

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич  
Должность: ректор  
Дата подписания: 13.09.2024 10:37:54  
Уникальный программный ключ:  
9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf2781953be730df2374d16f3c0ce536f0fc6

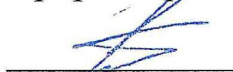
## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра уникальных зданий и сооружений

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе



О.Г. Локтионова

«18» 09



### Реконструкция объектов тепловой и атомной энергетики

Методические указания по выполнению практических работ  
по дисциплине «Реконструкция объектов тепловой и атомной  
энергетики» для студентов направления 08.04.01

Курск 2024

УДК 69.059.7

Составители: А.Г. Колесников, А.И. Демьянов

Рецензент

Кандидат технических наук *Е.В. Осовских*

**Реконструкция объектов тепловой и атомной энергетики:**  
методические рекомендации по выполнению практических работ /  
Юго-Зап. гос. ун-т; А.Г. Колесников, А.И. Демьянов. - Курск, 2024.  
- 25 с. - Библиогр.: С. 25.

В методических указаниях изложены основные способы усиления железобетонных конструкций, используемые при реконструкции объектов тепловой и атомной энергетики.

Методические указания предназначены для проведения практических занятий по дисциплине «Реконструкция объектов тепловой и атомной энергетики» для студентов направления подготовки 08.04.01 «Строительство».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *18.04.24*. Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 1,45. Уч.-изд.л. 1,32. Тираж 100 экз. Заказ. *685* Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50лет Октября, 94.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Задача 1. Усиление изгибаемого железобетонного элемента наращиванием сечения в растянутой зоне .....	6
Задача 2. Усиление изгибаемого железобетонного элемента наращиванием сечения в сжатой зоне .....	7
Задача 3. Усиление плиты наращиванием сечения в растянутой зоне .....	9
Задача 4. Усиление плиты наращиванием сечения в растянутой зоне .....	11
Задача 5. Усиление колонны наращиванием сечения с четырех сторон .....	13
Задача 6. Усиление колонны наращиванием сечения с двух сторон .....	15
Задача 7. Усиление колонны устройством металлической обоймы .....	18
Задача 8. Усиление балки стальными шпренгелями .....	20
Задача 9. Проверка прочности подпорной стены против сдвига .....	22
Библиографический список.....	25

## ВВЕДЕНИЕ

Повреждения строительных конструкций зданий и сооружений тепловой и атомной промышленности в зависимости от причин их возникновения могут быть разделены на следующие группы:

- от силовых воздействий;
- от воздействия внешней среды;
- от температурных воздействий (пожара);
- в результате чрезвычайных ситуации (землетрясения, наводнения, взрыва и пр.).

Характерными повреждениями железобетонных строительных конструкций от силовых воздействий являются нормальные и наклонные трещины в элементах конструкции, чрезмерные прогибы, выпучивание сжатой арматуры, выкрашивание бетона в сжатой зоне и др.

Основными дефектами конструкций, возникающими от воздействия внешней среды, является коррозия бетона и арматуры, разрушение материалов от попеременного замерзания и оттаивания и других секторов.

Дефекты, возникающие от воздействия высоких температур, характеризуются, как правило, изменением цвета бетона, отслаиванием защитного слоя, а также появлением в растянутой зоне вертикальных и наклонных трещин, появлением прогиба сверх нормативного и др.

В зависимости от характера и величины повреждений, для конструкции установлено пять категорий их технического состояния, которые определяют соответствующие мероприятия по восстановлению их эксплуатационной надёжности.

Под эксплуатационной надёжностью строительных конструкций понимается сохранение во времени, установленном нормами или проектом несущей способности и долговечности конструкции.

Количественные и качественные параметры дефектов строительных конструкции устанавливаются на основе визуальных обследовании с использованием простейших измерительных инструментов.

При расчете несущей способности усиливаемой конструкции вводятся коэффициенты условия работы, дифференцированные в

соответствии с категориями технического состояния, которые отражают степень поврежденности конструкции.

В зависимости от имеющихся повреждений техническое состояние конструкции может быть классифицировано на пять категорий (состоянии):

Категория 1 - Нормальное состояние.

Категория 2 - Удовлетворительное состояние.

Категория 3 - Неудовлетворительное состояние.

Категория 4 - Предаварийное состояние.

Категория 5 - Аварийное состояние.

К категории 1 относятся конструкции, усилия в элементах которых не превышают допустимые по расчету, т.е. отсутствуют видимые повреждения, свидетельствующие о снижении несущей способности. При этом могут быть отдельные раковины, выбоины в пределах защитного слоя.

К категории 2 относятся конструкции, потеря несущей способности которых не превышает 5 %, но имеющиеся в них дефекты способны со временем снизить долговечность конструкции.

К категории 3 относятся конструкции не пригодные к дальнейшей нормальной эксплуатации. При этом конструкция перегружена, имеются дефекты и повреждения, свидетельствующие о снижении ее несущей способности. В этом случае необходим поверочный расчет несущей способности конструкции и выполнение работ по ремонту и усилению. |

К категории 4 относятся конструкции, дефекты и повреждения которых не могут гарантировать сохранность конструкции и безопасность её эксплуатации. Для конструкций этой категории необходим капитальный ремонт с усилением. До проведения усиления необходимо ограничение нагрузок и принятие необходимых мер по безопасности.

5 категория включает конструкции, находящиеся в аварийном состоянии, установленном на основании поверочных расчетов и анализа дефектов и повреждений. В этом случае нет гарантии сохранности конструкции на период усиления. Конструкции подлежат замене или требуют капитальных ремонтно-восстановительных работ с немедленной разгрузкой конструкции и устройством временных креплений.

### Задача 1. Усиление изгибаемого железобетонного элемента наращиванием сечения в растянутой зоне

При обследовании железобетонной балки перекрытия установлено, что категория её технического состояния 4 (коэффициент условия работы  $k=0,55$ ). Требуется усиление конструкции. Усиление провести путём наращивания её сечения в растянутой зоне на 100 мм.

