участке основания.

Значения  $R$ ,  $K_0$  и  $K_1$  находятся по результатам инженерно-геологического обследования грунтов основания под подошвой фундамента.



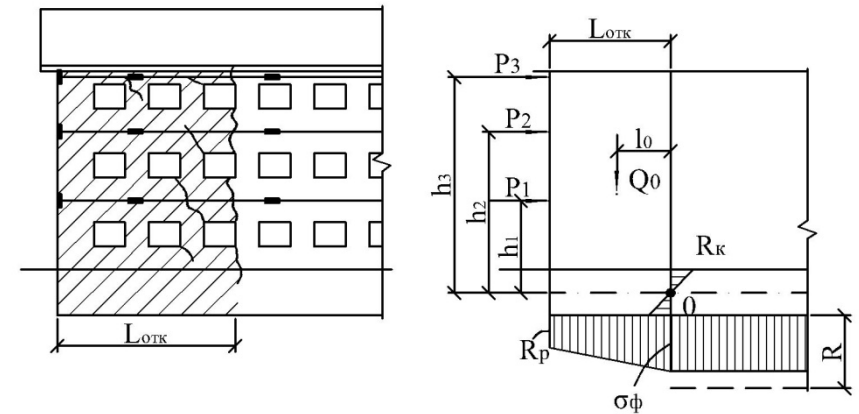
**Рис. 3. Эпюры напряжения в грунте основания под подошвой отколовшегося блока при деформациях:**

а – перегиба; б - перекоса

После выявления характера деформаций и определения расчетного сопротивления грунта в зоне повреждения составляется расчетная схема для нахождения усилий в стержнях напряженных поясов. При этом необходимо предварительно наметить количество и место расположения поясов.



В общем случае, при известных величинах расчетного сопротивления грунта в зоне повреждения, расчетная схема при деформациях перегиба приведена на рис. 4.



**Рис. 4. Расчетная схема усиления напряженными поясами здания, поврежденного при деформациях перегиба**

Для нахождения усилий в стержнях поясов необходимо составить уравнение равновесия относительно точки "0", положение которой определяется исходя из вида деформаций. При перекосе точка "0" располагается на подошве фундамента в месте границы откола. При перегибе она условно находится в середине оставшейся ниже конца трещины части здания (см. рис. 3). Усилия во всех стержнях поясов можно принять равными между собой.

Решая уравнение равновесия, можно определить усилия в тяжах, а затем по известным характеристикам стали определить их требуемые сечения.

После определения сечения тяжей производится расчет и конструирование остальных элементов пояса.

В ряде случаев может оказаться, что усилия в тяжах из-за значительного ослабления грунта будут весьма большими и, соответственно, потребуются большие сечения поясов. В результате будет необходимо либо увеличивать количество поясов, либо усложнять их конструктивное решение. Иногда, при подобных условиях, усиление вообще не может быть реальным. В таких случаях проектирование поясов можно производить совместно с усилением ослабленных грунтов основания, доводя их расчетное сопротивление до требуемой по условиям проектирования поясов величины  $R_{py}$ .

Величина  $R_{py}$  определяется из условия равновесия в соответствии с расчетной схемой, подобной приведенной на рис. 4. При этом сечения тяжей

принимаются максимально возможными по конструктивным соображениям (рекомендуется диаметр тяжей принимать не более 40 мм) и усилия в них определяются с учетом расчетных характеристик стали.

### **3. Пример проектирования стальных напряженных поясов для здания с кирпичными стенами**

#### **3.1. Задание**

Выполнить расчет и проектирование стальных напряженных поясов для здания, деформированного из-за неравномерных осадок части его основания, и имеющего следующие параметры.

Здание двухэтажное, без подвала, с продольными несущими стенами двухпролетное с пролетами, равными 5,4 м. Высота этажа 3,3 м. Длина здания 29 м.

Стены оштукатуренные и сложены из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе. Толщина наружных стен 0,64 м, внутренних 0,51 м. Цокольная и карнизная части стен имеют высоту 0,6 м.

Перекрытия выполнены из многпустотных плит, полы деревянные по лагам. Утепление чердачного перекрытия из керамзита толщиной 0,20 м с объемной плотностью 800 кг/м<sup>3</sup>. Временная нагрузка на перекрытия и пол 1 этажа 2 кН/м<sup>2</sup>.

Фундаменты выполнены из сборных блоков с глубиной заложения от уровня земли 1,5 м; фундаментные подушки под наружными стенами имеют ширину 1,2 м, под внутренними стенами 1,5 м.

Крыша двухскатная чердачная со стальной кровлей по сплошной обрешетке и наклонными стропилами сечением 0,20×0,15 м, установленными с шагом 1,0 м, мауэрлаты, коньковый прогон и лежень выполнены из брусьев сечением 0,18×0,18 м.

Здание имеет деформации, соответствующие перегибу. Длина отколовшейся части составляет 6,4 м. Конец трещины откола располагается на высоте 1,5 м от подошвы фундамента.

Расчетные напряжения в грунте основания составляют 80 % от расчетного сопротивления грунта  $\sigma_{\phi} = 0,8R$ . Соотношение коэффициентов постели на ослабленном и здоровом участках основания по данным инженерно-геологических исследований составляет  $K_0/K_1 = 0,887$ .

Пояса следует устанавливать в уровне перекрытий. Конструктивное решение разработать для случая их открытой прокладки на стенах.

#### **3.2. Определение расчетных напряжений грунтов оснований под подошвой фундаментов**

Сбор нагрузок на один погонный метр основания под подошвой фундамента дан в табл. 1-3.

Расчетные напряжения в грунте основания под подошвами фундаментов:  
 - наружной стены

$$\sigma_{\phi}^H = \frac{N_{\phi}^H}{b_{\phiп}^H} = \frac{154,83}{1,20} = 129,03 \text{ кН/м}^2;$$

- внутренней стены

$$\sigma_{\phi}^B = \frac{N_{\phi}^B}{b_{\phiп}^B} = \frac{213,6}{1,50} = 142,4 \text{ кН/м}^2.$$

Среднее расчетное напряжение под подошвой фундаментов

$$\sigma_{\phi}^{cp} = \frac{2\sigma_{\phi}^H b_{\phiп}^H + \sigma_{\phi}^B b_{\phiп}^B}{2b_{\phiп}^H + b_{\phiп}^B} = \frac{2 \cdot 129,03 \cdot 1,2 + 142,4 \cdot 1,50}{2 \cdot 1,20 + 1,50} = 134,17 \text{ кН/м}^2,$$

где  $b_{\phiп}^H$ ,  $b_{\phiп}^B$  - ширина подушек фундаментов наружной и внутренней стен.

