

4. РАСЧЁТ ОПОРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

4.1. Расчёт крепления воздуховодов

Предполагается разместить воздуховод на кронштейнах из стального прямоугольного полого профиля, закреплённых в кирпичной стене по образцу и подобию, как показано на рис. 52.

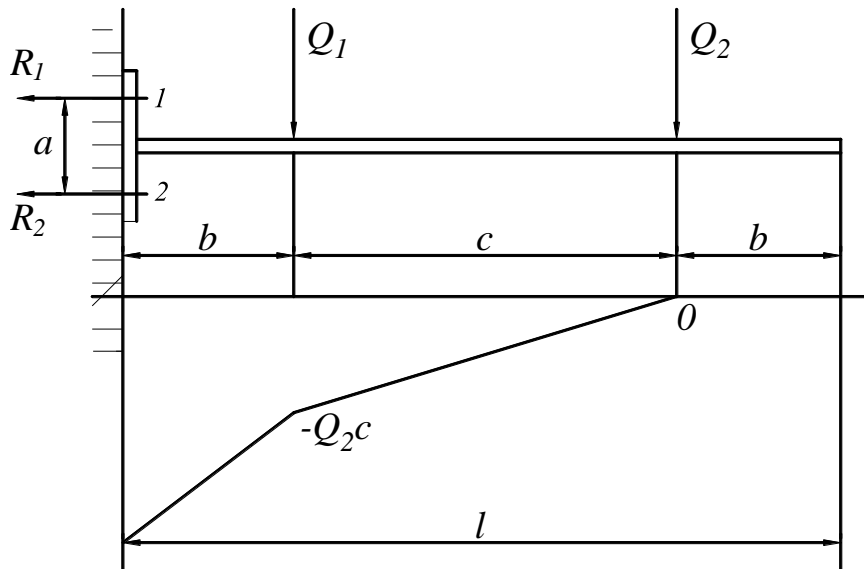


Рис. 52. Схема нагружения кронштейна

Сечение воздуховода 300x200 мм, протяжённостью 12 м. Количество креплений – 2 шт. (согласно СНиП 3.05.01-85 "Внутренние санитарно-технические системы"). Удельный вес одного погонного метра длины воздуховода – 57 Н/м.

Нагрузка на кронштейн от воздуховода составляет (при длине 12 м):

$$Q = 57 \cdot 12 = 684 \text{ Н.}$$

Считая, что нагрузка на кронштейн передаётся в двух точках, можно принять в каждой точке $Q_1 = Q_2 = 342 \text{ Н}$ (см. схему нагружения кронштейна).

Исходные данные: $Q_1=342 \text{ Н}$; $Q_2=342 \text{ Н}$; $a=100 \text{ мм}$; $b=50 \text{ мм}$; $c=150 \text{ мм}$.

Определение усилий в опоре:

$$\Sigma M_2 = R_1 a - Q_1 b - Q_2 (b + c) = 0 .$$

$$\text{Отсюда } R_1 = \frac{Q_1 b - Q_2 (b + c)}{a} = \frac{342 \cdot 50 + 342 \cdot 200}{100} = 855 \text{ Н}.$$

Таким образом, усилие R_1 в опоре составляет не менее 855 Н. Опора должна быть сконструирована таким образом, чтобы крепление было способно выдержать эту нагрузку.

В этой задаче требуется проверить кронштейн на прочность при изгибе. Для этого нужно построить эпюру изгибающего момента, воспользовавшись методом сечений (рис. 52).

I участок

$$0 \leq z_1 \leq b \quad M_I(z) = 0;$$

II участок

$$0 \leq z_2 \leq c \quad M_{II}(z) = -Q_2 z_2;$$

$$M_{II} \Big|_{z_2=0} = 0;$$

$$M_{II} \Big|_{z_2=c} = -Q_2 c = -342 \cdot 0,150 = -51,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

III участок

$$0 \leq z_3 \leq b \quad M_{III}(z) = -Q_2 (c + z_2) - Q_1 z_2;$$

$$M_{III} \Big|_{z_3=0} = -Q_2 c = -51,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{III} \Big|_{z_3=b} = -Q_2 (c + b) - Q_1 b = -342 \cdot 0,2 - 342 \cdot 0,05 = -85,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Построим эпюру изгибающего момента, на которой видно, что опасное сечение находится в закреплении, где максимальный изгибающий момент равен 85,5 Н·м.

Для проверки прочности кронштейна на изгиб воспользуемся условием прочности при изгибе:

$$\sigma_{\max} = \frac{|M_{\max}|}{W_x} \leq [\sigma],$$

где $|M_{\max}|$ – значение изгибающего момента в опасном сечении; W_x – осевой момент сопротивления сечения кронштейна; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение материала кронштейна при изгибе ($[\sigma]=150$ МПа).

Осевой момент сопротивления сечения находим, используя схему сечения (рис. 53).