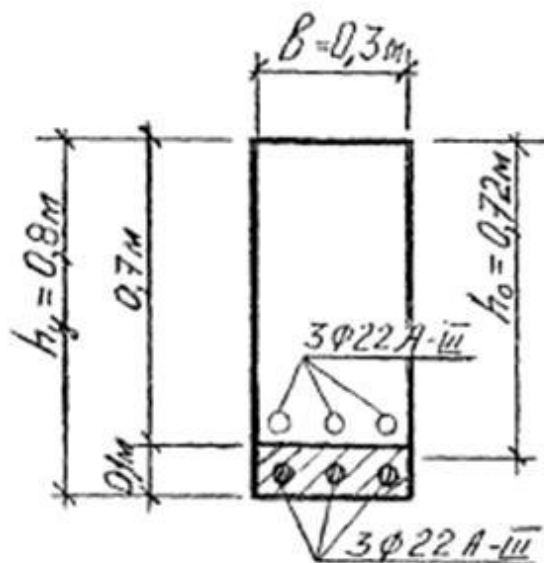


Рисунок 1 – Схема усиления балки

Характеристики существующей конструкции:

Класс бетона: В20, бетон тяжелый,  $R_b=11,5 \cdot 10^3$  кН,  $R_{bt}=0,9 \cdot 10^3$  кН.

Растянутая арматура: 3φ22 А-III (А400) ( $A_s=9,42 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ).

Защитный слой бетона 0,025 м.

Требуется проверить прочность сечения.

Высота сжатой зоны сечения:

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b} = \frac{365 \cdot 20,8 \cdot 10^{-4}}{11,5 \cdot 10^3 \cdot 0,3} = 0,22 \text{ м.}$$

Где  $R_s=365 \cdot 10^3$  кПа,  $R_b=11,5 \cdot 10^3$  кПа,

$A_s=11,4 \cdot 10^{-4} + 9,42 \cdot 10^{-4}=20,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ,

$x=0,22 \text{ м} < 0,55h_0 = 0,55 \cdot 0,72 = 0,39 \text{ м.}$

Условие выполнено.

Новая несущая способность сечения:

$$M_0 = R_b b x (h_0 - 0,5x) k = \\ = 11,5 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,22(0,72 - 0,5 \cdot 0,22)0,55 = 267,17 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

$$M_0 = 267,17 \text{ кН}\cdot\text{м} < M_{\max} = 267,17 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Условие не удовлетворено.

Требуется увеличить диаметр арматуры.

Принимаем 3ø22 А-III (А400).

Высота сжатой зоны сечения:

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b} = \frac{365 \cdot 22,8 \cdot 10^{-4}}{11,5 \cdot 10^3 \cdot 0,3} = 0,24 \text{ м.}$$

$$\text{Где } A_s = 11,4 \cdot 10^{-4} + 11,4 \cdot 10^{-4} = 22,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

$$x = 0,24 \text{ м} < 0,55h_0 = 0,55 \cdot 0,72 = 0,39 \text{ м.}$$

Условие выполнено.

Новая несущая способность сечения:

$$M_0 = 11,5 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,22(0,72 - 0,5 \cdot 0,24)0,55 = \\ = 286,9 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

$$M_0 = 286,9 \text{ кН}\cdot\text{м} > M_{\max} = 267,17 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Условие удовлетворено.

Принятая дополнительная арматура 3ø22 А-III (А400) подходит по расчету.

## **Задача 2. Усиление изгибаемого железобетонного элемента наращиванием сечения в сжатой зоне**

При обследовании железобетонной балки перекрытия установлено, что категория её технического состояния 4 (коэффициент условия работы  $\kappa=0,55$ ). Требуется усиление конструкции. Усиление провести путём наращивания её сечения в сжатой зоне на 100 мм.

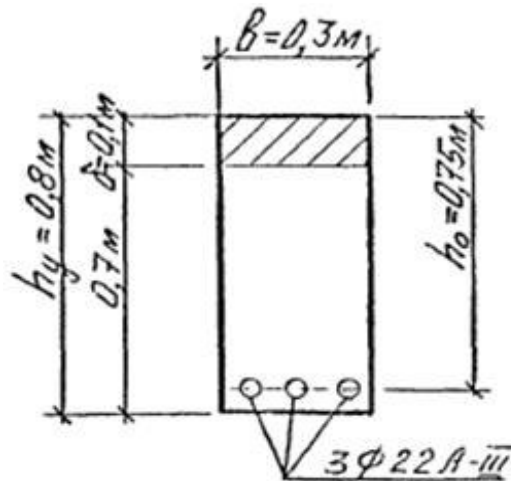


Рисунок 2 – Схема усиления балки

Характеристики существующей конструкции:

Класс бетона: В30, бетон тяжелый,  $R_b = 17,0 \cdot 10^3$  кН,  $R_{bt} = 1,2 \cdot 10^3$  кН.

Растянутая арматура:  $3\phi 22$  А-III (А400) ( $A_s = 11,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ),  $R_s = 365 \cdot 10^3$  кН,

Защитный слой бетона 0,025 м.

Действующее внешнее усилие  $M_{\max} = 270$  кН·м.

Требуется проверить прочность сечения.

Высота сжатой зоны сечения:

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b} = \frac{365 \cdot 11,4 \cdot 10^{-4}}{17,0 \cdot 10^3 \cdot 0,3} = 0,08 \text{ м.}$$

Где  $R_s = 365 \cdot 10^3$  кПа,  $R_b = 17,0 \cdot 10^3$  кПа,

$A_s = 11,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$

$x = 0,08 \text{ м} < 0,55 h_0 = 0,55 \cdot 0,75 = 0,41 \text{ м.}$

Условие выполнено.

Новая несущая способность сечения:

$$M_0 = R_b b x (h_0 - 0,5x) k =$$

$$= 17,0 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,08 (0,72 - 0,5 \cdot 0,08) 0,55 = 289,68 \text{ кН·м.}$$

$M_0 = 289,68 \text{ кН·м} > M_{\max} = 270 \text{ кН·м.}$

Условие удовлетворено.



### Задача 3. Усиление плиты наращиванием сечения в растянутой зоне

При обследовании монолитной железобетонной плиты перекрытия установлено, что категория её технического состояния 3 (коэффициент условия работы  $k=0,7$ ). Требуется произвести усиление конструкции в связи с увеличением нагрузки на перекрытие на 3 кПа. Усиление произвести путём наращивания ребра в растянутой зоне.