Таблица 1 - Нагрузки на один погонный метр основания под подошвой фундамента наружной стены

№ п/п	Наименование нагрузки	Нормативная нагрузка, кН/м	Коэффициент надежности $\gamma_f$	Расчетная нагрузка, кН/м
1	2	3	4	5
<b>Постоянная нагрузка</b>				
1	Кирпичная кладка стены $(nh_{эт}K_{пр} + h_{ц} + h_{к}) \cdot \gamma_{кк} \cdot (\delta_{кк} + \delta_{шт}) =$ $= (2 \cdot 3,3 \cdot 0,7 + 0,6 + 0,6) \cdot 18 \cdot (0,64 + 0,02)$ ( $K_{пр}$ – коэффициент проемности стены)	69,14	1,1	76,06
2	Фундамент $(h_{\phiс} \delta_{\phiс} + h_{\phiп} \delta_{\phiп}) \cdot \gamma_{\phi} =$ $= (1,2 \cdot 0,6 + 0,3 \cdot 1,2) \cdot 22$	23,76	1,1	26,14
3	Грунт на подушке фундамента $(b_{\phiп} - \delta_{\phiс}) \cdot h_{\phiс} \cdot \gamma_{гр} =$ $= (1,2 - 0,6) \cdot 1,2 \cdot 15$	10,80	1,2	12,96
4	Пол 1-го этажа (по грунту) на подушке фундамента $(b_{\phiп} - \delta_{\phiс}) \cdot P_{п} / 2 =$ $= (1,2 - 0,6) \cdot 0,55 / 2$	0,17	1,2	0,20

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
5	Междуэтажное перекрытие $(n-1) \cdot (P_{пл} + P_{пол}) \cdot b/2 =$ $= 1 \cdot (2,88 + 0,3) \cdot 5,4/2$	8,59	1,1	9,44
6	Плиты чердачного перекрытия $P_{пл} \cdot b/2 = 2,88 \cdot 5,4/2$	7,78	1,1	8,85
7	Утеплитель чердачного перекрытия из керамзита $\delta_{ут} \cdot \gamma_{ут} \cdot b/2 = 0,2 \cdot 8 \cdot 5,4/2$	4,32	1,3	5,62
8	Стропильная система (стропила и мауэрлат) $(b_c h_c \cdot l \cdot b/2 / \cos \alpha + b_m \cdot h_m) \cdot \gamma_{др} =$ $= (0,2 \cdot 0,15 \cdot 5,4/2 / \cos 25^0 + 0,18 \cdot 0,18) \cdot 5$  $(\alpha=25 - \text{угол ската})$	0,61	1,2	0,73
9	Сплошная обрешетка из досок $b \cdot \delta_{об} \cdot \gamma_{об} / 2 / \cos \alpha =$ $= 5,4 \cdot 0,025 \cdot 5/2 / \cos 25^0$	0,37	1,1	0,41
10	Стальная кровля $\delta_{ст} \cdot \gamma_{ст} \cdot b/2 / \cos \alpha =$ $= 0,0008 \cdot 78,5 \cdot 5,4/2 / \cos 25^0$	0,19	1,05	0,20
Итого постоянная нагрузка		125,73		140,31
<b>Временная нагрузка</b>				
11	Снеговая нагрузка [1, п.10, прил. Ж, карта 1] для г. Тамбова; $S_0 = 0,7 \cdot c_e \cdot c_t \cdot \mu \cdot S_g \cdot b/2 = 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,8 \cdot 5,4/2$	3,4	1,4	4,86
12	На междуэтажное перекрытие $q_b/2 = 2 \cdot 5,4/2$	5,4	1,2	6,48
13	На подушке фундамента $q(b_{фп} - \delta_{фс})/2 = 2 \cdot (1,2 - 0,6)/2$	0,6	1,2	0,72
14	На чердачное перекрытие $q_b/2 = 0,7 \cdot 5,4/2$	1,89	1,3	2,46
Итого временная нагрузка		11,29		14,52
Итого полная нагрузка		137,02		154,83

Таблица 2 - Нагрузки на один погонный метр основания под подошвой фундамента внутренней стены

№ п/п	Наименование нагрузки	Нормативная нагрузка, кН/м	Коэффициент надежности $\gamma_f$	Расчетная нагрузка, кН/м
1	2	3	4	5
<b>Постоянная нагрузка</b>				
1	Кирпичная кладка стены $(nh_{эт} + h_{п} + h_{к}) \cdot \gamma_{кк} \cdot (\delta_{кк} + \delta_{шт}) =$ $= (2 \cdot 3,3 + 0,6 + 0,6) \cdot 18 \cdot (0,51 + 0,04)$	77,22	1,1	84,95
2	Фундамент $(h_{фс} \delta_{фс} + h_{фп} \delta_{фп}) \cdot \gamma_{б} =$ $= (1,2 \cdot 0,6 + 0,3 \cdot 1,5) \cdot 22$	25,74	1,1	28,31
3	Грунт на подушке фундамента $(b_{фп} - \delta_{фс}) \cdot h_{фс} \cdot \gamma_{гр} =$ $= (1,5 - 0,6) 1,2 \cdot 15$	16,2	1,2	19,44
4	Пол 1-го этажа на подушке фундамента $(b_{фп} - \delta_{фс}) \cdot P_{п} = (1,5 + 0,6) 0,55$	0,25	1,2	0,30
5	Междуэтажное перекрытие $(n - 1) \cdot (P_{пл} + P_{пол}) \cdot b =$ $= 1 \cdot (2,88 + 0,3) \cdot 5,4$	17,17	1,1	18,89
6	Плиты чердачного перекрытия $P_{пл} \cdot b = 2,88 \cdot 5,4$	15,55	1,1	17,11
7	Утеплитель чердачного перекрытия из керамзита $\delta_{ут} \cdot \gamma_{ут} \cdot b = 0,2 \cdot 8 \cdot 5,4$	8,64	1,3	11,23
8	Стропильная система (стропила) $b_c \cdot h_c \cdot 1 \cdot b / \cos \alpha =$ $= 0,2 \cdot 0,15 \cdot 5,4 / \cos 25^0$	0,61	1,2	0,73
9	Подкосы $b_{п} \cdot h_{п} \cdot \gamma_{др} \cdot b \cdot \sin \alpha =$ $= 0,18 \cdot 0,18 \cdot 5 \cdot 5,4 \cdot \sin 25^0$	1,2	1,1	1,32

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5
10	Лежень $b_{л} \cdot h_{л} \cdot \gamma_{др} = 0,18 \cdot 0,18 \cdot 5$	0,16	1,1	0,18
11	Коньковый прогон $b_{к} \cdot h_{к} \cdot \gamma_{др} = 0,18 \cdot 0,18 \cdot 5$	0,16	1,1	0,18
12	Сплошная обрешетка из досок $b \cdot \delta_{об} \cdot \gamma_{др} / \cos \alpha =$ $= 5,4 \cdot 0,025 \cdot 5 / \cos 25^{\circ}$	0,75	1,1	0,82
13	Стальная кровля $\delta_{ст} \cdot \gamma_{ст} \cdot b / \cos \alpha =$ $= 0,0008 \cdot 78,5 \cdot 5,4 / \cos 25^{\circ}$	0,37	1,05	0,39
Итого постоянная нагрузка		164,02		183,85
<b>Временная нагрузка</b>				
14	Снеговая нагрузка [1, п.10, прил. Ж, карта 1] для г. Тамбова; $S_0 = 0,7 c_e c_t \mu S_g \cdot b = 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,8 \cdot 5,4$	6,8	1,4	9,72
15	На междуэтажное перекрытие $q_b = 2 \cdot 5,4$	10,8	1,2	12,96
16	На подушке фундамента $q(b_{фп} - \delta_{фс}) = 2 \cdot (1,5 - 0,6)$	1,8	1,2	2,16
17	На чердачное перекрытие $q_b = 0,7 \cdot 5,4$	3,78	1,3	4,91
Итого временная нагрузка		23,18		29,78
Итого полная нагрузка		183,2		213,6

Таблица 3- Нагрузки на один погонный метр основания под подошвой фундамента торцевой стены

№ п/п	Наименование нагрузки	Нормативная нагрузка, кН/м	Коэффициент надежности $\gamma_f$	Расчетная нагрузка, кН/м
1	2	3	4	5
<b>Постоянная нагрузка</b>				

1	2	3	4	5
1	Кирпичная кладка стены и фронтона $(nh_{\text{эт}} + h_{\text{ц}} + h_{\text{к}} \text{tg}\alpha) \cdot \gamma_{\text{кк}} \cdot (\delta_{\text{кк}} + \delta_{\text{шт}}) =$ $= (2 \cdot 3,3 + 0,6 + 0,6 \cdot 5,4 \cdot \text{tg}25^{\circ}) \cdot 18 \times$ $\times (0,51 + 0,02)$	83,1	1,1	91,41
2	Фундамент $(h_{\text{фс}} \delta_{\text{фс}} + h_{\text{фп}} \delta_{\text{фп}}) \cdot \gamma_{\text{б}} =$ $= (1,2 \cdot 0,6 + 0,3 \cdot 1,2) \cdot 22$	23,76	1,1	26,14
3	Грунт на подушке фундамента $(b_{\text{фп}} - \delta_{\text{фс}}) \cdot h_{\text{фс}} \cdot \gamma_{\text{гр}} =$ $= (1,2 - 0,6) 1,2 \cdot 15$	10,80	1,2	12,96
	Итого постоянная нагрузка	117,66		130,51

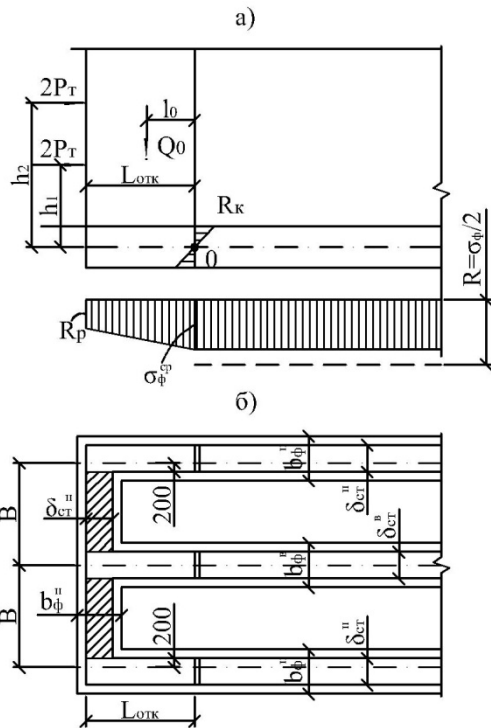
### 3.3. Определение усилий в тязях

Принимаем, что тязи установлены в уровне перекрытий и усилия в них одинаковы. Расчетная схема для определения усилий в тязях при условии деформаций перегиба приведены на рис. 5.

Из условия равновесия моментов относительно точки "0" ( $\sum M_0 = 0$ )  
имеем уравнение

$$Q_0 l_0 - 2P_T \sum_{j=1}^2 h_j - R_p \sum_{i=1}^3 b_{\text{фи}} L_{\text{отк}}^2 / 2 - 0,5(\sigma_{\text{ф}}^{\text{сп}} - R_p) \sum_{i=1}^3 b_{\text{фи}} L_{\text{отк}}^2 / 3 -$$

$$- R_p b_{\text{ф}}^H (L_{\text{отк}} - b_{\text{ф}}^H / 2) (2B - b_{\text{ф}}^B - 0,40) = 0$$



**Рис.5** Расчетная схема (а) и схема плана к определению размеров (б)

Масса отколовшегося блока определяется как

$$\begin{aligned}
 Q_0 &= Q_{\text{прс}} + Q_{\text{тс}} = L_{\text{отк}} \sum_{i=1}^3 N_{\text{при}} + N_{\text{T}} (2B - \delta_{\text{ст}}^{\text{B}} - 0,40) = \\
 &= 6,4(2 \cdot 154,83 + 213,60) + 130,51(2 \cdot 5,40 - 0,51 - 0,40) = \\
 &= 3348,86 + 1290,74 = 4639,60 \text{ кН}
 \end{aligned}$$

Плечо приложения силы относительно точки «0» определяется по формуле



$$l_0 = \frac{Q_{\text{прс}} \cdot L_{\text{отк}} / 2 + Q_{\text{тс}} (L_{\text{отк}} - \delta_{\text{ст}}^{\text{н}} / 2)}{Q_0} =$$

$$= \frac{3348,86 \cdot 6,4 / 2 + 1290,74 \cdot (6,40 - 0,64 / 2)}{4639,60} =$$

$$= \frac{10716,35 + 7847,7}{4639,6} = 4,0 \text{ м}$$

Плечи сил в тязях относительно точки «0» равны

$$h_1 = h_{\text{эТ}} + h_{\text{ц}} + h_{\text{ф}} / 2 = 3,3 + 0,6 + 1,5 / 2 = 4,65 \text{ м}$$

$$h_2 = 2h_{\text{эТ}} + h_{\text{ц}} + h_{\text{ф}} / 2 = 2 \cdot 3,3 + 0,6 + 1,5 / 2 = 7,95 \text{ м}$$