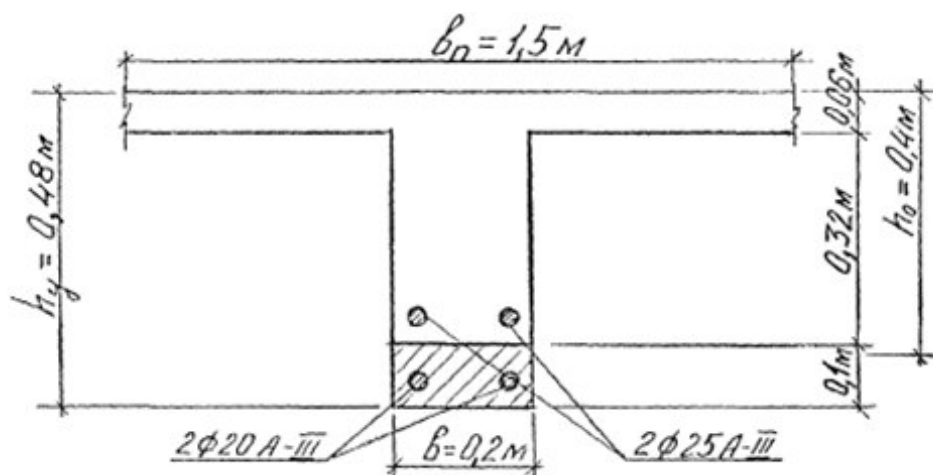


Рисунок 3 – Схема усиления плиты

Характеристики существующей конструкции:

Класс бетона: В15, бетон тяжелый,  $R_b=8,5 \cdot 10^3$  кН,  $R_{bt}=0,75 \cdot 10^3$  кН.

Растянутая арматура:  $2\phi 25$  А-III (А400) ( $A_s=9,82 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ),  $R_s=365 \cdot 10^3$  кН.

Защитный слой бетона 0,025 м.

Действующее внешнее усилие расчетная нагрузка с учетом собственного веса

$$q = 8 \text{ кПа.}$$

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{8 \cdot 1,5 \cdot 6^2}{8} = 54,0 \text{ кПа} \cdot \text{м,}$$

где  $l = 6$  м – длина балки.

$$Q = \frac{ql}{2} = \frac{8 \cdot 1,5 \cdot 6}{2} = 36,0 \text{ кПа} \cdot \text{м.}$$

Характеристика наращиваемого сечения:

Класс бетона: В20, бетон тяжелый,  $R_{bt}=0,9 \cdot 10^3$  кН.

Дополнительная арматура:  $2\phi 25$  А-III (А400) ( $A_s=6,28 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ).

Фактические усилия с учетом дополнительной нагрузки:

$$M_{\phi} = M + M_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где

$$M_{\text{доп}} = \frac{3 \cdot 1,5 \cdot 6^2}{8} + \frac{0,1 \cdot 25 \cdot 0,2 \cdot 6^2}{8} = 22,5 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Где удельный вес бетона принят  $\gamma = 25 \text{ кН/м}^3$ .

$$M_{\phi} = 54 + 22,5 = 76,5 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$Q_{\phi} = Q + Q_{\text{доп}}, \quad (2)$$

где

$$Q_{\text{доп}} = \frac{3 \cdot 1,5 \cdot 6}{2} + \frac{0,1 \cdot 25 \cdot 0,2 \cdot 6}{2} = 15,0 \text{ кН}.$$

$$Q_{\phi} = 36,0 + 15,0 = 51,0 \text{ кН}.$$

Требуется проверить прочность сечения.

Высота сжатой зоны сечения:

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b} = \frac{365 \cdot 16,1 \cdot 10^{-4}}{8,5 \cdot 10^3 \cdot 1,5} = 0,046 \text{ м}.$$

Где  $R_s = 365 \cdot 10^3 \text{ кПа}$ ,  $R_b = 8,5 \cdot 10^3 \text{ кПа}$ ,

$$A_s = 9,82 \cdot 10^{-4} + 6,28 \cdot 10^{-4} = 16,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$x = 0,046 \text{ м} < 0,55h_0 = 0,55 \cdot 0,4 = 0,22 \text{ м}.$$

Условие удовлетворено.

Новая несущая способность сечения:

$$M_0 = R_b b x (h_0 - 0,5x) k =$$

$$= 8,5 \cdot 10^3 \cdot 1,5 \cdot 0,046 (0,4 - 0,5 \cdot 0,046) 0,7 = 154,78 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$M_0 = 154,78 \text{ кН} \cdot \text{м} > M_{\phi} = 76,5 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Условие удовлетворено.

Сдвигающее напряжение в зоне сопряжения старого и нового бетона:

$$\tau = \frac{Q_{\phi}}{b(h_0 - 0,5x)} = \frac{51,0}{0,2(0,4 - 0,5 \cdot 0,046)} = 676,39 \text{ кПа},$$

где толщина ребра  $b = 0,2 \text{ м}$ .

Проверяем соблюдение условия совместной работы старого и нового бетона:

$\tau = 676,39 \text{ кПа} < 1,57 R_{bt} = 1,57 \cdot 0,75 \cdot 10^3 = 1177,5 \text{ кПа}$ .  
Условие удовлетворено.

#### Задача 4. Усиление плиты наращиванием сечения в растянутой зоне

При обследовании монолитной железобетонной плиты перекрытия установлено, что категория её технического состояния 3 (коэффициент условия работы  $k=0,7$ ). Требуется произвести усиление конструкции в связи с увеличением нагрузки на перекрытие на 3 кПа. Усиление произвести путём наращивания плиты сверху на 60 мм.

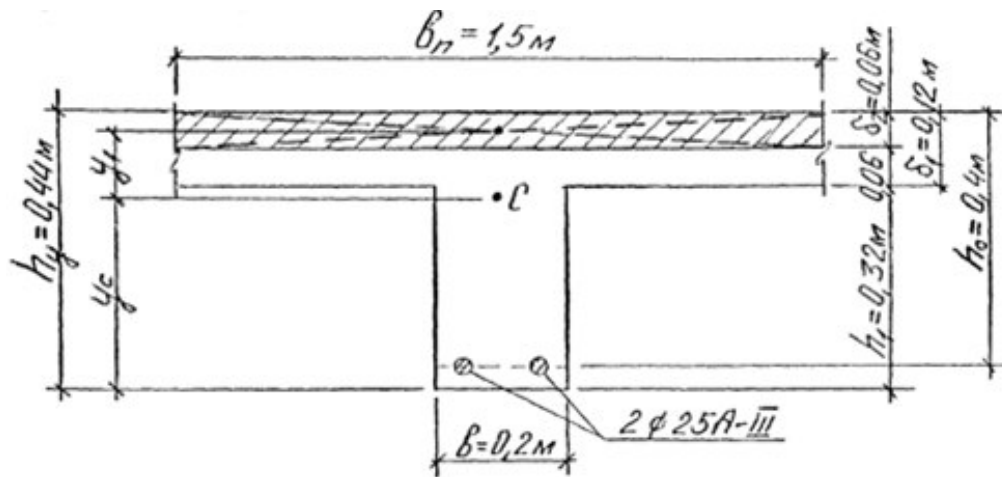


Рисунок 4 – Схема усиления плиты

Характеристики существующей конструкции:

Класс бетона: В15, бетон тяжелый,  $R_b = 8,5 \cdot 10^3 \text{ кН}$ ,  $R_{bt} = 0,75 \cdot 10^3 \text{ кН}$ .