Расчетное сопротивление грунта в зоне замачивания определяется в соответствии с данными, приведенными в задании, как

$$R_p = 0,8R \frac{K_0}{K_1} = 0,8 \frac{\sigma_{\text{ф}}^{\text{сп}}}{0,8} \frac{K_0}{K_1} = 0,8 \frac{134,17}{0,8} 0,887 = 119,01 \text{ кН/м}^2$$

Тогда усилия в тязях определяются как

$$4639,6 \cdot 4,0 - 2P_T \cdot (4,65 + 7,95) - 119,01 \cdot (2 \cdot 1,20 + 1,50) \cdot 6,40^2 / 2 -$$

$$- 0,5 \cdot (134,17 - 119,01)(2 \cdot 1,20 + 1,50) \cdot 6,40^2 / 3 - 119,01 \cdot 1,20 \times$$

$$\times (6,40 - 1,20 / 2)(2 \cdot 5,40 - 1,50 - 0,40) = 0$$

$$18558,4 - 25,2 \cdot P_T - 9505,57 - 403,62 - 7371,96 = 0$$

Откуда  $P_T = 50,68 \text{ кН}$

### 3.4. Расчет и проектирование элементов пояса

#### 3.4.1. Подбор сечения тязя

Тязь проектируем из круглой стали по ГОСТ 27772 с расчетным сопротивлением растяжению  $R_y = 320 \text{ МПа}$  (сталь С-345) [4, табл. В.5].

Требуемая площадь сечения тязя

$$F_T = P_T / R_S \gamma_S = 50,68 / (32 \cdot 0,90) = 1,76 \text{ см}^2,$$

где  $\gamma_s = 0,90$  - коэффициент условий работы тязя [4, табл. 1].

Требуемый диаметр тязя равен  $d_{\text{тр}} = \sqrt{4 \cdot 1,76 / 3,14} \geq 1,5 \text{ см}$  с учетом ослаблений на резьбу принимаем окончательно тязь с диаметром 20 мм (см. прил. 2). Расчетная площадь тязя (в месте резьбы)  $F_T = 2,45 \text{ см}^2$ .

#### 3.4.2. Подбор уголка для крепления тязей на углах здания

Схема крепления тязя к уголку приведена на рис. 6. Принимаем для крепления равнобокий уголок из стали марки С-345. Толщину и ширину

полки уголка находим из условий необходимой длины сварного шва. Сварка выполняется электродами Э50 по ГОСТ 9467 [4, табл. Г.1].

Определяем длину сварного шва из условия разрушения по металлу шва [4, формула 120]

$$l_w \geq \frac{P_T}{\beta_f k_f R_{wf} \gamma_{wf} \gamma_c} = \frac{50,68}{0,7 \cdot 0,8 \cdot 21,5 \cdot 1 \cdot 0,90} \geq 4,7 \text{ см.}$$

Определяем длину шва из условия разрушения по границе сплавления [4]

$$l_w \geq \frac{P_T}{\beta_z k_f R_{wz} \gamma_{wz} \gamma_c} = \frac{50,68}{1 \cdot 0,8 \cdot 21,15 \cdot 1 \cdot 0,90} \geq 3,3 \text{ см.}$$

В формулах принято  $k_f = 8$  мм - катет сварного шва (в данном случае  $k_f = k_{fmin} = 8$  мм [4, табл. 38]);  $\beta_f = 0,7$ ,  $\beta_z = 1$  - коэффициенты [4, табл. 39];  $\gamma_{wf} = 1$  - коэффициенты условий работы шва;  $\gamma_{wz} = 1$  - коэффициенты условной работы шва [4];  $R_{wf} = 215$  МПа - расчетное сопротивление по металлу шва [4, табл. Г.2];  $R_{zf} = 0,45 R_{wzn} = 0,45 \cdot 470 = 211,5$  МПа - расчетное сопротивление по границе сплавления [4, табл. 4 и В.5];  $\gamma_c = 0,90$  - коэффициент условий работы [4, табл. 1].

Принимаем ширину полки уголка из условия

$$b_{yг} = l_{w \max} / 2 + 1 = 4,7 / 2 + 1 = 3,4 \text{ см.}$$

Конструктивно принимаем равнополочный уголок 90×6 по ГОСТ 8509-93) с  $I_x = 82,1 \text{ см}^4$ .

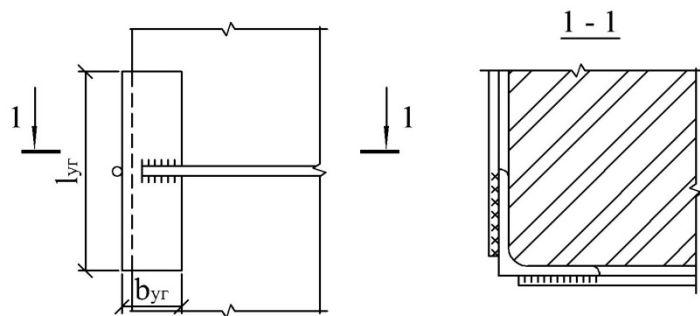


Рис. 6. Схема крепления тяжей к уголку

Определяем оптимальную длину уголка, используя эмпирическую формулу, приведенную в [5, стр. 102]

$$l_{yг} = 22,7(I_x / b_{yг})^{1/3} = 22,7(82,1/9)^{1/3} = 47,4 \text{ см.}$$

Принимаем  $l_{yг} = 50$  см.

### 3.4.3. Подбор стяжной муфты

Принимаем муфту в виде трубы с левой и правой резьбами. Схема муфты приведена на рис. 7, а.

Площадь поперечного сечения муфты  $F_M$  должна быть равна площади поперечного сечения тяжа с учетом ослабления резьбой  $F_M = F_T = 2,45 \text{ см}^2$ . Внутренний диаметр муфты  $d_B = 20 \text{ мм}$ . Муфта ослаблена четырьмя отверстиями с  $d_0 = 12 \text{ мм}$ .