Растянутая арматура:  $2\phi 25 \text{ A-III (A400)}$  ( $A_s = 9,82 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ),  $R_s = 365 \cdot 10^3 \text{ кН}$ .

Защитный слой бетона 0,025 м.

Действующее внешнее усилие расчетная нагрузка с учетом собственного веса

$q = 8 \text{ кПа}$ .

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{8 \cdot 1,5 \cdot 6^2}{8} = 54,0 \text{ кПа} \cdot \text{м},$$

где  $l = 6 \text{ м}$  – длина балки.

$$Q = \frac{ql}{2} = \frac{8 \cdot 1,5 \cdot 6}{2} = 36,0 \text{ кПа} \cdot \text{м}.$$

Характеристика наращиваемого сечения:

Класс бетона: В15.

Фактические усилия с учетом дополнительной нагрузки:

$$M_{\phi} = M + M_{\text{доп}}, \quad (3)$$

где

$$M_{\text{доп}} = \frac{3 \cdot 1,5 \cdot 6^2}{8} + \frac{0,06 \cdot 25 \cdot 1,5 \cdot 6^2}{8} = 30,38 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Где удельный вес бетона принят  $\gamma=25\text{кН/м}^3$ .

$$M_{\phi} = 54,0 + 30,38 = 84,38 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

$$Q_{\phi} = Q + Q_{\text{доп}}, \quad (4)$$

где

$$Q_{\text{доп}} = \frac{3 \cdot 1,5 \cdot 6}{2} + \frac{0,06 \cdot 25 \cdot 1,5 \cdot 6}{2} = 20,25 \text{ кН}.$$

$$Q_{\phi} = 36,0 + 20,25 = 56,25 \text{ кН}.$$

Требуется проверить прочность сечения.

Высота сжатой зоны сечения:

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b} = \frac{365 \cdot 10^3 \cdot 9,82 \cdot 10^{-4}}{8,5 \cdot 10^3 \cdot 1,5} = 0,028 \text{ м}.$$

$$x = 0,028 \text{ м} < 0,55h_0 = 0,55 \cdot 0,4 = 0,22 \text{ м}.$$

Условие удовлетворено.

Новая несущая способность сечения:

$$\begin{aligned} M_0 &= R_b b x (h_0 - 0,5x) k = \\ &= 8,5 \cdot 10^3 \cdot 1,5 \cdot 0,028 (0,4 - 0,5 \cdot 0,028) 0,7 = 96,46 \text{ кН}\cdot\text{м}. \end{aligned}$$

$$M_0 = 96,46 \text{ кН}\cdot\text{м} > M_{\phi} = 84,38 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Условие удовлетворено.

Ордината центра тяжести таврового сечения  $y_c$  определяется по формуле:

$$\begin{aligned} y_c &= \frac{0,5bh_1^2 + b_n \delta_1 (h_y - 0,5\delta_1)}{bh_1 + b_n \delta_1} = \\ &= \frac{0,5 \cdot 0,2 \cdot 0,32^2 + 1,5 \cdot 0,12 (0,44 - 0,5 \cdot 0,12)}{0,2 \cdot 0,32 + 1,5 \cdot 0,12} = 0,32 \text{ м}. \end{aligned}$$

Статический момент части таврового сечения, расположенного выше шва сопряжения, относительно центра тяжести всего сечения:

$$S = b_n \delta_2 y_1 = b_n \delta_2 (h_y - y_c - 0,5 \delta_2) = \\ = 1,5 \cdot 0,06 (0,44 - 0,32 - 0,5 \cdot 0,06) = 0,0081 \text{ м}^3 = 8,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Момент инерции таврового сечения относительно центра тяжести:

$$J = \frac{bh_1^3}{12} + bh_1(y_c - 0,5h_1)^2 + \frac{b_n \delta_1^3}{12} + bh_1(h_y - y_c - 0,5\delta_1)^2 = \\ = \frac{0,2 \cdot 0,32^3}{12} + 0,2 \cdot 0,32(0,32 - 0,5 \cdot 0,32)^2 + \frac{0,5 \cdot 0,12^3}{12} + \\ + 1,5 \cdot 0,12(0,44 - 0,32 - 0,5 \cdot 0,12)^2 = 0,003048 \text{ м}^4 = \\ = 30,48 \cdot 10^{-4} \text{ м}^4.$$

Сдвигающее напряжение в зоне сопряжения старого и нового бетона:

$$\tau = \frac{QS}{Jb} = \frac{56,25 \cdot 8,1 \cdot 10^{-3}}{30,48 \cdot 10^{-4} \cdot 0,2} = 747,42 \text{ кПа},$$

где 0,2 м – толщина ребра.

Проверим соблюдение условия совместной работы старого и нового бетона:

$$\tau = 747,42 \text{ кПа} < 1,57 R_{bt} = 1,57 \cdot 0,75 \cdot 10^3 = 1177,5 \text{ кПа}.$$

Условие удовлетворено.

Прочность сечения обеспечена.

### **Задача 5. Усиление колонны наращиванием сечения с четырех сторон**

При обследовании железобетонной колонны сечением 400×400 мм установлено, что категория её технического состояния 5 (коэффициент условия работы  $k=0,35$ ). Требуется произвести усиление конструкции. Усиление производим путём наращивания её сечения бетоном класса В20 с четырех сторон в плане.

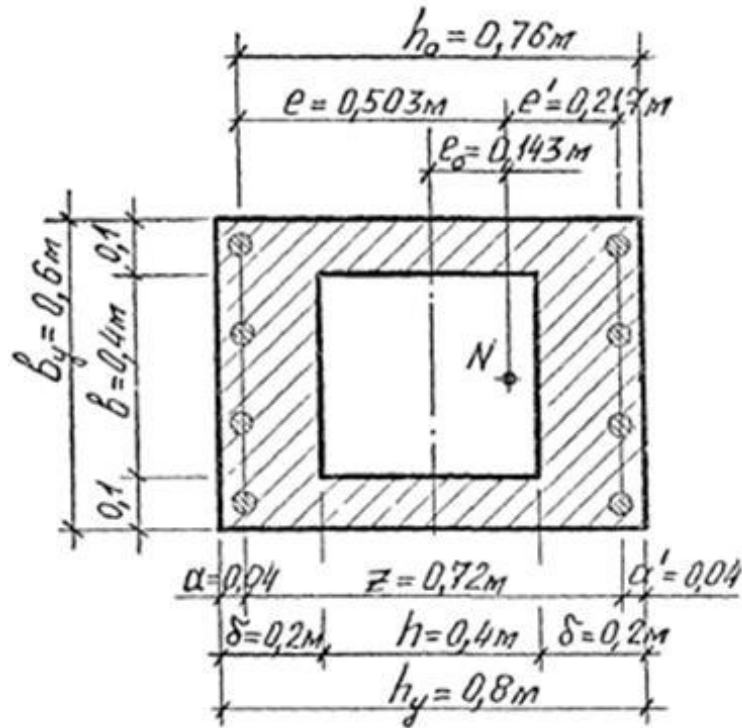


Рисунок 5 – Схема усиления колонны

Характеристики существующей конструкции:

Класс бетона: В20,  $R_b = 11,5 \cdot 10^3$  кН,  $R_{bt} = 0,9 \cdot 10^3$  кН.

Арматура у каждой грани рабочего сечения: 4 $\varnothing$ 25 А-III (А400) ( $A_s = 19,63 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ),  $R_s = 365 \cdot 10^3$  кН.

Действующие внешние усилия  $M = 200$  кН·м,  $N = 1400$  кН.

Расчетная длина колонны  $L_0 = 6$  м.

Защитный слой бетона 0,025 м.

Расчет усиления производим без учета арматуры в усиливаемой конструкции.

Рабочая арматура усиления:  $A_s = A_s' = 19,63 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ .

Высота сжатой зоны сечения:

$$x = (h_0 - e) + \sqrt{(h_0 - e)^2 + \frac{2R_s A_s e \pm R_s' A_s' e'}{b_y R_b}}; \quad (5)$$

$$x = (0,76 - 0,503) + \sqrt{(0,76 + 0,43)^2 + \frac{2 \cdot 365 \cdot 10^3 \cdot 19,63 \cdot 10^{-4} \cdot 0,503 - 365 \cdot 10^3 \cdot 19,63 \cdot 10^{-4} \cdot 0,217}{0,6 \cdot 11,5 \cdot 10^3}} = 0,641 \text{ м.}$$

где

$h_0 = h_y - a = 0,8 - 0,04 = 0,76$  м.

При симметричном армировании:

$$a = a' = 0,04 \text{ м.}$$

Эксцентриситет приложения нагрузки

$$e = e_0 \eta + \frac{h_0 - a'}{2} = 0,143 \cdot 1 + \frac{0,76 - 0,04}{2} = 0,503 \text{ м.}$$

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{200}{1400} = 0,143 \text{ м.}$$

при

$$\frac{L_0}{h_y} = \frac{6}{0,8} = 7,5 < 10. \quad \eta = 1.$$

Так как  $e = 0,503 \text{ м} < h_0 - a' = 0,76 - 0,04 = 0,72 \text{ м}$ . – в подкоренном выражении принимается знак минус.

$$e' = h_y - a - e - a' = 0,8 - 0,04 - 0,503 - 0,04 = 0,207 \text{ м.}$$

Так как  $x = 0,641 \text{ м} > 0,55h_0 = 0,55 \cdot 0,76 = 0,418 \text{ м}$ , несущая способность определяется по формуле:

$$N_0 = \frac{0,4R_b b_y h_0^2 + R_s' A_s' z}{e} k. \quad (6)$$

$$z = h_0 - a' = 0,76 - 0,04 = 0,72 \text{ м.}$$

$$N_0 = \frac{0,4 \cdot 11,5 \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 0,76^2 + 365 \cdot 10^3 \cdot 19,63 \cdot 10^{-4} \cdot 0,72}{0,503} \cdot 0,35 = 1468,23 \text{ кН.}$$

$$N_0 = 1468,23 \text{ кН} > N = 1400 \text{ кН.}$$

Условие удовлетворено.

### **Задача 6. Усиление колонны наращиванием сечения с двух сторон**

При обследовании железобетонной колонны сечением 400×400 мм установлено, что категория её технического состояния 4 (коэффициент условия работы  $k=0,55$ ). Требуется произвести усиление конструкции. Усиление производим путём наращивания её сечения с двух сторон в плане на 140 мм.

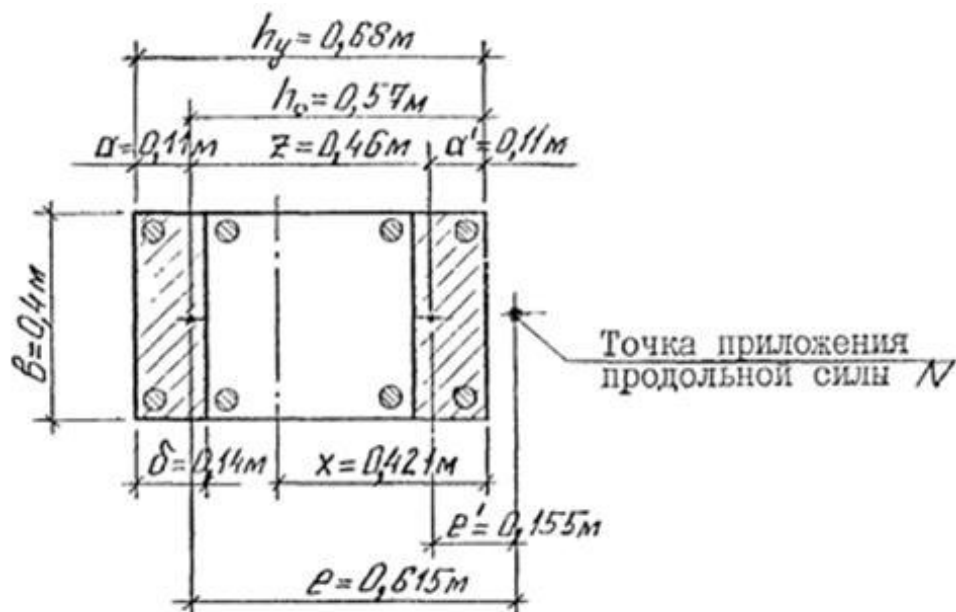


Рисунок 6 – Схема усиления колонны

Характеристики существующей конструкции:

Класс бетона: В20,  $R_b = 11,5 \cdot 10^3$  кН,  $R_{bt} = 0,9 \cdot 10^3$  кН.

Арматура у каждой грани рабочего сечения:  $2\phi 25$  А-III (А400) ( $A_s = 9,82 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ),  $R_s = 365 \cdot 10^3$  кН.

Действующие внешние усилия  $M = 300$  кН·м,  $N = 780$  кН,  $Q = 70$  кН.

Расчетная длина колонны  $L_0 = 4$  м.

Защитный слой бетона  $0,025$  м.