Определяем наружный диаметр  $d_H$  из условия

$$F_T = F_M = \pi(d_H^2 - d_B^2) / 4 - 4d_{от}(d_H - d_B).$$

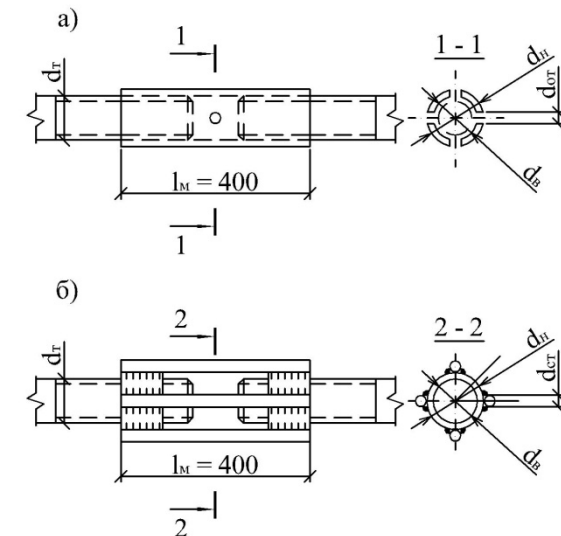
тогда имеем,

$$3,14(d_H^2 - 2) / 4 - 4 \cdot 1,2(d_H - 2) = 2,45$$

$$0,785d_H^2 - 4,8d_H + 6,9 = 0$$

$$d_H = \frac{4,8 + \sqrt{4,8^2 - 4 \cdot 0,785 \cdot 6,9}}{2 \cdot 0,785} = 3,8 \text{ см.}$$

Принимаем наружный диаметр муфты 40 мм.



**Рис. 7. Конструктивные решения стяжных муфт:**

*а* - трубчатой; *б* - из гаек со стержнями

Возможно также устройство муфты в виде двух гаек с левой и правой резьбами с четырьмя приваренными стержнями (рис. 7, б). Наружный

диаметр гаек принимаем равный 60 мм., а стержня из условия  $F_M = \Sigma F_{ct} = 2,45 \text{ см}^2$ ,

$$d_{ct} = \sqrt{2,45/3,14} = 0,9 \text{ см}$$

Принимаем стержни диаметром 12 мм. Сварка выполняется электродами Э50. Катет шва 8 мм.

#### 3.4.4. Подбор элементов поперечного тяжа

Так как отношение длины здания  $L = 29 \text{ м}$  к его ширине  $B = 12,08 \text{ м}$ , равное  $29,00/12,08 = 2,4:1$ , больше чем  $1,5:1$ , необходима установка поперечного тяжа. Диаметр поперечного тяжа и конструкции муфт принимаем аналогичными конструкциям основного пояса. Место расположения тяжа показано на плане и фасаде здания (см. рис. 8).

В месте расположения поперечного тяжа тяж основного пояса разрывается и прикрепляется к неравнополочному уголку  $125 \times 80 \times 10$  (ГОСТ 8510), длина которого определяется конструктивно исходя из необходимой длины приварки тяжей основного пояса и установки прокладки под гайку поперечного тяжа. Суммарная длина сварного шва, как рассчитано ранее, не должна быть менее 5 см при сварке электродами Э50 с катетом шва 8 мм (см. рис. 9).

#### 3.5. Расчет минимально допустимой величины расчетного сопротивления ослабленного грунта основания для случая устройства пояса с тяжами большего сечения, чем требуется из условия равновесия

Для определения величины  $R_{pmin}$  используем расчетную схему, аналогичную схеме на рис.5.

Принимаем конструктивно диаметр тяжа  $d = 40 \text{ мм}$ . Расчетный диаметр с учетом ослаблений резьбой равен 36 мм. Рабочая площадь тяжа  $F_T^{max} = 10,18 \text{ см}^2$ . Расчетное сопротивление  $R_y = 300 \text{ МПа}$  (сталь С-345).

Усилие в тросах

$$P_T^{max} = F_T R_s \gamma_c = 10,18 \cdot 30 \cdot 0,9 = 274,86 \text{ кН}.$$

Из условия равновесия ( $\sum M_0 = 0$ ) находим  $R_{pmin}$

$$Q_0 l_0 - 2P_T^{max} \sum_{i=1}^2 h_i - R_{pmin} \sum_{i=1}^3 b_{\phi i} L_{отк}^2 / 2 - 0,5(\sigma_{\phi}^{cp} - R_{pmin}) \sum_{i=1}^3 b_{\phi i} L_{отк}^2 / 3 -$$

$$R_{pmin} b_{\phi}^H (L_{отк} - b_{\phi}^H / 2)(2B - b_{\phi}^B - 0,40) = 0.$$

$$4639,6 \cdot 4,0 - 2 \cdot 274,86 \cdot (4,65 + 7,95) - R_{p\min} (2 \cdot 1,20 + 1,50) \cdot 6,40^2 / 2 -$$

$$0,5 \cdot (134,17 - R_{p\min}) (2 \cdot 1,20 + 1,50) \cdot 6,40^2 / 3 -$$

$$- R_{p\min} 1,20 \cdot (6,40 - 1,20 / 2) (2 \cdot 5,40 - 1,20 - 0,40) = 0.$$

$$18558,4 - 6926,47 - 79,87 \cdot R_{p\min} - 3572,14 - 26,63 \cdot R_{p\min} - 64,03 \cdot R_{p\min} = 0.$$

$$\text{Имеем } R_{p\min} = 47,26 \text{ кН/м}^2.$$

Таким образом, при диаметре троса  $d = 40$  мм усилие можно производить, если расчетное сопротивление ослабленного участка грунта под подошвой фундамента будет не менее чем  $47,26 \text{ кН/м}^2$ .

### **3.6. Конструктивное решение и технологическая последовательность установки поясов**

Конструктивное решение поясов разработано для случая их открытой прокладки по стенам. Схемы расположения поясов и конструктивные узлы приведены на рис. 8-13.

Усиление производится двумя поясами, установленными в уровнях чердачного и междуэтажного перекрытий. Пояса проложены открыто на штырях, размещенных с шагом  $1,00 - 2,00$  м.

Пояса запроектированы с тросами из круглой стали С-345 диаметром  $20$  мм. На углах троса закрепляются к равно полочным уголкам  $90 \times 6$  длиной  $50$  см. Суммарная длина сварного шва в месте крепления троса к уголку должна быть не менее  $5$  см с катетом шва  $8$  мм. Сварку выполнять электродами Э50 (ГОСТ 9467).

Поперечные тросы поясов выполнить из круглой стали С-345 диаметром  $20$  мм. В месте расположения поперечного троса в наружном поясе устанавливается неравнополочный уголок  $125 \times 80 \times 8$  (ГОСТ 8510). Крепление тросов пояса к уголку производится сваркой электродами Э50 с катетом шва  $10$  мм.