Характеристики наращиваемого сечения:

Класс бетона В20.

Дополнительная арматура у каждой грани:  $2\phi 25$  А-III (А400) ( $A_s = 9,82 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ).

Требуется проверить прочность сечения.

Высота сжатой зоны сечения определяется по формуле (5):

$$x = (0,57 - 0,615) + \sqrt{(0,57 + 0,615)^2 + \frac{2 \cdot 365 \cdot 10^3 \cdot 19,63 \cdot 10^{-4} \cdot 0,615 + 365 \cdot 10^3 \cdot 19,63 \cdot 10^{-4} \cdot 0,155}{0,4 \cdot 11,5 \cdot 10^3}} = 0,421 \text{ м.}$$



где

$$h_0 = h_y - a = 0,68 - 0,11 = 0,57 \text{ м.}$$

При симметричном армировании:

$$a = a' = 0,14/2 + 0,04 = 0,11 \text{ м.}$$

Эксцентриситет приложения нагрузки

$$e = e_0 \eta + \frac{h_0 - a'}{2} = 0,385 \cdot 1 + \frac{0,57 - 0,11}{2} = 0,615 \text{ м.}$$

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{300}{780} = 0,385 \text{ м.}$$

при

$$\frac{L_0}{h_y} = \frac{4}{0,68} = 5,88 < 10. \quad \eta = 1.$$

Так как  $e = 0,615 \text{ м} > h_0 - a' = 0,57 - 0,11 = 0,46 \text{ м}$ . – в подкоренном выражении формулы (5) принимается знак плюс.

$$e' = e - h_0 + a' = 0,615 - 0,57 + 0,11 = 0,155 \text{ м.}$$

Несущая способность определяется по формуле:

$$N_0 = \frac{0,4R_b b h_0^2 + R_s' A_s' z}{e} k. \quad (7)$$

$$z = h_0 - a' = 0,57 - 0,11 = 0,46 \text{ м.}$$

$$N_0 = \frac{0,4 \cdot 11,5 \cdot 10^3 \cdot 0,4 \cdot 0,57^2 + 365 \cdot 10^3 \cdot 19,63 \cdot 10^{-4} \cdot 0,46}{0,615} \cdot 0,55 = 829,38 \text{ кН.}$$

$$N_0 = 829,38 \text{ кН} > N = 780 \text{ кН.}$$

Условие удовлетворено.

Определяем сдвигающее усилие в зоне сопряжения старого и нового бетона:

- для растянутой зоны:

$$\tau = \frac{Q}{b(h_0 - 0,55x)} = \frac{70}{0,4(0,57 - 0,5 \cdot 0,421)} = 486,79 \text{ кПа.}$$

- для сжатой зоны:

$$\tau = \frac{6\delta(h_y - \delta)Q}{bh_y^3} = \frac{6 \cdot 0,14(0,68 - 0,14)70}{0,4 \cdot 0,68^3} = 252,46 \text{ кПа,}$$

Проверим соблюдение условия совместной работы старого и нового бетона:

$$\tau = 486,79 \text{ кПа} < 1,57 R_{bt} = 1,57 \cdot 0,9 \cdot 10^3 = 1413 \text{ кПа.}$$

Условие удовлетворено.

### Задача 7. Усиление колонны устройством металлической обоймы

При обследовании железобетонной колонны сечением 400×500 мм установлено, что категория её технического состояния 2 (коэффициент условия работы  $k=0,85$ ). Требуется произвести усиление конструкции. Усиление производим путём устройства металлической обоймы из уголков L75×75×6.

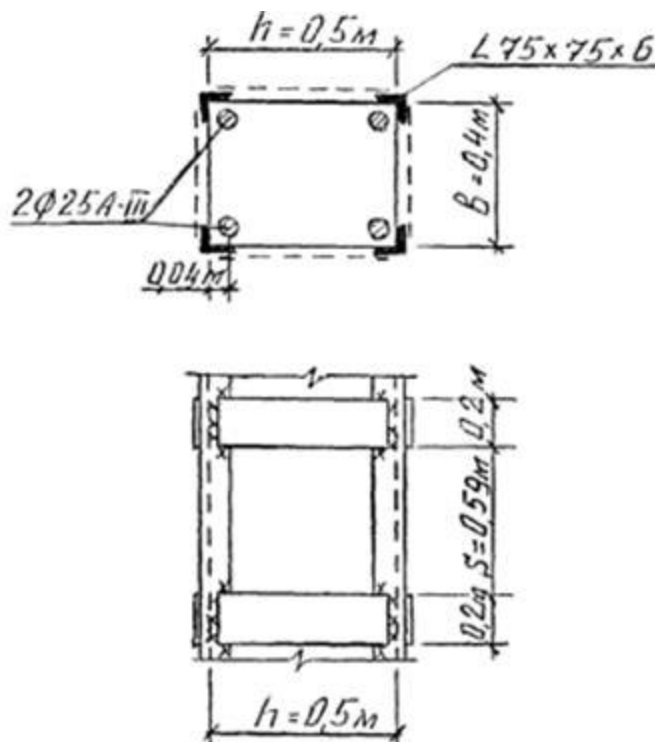


Рисунок 7 – Схема усиления колонны

Характеристики существующей конструкции:

Класс бетона: В20,  $R_b=11,5 \cdot 10^3$  кН,  $R_{bt}=0,9 \cdot 10^3$  кН.

Арматура у каждой грани рабочего сечения: 4φ25 А-III (А400)  
( $A_s = A_s' = 9,82 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ),  $R_s = 365 \cdot 10^3$  кН.

Действующие внешние усилия  $M = 240$  кН·м,  $N = 1200$  кН.

Расчетная длина колонны  $L_0 = 6$  м.

Защитный слой бетона 0,025 м.

Требуется проверить прочность сечения.

Высота сжатой зоны сечения определяется по формуле (5):

$$x = (0,46 - 0,452) + \sqrt{(0,46 + 0,452)^2 + \frac{2 \cdot 365 \cdot 10^3 \cdot 9,82 \cdot 10^{-4} \cdot 0,452 + 365 \cdot 10^3 \cdot 9,82 \cdot 10^{-4} \cdot 0,032}{0,4 \cdot 11,5 \cdot 10^3}} = 0,28 \text{ м.}$$

где

$$h_0 = 0,5 - 0,04 = 0,46 \text{ м.}$$

$$e_0 = \frac{M}{N} = \frac{240}{1200} = 0,2 \text{ м.}$$

при

$$\frac{L_0}{h_y} = \frac{6}{0,5} = 12 > 10. \quad \eta = 1,21.$$

$$e = e_0 \eta + \frac{h_0 - a}{2} = 0,2 \cdot 1,21 + \frac{0,46 - 0,04}{2} = 0,452 \text{ м.}$$

$$e' = 0,452 - 0,42 = 0,032 \text{ м.}$$

$$e = 0,452 \text{ м} > h_0 - a' = 0,46 - 0,04 = 0,42 \text{ м.}$$

При

$$x = 0,28 \text{ м} > 0,55 h_0 = 0,55 \cdot 0,46 = 0,25 \text{ м.}$$

Условие удовлетворено.

Несущая способность определяется по формуле (7):

$$N_0 = \frac{0,4 \cdot 11,5 \cdot 10^3 \cdot 0,4 \cdot 0,46^2 + 365 \cdot 10^3 \cdot 9,82 \cdot 10^{-4} \cdot 0,42}{0,452} \cdot 0,85 = 1015,3 \text{ кН.}$$

Так как  $N_0 = 1015,3 \text{ кН} < N = 1200 \text{ кН}$ , необходимо усиление сечения.

Усиление производим установкой уголков  $L75 \times 75 \times 6$  ( $R_y = 230 \cdot 10^3 \text{ кН}$ ) с обрешеткой в виде металлических пластинок  $460 \times 200 \times 8 \text{ мм}$ , расположенных по высоте на расстоянии в свету  $S = 40i_{\min}$ .

$$S = 40 \cdot 1,48 = 59 \text{ см.}$$

Усиление, передаваемое на уголки, расположенные по одной стороне колонны:

$$N_y = (N - N_0) \left( \frac{1}{2} \pm \frac{e_0}{h} \right). \quad (8)$$

Усилие сжатия

$$N_y = (1200 - 1015,3) \left( \frac{1}{2} + \frac{0,2}{0,5} \right) = 166,2 \text{ кН.}$$

Усилие растяжения

$$N'_y = (1200 - 1015,3) \left( \frac{1}{2} - \frac{0,2}{0,5} \right) = 18,47 \text{ кН.}$$

Необходимая площадь сечения уголка:

$$A_n = \frac{N_y}{2R_y\gamma_c} = \frac{166,2}{230 \cdot 10^3 \cdot 0,8 \cdot 2} = 0,0004 \text{ м}^2 = 4 \text{ см}^2.$$

Усилие, воспринимаемое уголками, составит

$$N_{0y} = A_n R_y \gamma_c = 2 \cdot 8,78 \cdot 10^{-4} \cdot 230 \cdot 10^3 \cdot 0,8 = 323,1 \text{ кН.}$$

$$N_{0y} = 323,1 \text{ кН} > N_y = 166,2 \text{ кН.}$$

Условие прочности выполнено.

### Задача 8. Усиление балки стальными шпренгелями

При обследовании железобетонной балки установлено, что категория её технического состояния 4 (коэффициент условия работы  $\kappa=0,55$ ). Требуется усиление конструкции. Усиление провести стальными шпренгелями.

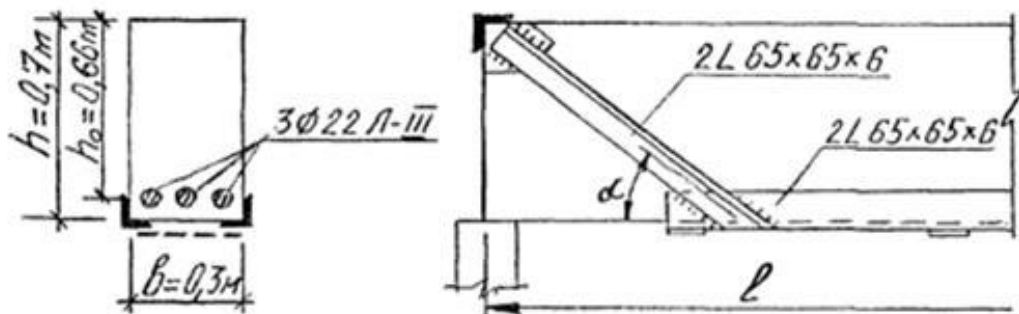


Рисунок 8 – Схема усиления балки

Высота сжатой зоны сечения:

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b} = \frac{365 \cdot 11,4 \cdot 10^{-4}}{11,5 \cdot 10^3 \cdot 0,3} = 0,12 \text{ м.}$$

$$x = 0,12 \text{ м} < 0,55h_0 = 0,55 \cdot 0,66 = 0,36 \text{ м.}$$

Условие выполнено.

Новая несущая способность сечения:

$$M_0 = R_b b x (h_0 - 0,5x) \kappa = \\ = 11,5 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,12 (0,66 - 0,5 \cdot 0,12) 0,55 = 136 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Так как  $M_0=136 \text{ кН}\cdot\text{м} > M=200 \text{ кН}\cdot\text{м}$ , требуется усиление конструкции на момент, равный разности между действующим моментом  $M$  и моментом, воспринимаемым железобетонным элементом  $M_0$ .

Горизонтальное усилие в стальных уголках:

$$R = \frac{4(M-M_0)}{l \cdot \operatorname{tg} \alpha} = \frac{4(200-136)}{6 \operatorname{tg} 30^\circ} = 74,7 \text{ кН.}$$

Усилие в подкосе:

$$S = \frac{4(M-M_0)}{l \cdot \sin \alpha} = \frac{4(200-136)}{6 \sin 30^\circ} = 83,2 \text{ кН.}$$

Необходимая площадь сечения уголков:

$$A_n = \frac{83,2}{230 \cdot 10^3 \cdot 0,8} = 0,452 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 = 4,52 \text{ см}^2.$$

Принимаем конструктивно 2L65×65×6 мм.

Произведем проверку несущей способности балки из условия совместной работы балки совместно со шпренгелем.

Приводим сечение уголков к расчетному сопротивлению арматуры:

$$A_s = 11,4 \cdot 10^{-4} + 15,1 \frac{230 \cdot 10^3}{365 \cdot 10^3} = 20,9 \text{ см}^2.$$

Высота сжатой зоны бетона

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b} = \frac{365 \cdot 10^3 \cdot 20,9 \cdot 10^3}{11,5 \cdot 10^3 \cdot 0,3} = 0,21 \text{ м.}$$

$$x = 0,21 \text{ м} < 0,55 h_0 = 0,55 \cdot 0,66 = 0,36 \text{ м.}$$

Новая несущая способность сечения:

$$M_0 = 11,5 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot 0,21(0,66 - 0,5 \cdot 0,21)0,55 = 221 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

$$M_0=221 \text{ кН}\cdot\text{м} > M=200 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Прочность сечения обеспечена.