Натяжение поясов и поперечных тросов обеспечивается стяжными муфтами. Расстояние между муфтами должно быть не более  $6,0$  м. Трубочатые муфты выполняются из стали С-345. Наружный диаметр муфты  $40$  мм. Отверстия в муфте для рычага натяжения диаметром не более  $12$  мм.

Установка поясов должна выполняться в следующей технологической последовательности.

1. Проводятся предварительные работы по ликвидации причин ослабления грунтов основания - в данном случае их замачивания.
2. Усиливаются по специальному проекту все поврежденные конструкции стен (простенки, перемычки и т.д.).
3. В заводских условиях выполняются все элементы поясов со сваркой всех деталей и окраской антикоррозионным покрытием.

4. На здании проводится разметка мест положения элементов поясов, пробивка отверстий для пропуска тяжей. В местах установки уголков сбивается штукатурный слой.

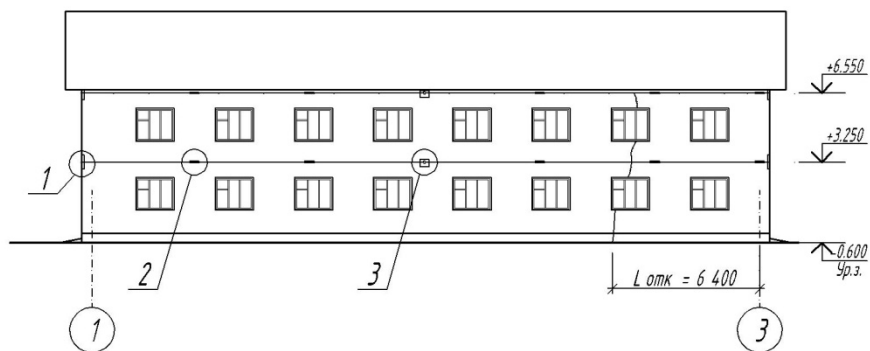
6. На растворе устанавливаются уголки пояса и подвешиваются тяжи с муфтами.

7. Производится натяжение поясов с помощью динамометрического ключа или рычагом длиной 1,5 м с усилием на него 300 - 400 Н. Натяжение осуществляется одновременно по всему периметру пояса. Усилие натяжения должно быть в пределах 50 кН. Тяж можно считать напряженным, если он не имеет провисания и при простукивании излучает чистый звук высокого тона.

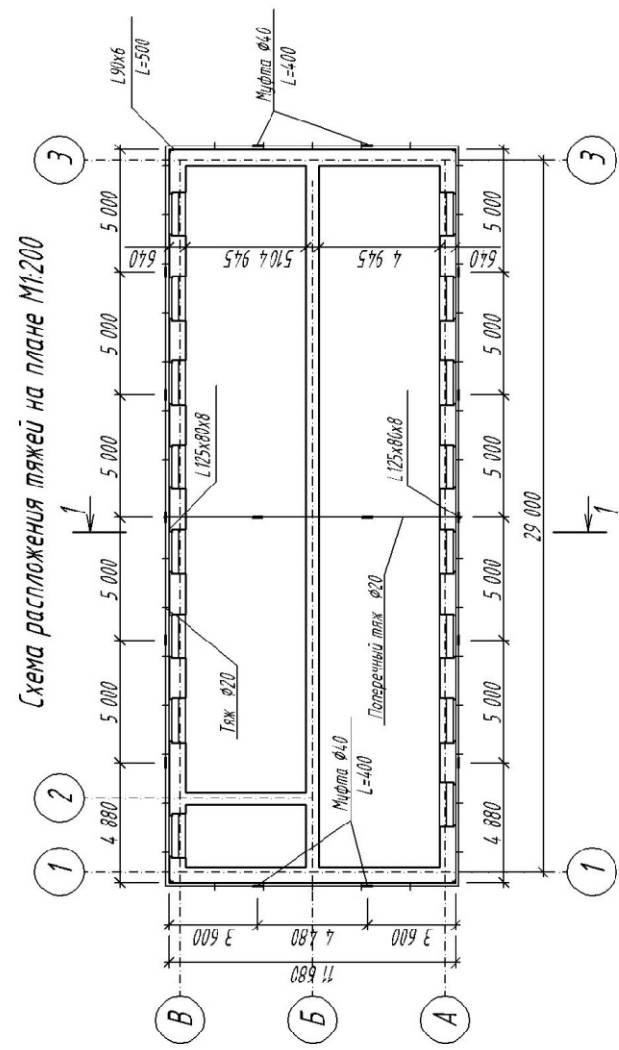
8. Учитывая возможность потери напряжения в поясах, не ранее чем через 1 месяц проводится их дополнительная подтяжка.

9. После повторной подтяжки пояса все штрабы и отверстия заделываются раствором марки М150.