## Задача 9. Проверка прочности подпорной стены против сдвига

Исходные данные:

- грунт засыпки и основания – суглинки;
- $\varphi^H = 25^\circ$ ;  $C^H = 12 \text{ кПа}$ ;
- расчетное сопротивление грунта основания  $R = 250 \text{ кПа}$ ;
- модуль деформации грунта основания  $E = 2 \cdot 10^4$ .

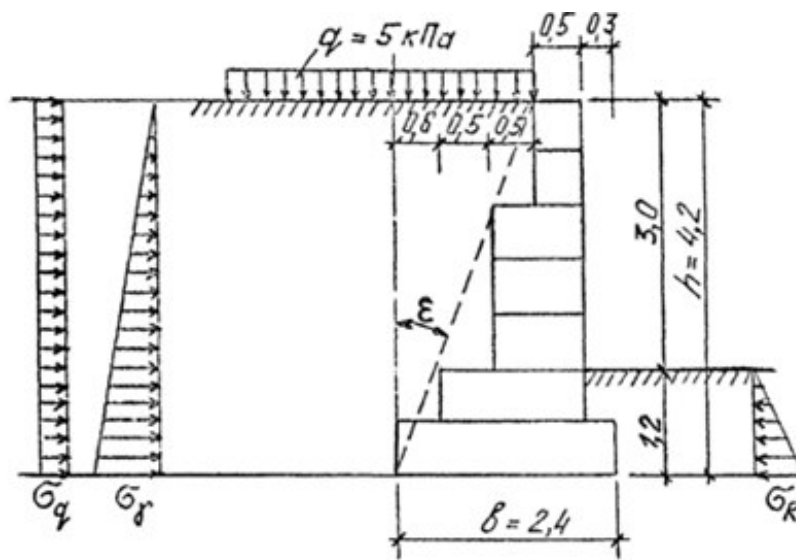


Рисунок 9 – Схема работы подпорной стенки

Расчетный угол внутреннего трения:

$$\varphi = 0,784 \cdot 25 = 19,6^\circ$$

С учетом сцепления грунта:

$$\varphi = 19,6 + 12/4 = 22,6^\circ \approx 23^\circ.$$

Коэффициент горизонтального давления грунта:

$$\lambda = \text{tg}^2(45^\circ - 23^\circ/2) = 0,44.$$

Интенсивность горизонтального давления грунта на глубине 4,2 м:

$$\sigma_\gamma = 1,15 \cdot 18 \cdot 4,2 \cdot 0,44 = 38,25 \text{ кПа}.$$

Интенсивность горизонтального давления грунта от временной нагрузки:

$$\sigma_q = 1,2 \cdot 5 \cdot 0,44 = 2,64 \text{ кПа}.$$

Интенсивность пассивного сопротивления грунта:  
 $\sigma_R = 18 \cdot 1,2 \cdot \text{tg}^2(45^\circ - 23^\circ/2) = 49,33 \text{ кПа}$ .

Сдвигающая сила:  
 $F_S = 4,2(0,5 \cdot 38,25 + 2,64) = 91,41 \text{ кН}$ .

Сумма проекций всех сил на вертикальную плоскость:  
 $F_V = 91,41 \cdot \text{tg}^2(21^\circ + 23^\circ) + 114,2 = 202,47 \text{ кН}$ ;  
 $\text{tg} \varepsilon = (2,4 - 0,8) / 4,2 = 0,3809$ .  $\varepsilon = 21^\circ$ .

Пассивное сопротивление грунта  
 $E_R = 49,33 \cdot 1,2 / 2 = 29,6 \text{ кН}$ .

Удерживающая сила:  
 $F_R = 202,47 \text{tg} 23^\circ + 29,6 = 115,55 \text{ кН}$ .

Проверяем соблюдение условия  
 $F_S = 91,41 \text{ кН} < 0,8 \cdot 115,55 = 92,44 \text{ кН}$ .

Сумма моментов всех сил относительно центра тяжести подошвы

$M_0 = 91,41(1,47 - \text{tg}(21^\circ + 23^\circ)(0,5 \cdot 2,4 - 1,47 \text{tg} 21^\circ)) = 78,09 \text{ кН} \cdot \text{м}$ ,  
где

$$h^* = \frac{4,2(38,25 + 3 \cdot 2,64)}{3(38,25 + 2 \cdot 2,64)} = 1,47 \text{ м}$$

Эксцентриситет приложения равнодействующей  
 $e = \frac{78,09}{202,47} = 0,39 \text{ м}$ .

При  $e = 0,39 \text{ м} < b/e = 0,4 \text{ м}$ , краевое давление составляет:

$$P_{\min} = \frac{202,47 \left( 1 \pm \frac{6 \cdot 0,39}{2,4} \right)}{2,4} = 202,47(1 \pm 0,975) / 2,4$$

$$P_{\max} = 166,6 \text{ кПа}$$

$$P_{\min} = 2,1 \text{ кПа}$$

С учетом нормативных значений нагрузок

$$P_{\max} = 166,6 / 1,2 = 138,8 \text{ кПа}$$

$$P_{min}=2,1/1,2=1,75 \text{ кПа.}$$

$$P_{max}=138,8 \text{ кПа} < 1,2R = 1,2 \cdot 250 = 300 \text{ кПа.}$$

Проверяем соблюдение условия  $e \leq b/4$ :

$$0,39 \text{ м} < 24,4/4=0,6 \text{ м.}$$

Горизонтальное перемещение верха стены, вызванное креном  
ПОДОШВЫ

$$\Delta=5 \cdot 78,09 \cdot 4,2/2,4^2 \cdot 2 \cdot 10^4=0,0142 \text{ м.}$$

$$\Delta=0,0142 \text{ м} < 4,2/75 = 0,055 \text{ м.}$$

Условие выполнено.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гучкин, Игорь Сергеевич. Техническая эксплуатация и реконструкция зданий : [учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Промышленное и гражданское строительство"] / И. С. Гучкин. - Изд. 3-е, перераб. и доп. - Москва : АСВ, 2016. - 344 с.
2. Иванов, Юрий Викторович. Реконструкция зданий и сооружений: усиление, восстановление, ремонт : учебное пособие / Ю. В. Иванов. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : АСВ, 2013. - 312 с.
3. Реконструкция зданий, сооружений и городской застройки : учебное пособие / В. В. Федоров, Н. Н. Федорова, Ю. В. Сухарев. - М. : Инфра-М, 2008. - 224 с.
4. Реконструкция зданий и сооружений : учеб. пособие для строит. спец. вузов / А. Л. Шагин. - М. : Высшая школа, 1991. - 351 с.