*Схема расположения тяжей на фасаде 1-3 М1:200*



**Рис. 8. Схема расположения тяжей на фасаде**



**Рис. 9. Схема расположения тяжей на плане**

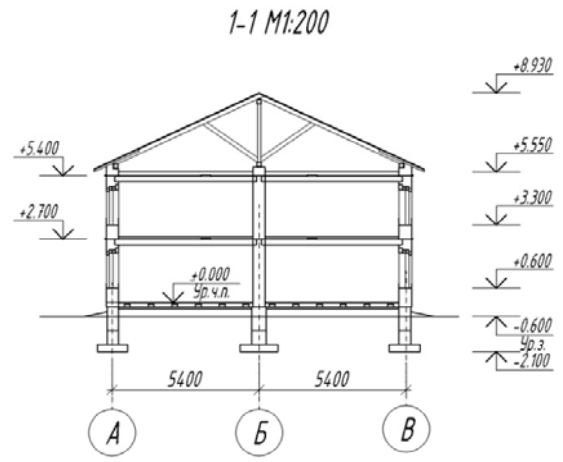


Рис. 10. Схема расположения тяжей на сечении

1 M1:5

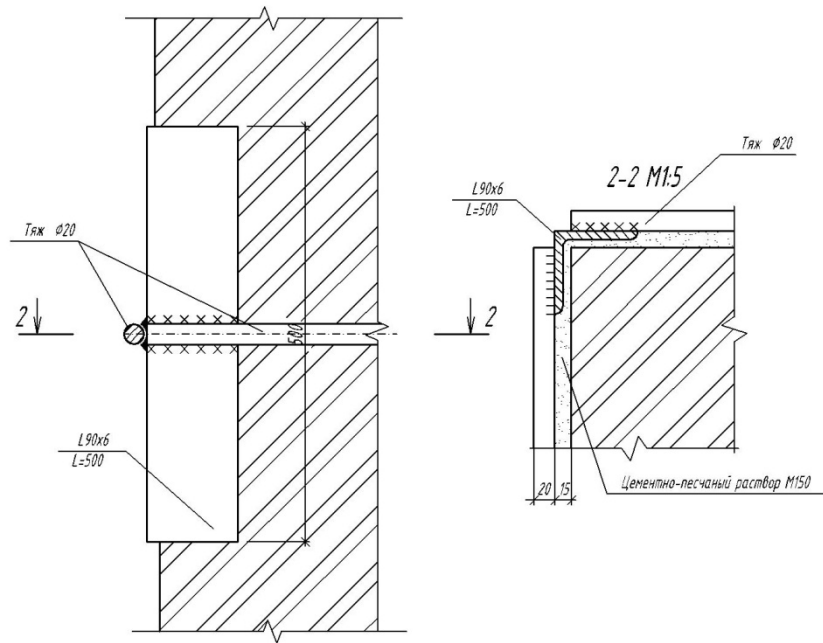


Рис. 11. Конструктивное решение элементов пояса



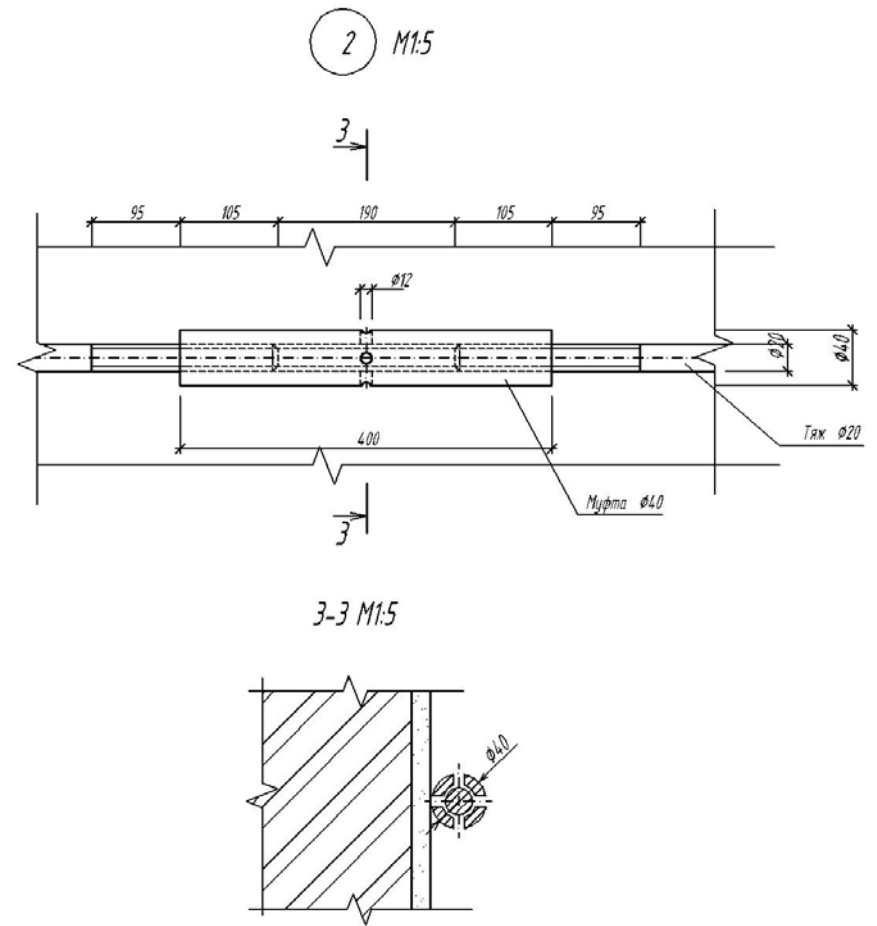
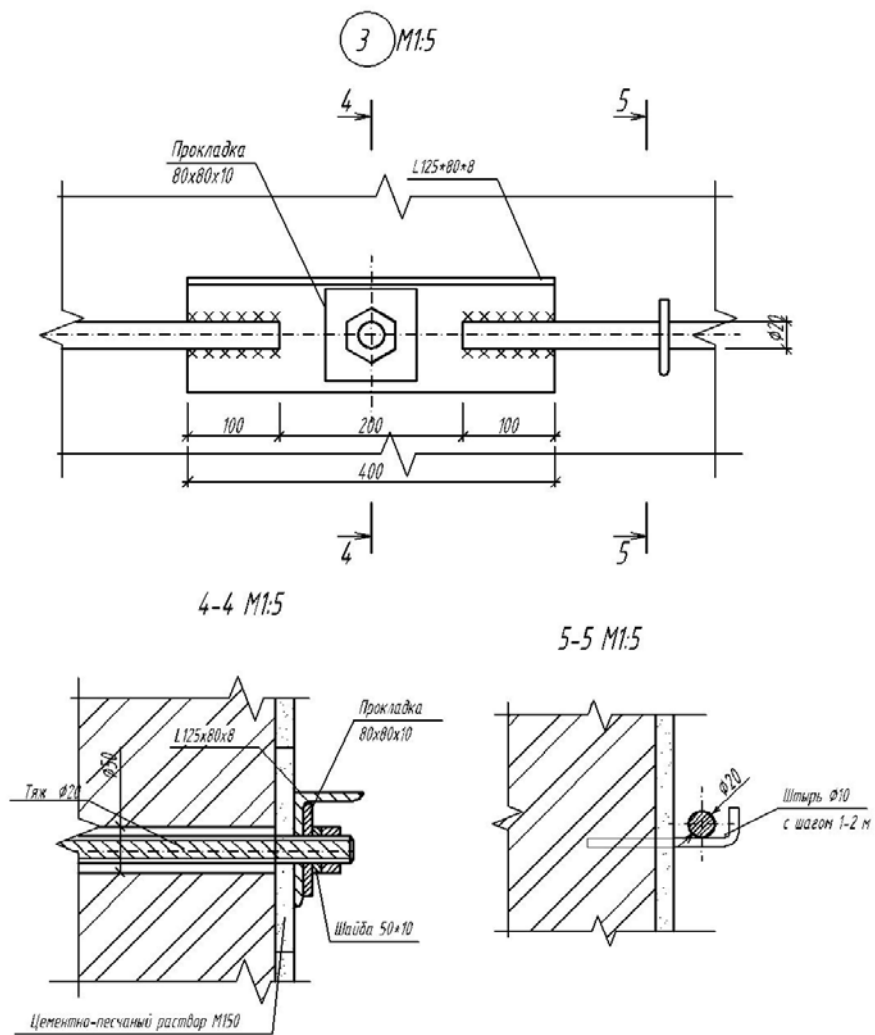


Рис. 12. Конструктивное решение элементов пояса



**Рис. 13. Конструктивное решение элементов пояса**

#### ЛИТЕРАТУРА

1. СП 20.13330.2012 «Нагрузки и воздействия», Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*. – М.: ОАО ЦПП, 2011.
2. СП 15.13330.2012 Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81\*. – М.: ОАО ЦПП, 2011.

3. СП 52-101-2003 Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. – М.: ФГУП ЦПП, 2004.
4. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*. – М.: ОАО ЦПП, 2010.
5. Нечаев, Н. В. Капитальный ремонт жилых зданий / Н. В. Нечаев. - М. : Стройиздат, 1990. - 207 с.
6. Андрианов, К.А. Расчет усиления конструкций перед реконструкцией и капитальным ремонтом: учеб. пособие для студ. очн. и заоч. форм обучения, обучающихся по направ. 270800 / К. А. Андрианов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева; ФГБОУ ВПО "ТГТУ". - Тамбов: ФГБОУ ВПО "ТГТУ", 2012. - 112 с.
7. Леденев, В.И. Обследование технического состояния гражданских зданий перед реконструкцией и капитальным ремонтом: метод. указания для бакалавров и магистрантов напр. 270800 / В. И. Леденев, К. А. Андрианов, И. В. Матвеева; Тамб. гос. техн. ун-т. - Тамбов: ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. - 24 с.

## Приложение

*Приложение 1*

### Задание

Студенту гр.....Ф.И.О.....

на выполнение курсовой работы по дисциплине "Основы усиления конструкций при эксплуатации и реконструкции зданий" на тему "Повышение пространственной жесткости здания с деформированными кирпичными стенами стальными напряженными поясами". Шифр задания....

Выполнить расчет и проектирование стальных напряженных поясов для здания, деформированного из-за неравномерных осадок части его основания, и имеющего следующие параметры.

Здание без подвала, этажностью (табл. П1) с продольными несущими стенами двухпролетное с пролетами, равными (табл. П1). Высота этажа (табл. П1). Длина здания (табл. П2).

Стены оштукатуренные и сложены из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе. Толщина наружных стен (табл. П1), внутренних (табл. П1). Цокольная и карнизная части стен имеют высоту 0,6 м.

Перекрытия выполнены из многопустотных плит, полы деревянные по лагам. Утепление чердачного перекрытия из керамзита толщиной 0,20 м с объемной плотностью 800 кг/м<sup>3</sup>. Временная нагрузка на перекрытия и пол 1 этажа (табл. П1).

Фундаменты выполнены из сборных блоков с глубиной заложения от уровня земли 1,5м; фундаментные подушки под наружными стенами имеют ширину (табл. П2), под внутренними стенами (табл. П2).

Расчетные напряжения в грунте основания составляют 80 % от расчетного сопротивления грунта  $\sigma_{\phi} = 0,8R$ . Соотношение коэффициентов постели на ослабленном и здоровом участках основания по данным инженерно-геологических исследований составляет  $K_0/K_1$  (табл. П2).

Крыша двухскатная чердачная со стальной кровлей по сплошной обрешетке и наклонными стропилами сечением 0,20×0,15м, установленными с шагом 1,0 м, мауэрлаты, коньковый прогон и лежень выполнены из брусьев сечением 0,18×0,18м.

Здание имеет деформации, соответствующие перегибу. Длина отколовшейся части составляет (табл. П2). Конец трещины откола располагается на высоте 1,5 м от подошвы фундамента.

Пояса следует устанавливать в уровне перекрытий. Конструктивное решение разработать для случая их открытой прокладки (табл. П2).

Таблица П1

Разность двух последних цифр шрифта	Этажность	Пролет, м	Толщина стен, м		Временная нагрузка на перекрытие, м	Высота этажа, м
			внутренних	наружных		
0	2	6,2	0,51	0,51	2,8	2,8
1	3	6,0	0,51	0,64	3,0	3,0
2	3	5,8	0,51	0,77	3,2	3,2
3	2	5,6	0,51	0,51	2,7	2,7
4	2	5,4	0,51	0,64	3,3	3,3
5	3	5,2	0,51	0,77	3,8	2,7
6	3	5,0	0,38	0,51	2,0	2,8
7	2	4,8	0,38	0,64	3,5	3,0
8	2	6,4	0,51	0,64	3,6	3,2
9	3	6,6	0,51	0,77	1,7	3,3

Таблица П2

Сумма двух последних цифр шрифта	Длина здания, м	Ширина подошвы фундамента, м		Длина отколовшейся части, м	Соотношение коэф. постели, $K_0/K_1$	Прокладка тяжёлой пояса на фасаде
		наруж. стены	внутрен. стены			
1	2	3	4	5	6	7
0	25	1,2	1,4	5,5	0,75	открытая
1	26	1,4	1,6	5,7	0,78	в штрабах

Продолжение таблицы П.2

1	2	3	4	5	6	7
2	27	1,3	1,5	5,9	0,80	открытая
3	28	1,4	1,6	6,1	0,82	в штрабах
4	29	1,3	1,4	6,4	0,83	открытая
5	30	1,4	1,6	6,7	0,85	в штрабах
6	31	1,5	1,6	7,0	0,88	открытая
7	32	1,1	1,3	7,3	0,90	в штрабах
8	33	1,2	1,3	7,5	0,91	открытая
9	34	1,2	1,4	6,0	0,84	в штрабах

Приложение 2

**Прокат стальной горячекатаный круглый по ГОСТ 2590-88**

Диаметр, мм	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Линейная плотность, кг/м
18	2,545	2,00
19	2,835	2,23
20	3,142	2,47
21	3,464	2,72
22	3,801	2,98
24	4,524	3,55
25	4,909	3,85
26	5,309	4,17
28	6,158	4,83
30	7,069	5,55
32	8,042	6,31
34	9,079	7,13
36	10,18	7,99
38	11,34	8,90
40	12,57	9,87
42	13,85	10,87
45	15,9	12,48
48	18,1	14,21
50	19,64	15,42
53	22,06	17,32
56	24,63	19,33
60	28,27	22,19

Учебное издание

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ  
НАПРЯЖЕННЫХ ПОЯСОВ  
УСИЛЕНИЯ СТЕН КИРПИЧНЫХ  
ЗДАНИЙ**

Методические указания

С о с т а в и т е л и:

ЛЕДЕНЕВ Владимир Иванович  
МАКАРОВ Александр Михайлович