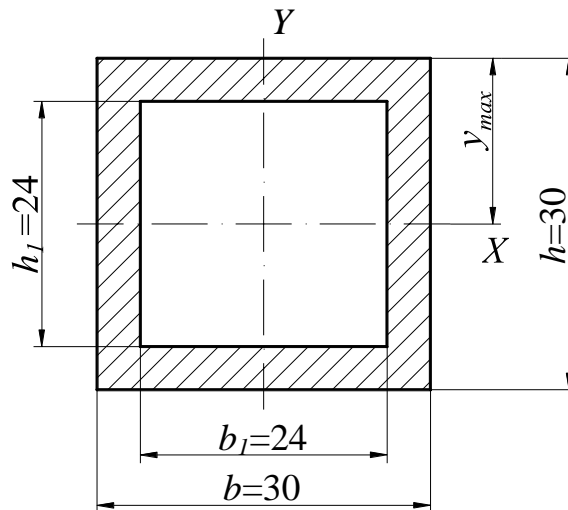


Рис. 53. Схема сечения кронштейна

Сначала находим осевой момент инерции сечения:

$$J_x = \frac{bh^3}{12} + \frac{b h_1^3}{12},$$

тогда момент сопротивления:

$$W_x = \frac{J_x}{y_{\max}} = \frac{\frac{bh^3}{12} + \frac{b h_1^3}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{\frac{30 \cdot 30^3}{12} + \frac{24 \cdot 24^3}{12}}{\frac{30}{2}} = 2660 \text{ мм}^3.$$

Проверка прочности кронштейна при изгибе:

$$\sigma_{\max} = \frac{|M_{\max}|}{W_x} = \frac{85,5 \cdot 10^3}{2660} = 32,1 \text{ МПа} \leq [\sigma].$$

Условие прочности выполняется.

4.2. Расчёт кронштейна на жёсткость при изгибе

Поскольку сечение кронштейна имеет невысокую жёсткость, требуется проверить его по прогибу:

$$y_{\max} \leq [y],$$

где y_{\max} – максимальный прогиб на свободном конце; $[y]$ – допускаемый прогиб, принимаемый $[y] = 0,001l = 0,25\text{мм}$.

Расчёт выполним, используя метод начальных параметров:

$$EJy' = M(x) = M_A z^0 + R_A z - Q_1(z - b) - Q_2(z - b - c),$$

где M_A, R_A – опорные реакции кронштейна в заделке (см. схему на рис. 54).

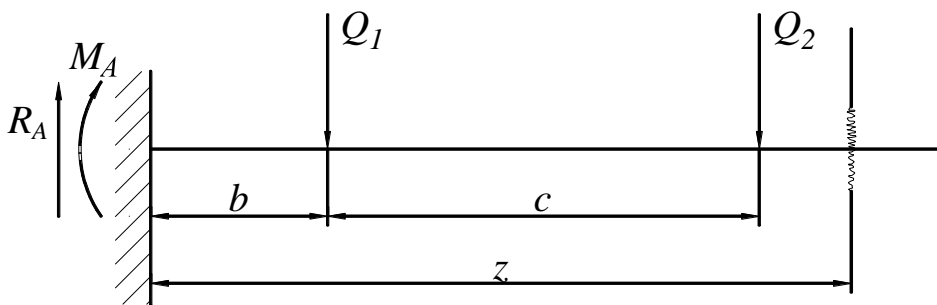


Рис. 54. Схема нагружения кронштейна

$$\sum M_A = M_A + Q_1 b + Q_2 (b + c) = 0;$$

$$M_A = -Q_1 b - Q_2 (b + c) = -342 \cdot 0,05 - 342 \cdot 0,2 = -85,5\text{Н} \cdot \text{м};$$

$$\sum Y = R_A - Q_1 - Q_2 = 0;$$

$$R_A = Q_1 + Q_2 = 342 + 342 = 684\text{Н}.$$

Уравнение прогибов, получаемое при двойном интегрировании уравнения изгибающего момента, примет такой вид:

$$y = \frac{1}{EJ_x} \left[R_A \frac{z^3}{6} + M_A \frac{z^2}{2} - Q_1 \frac{(z-b)^3}{6} - Q_2 \frac{(z-b-c)^3}{6} + Cz + D \right],$$

где C, D – постоянные интегрирования, определяемые из условий закрепления кронштейна.

Начало координат выбираем в заделке, тогда обе постоянные обращаются в нуль. Тогда прогиб на свободном конце балки можно вычислить по следующей формуле:

$$y_{\max} \Big|_{z=2b+c} = \frac{1}{EJ} \left[R_A \frac{(2b+c)^3}{6} + M_A \frac{(2b+c)^2}{2} - Q_1 \frac{(b+c)^3}{6} - Q_2 \frac{b^3}{6} \right] =$$

$$= \frac{1}{EJ} \left[684 \frac{(2 \cdot 0,05 + 0,15)^3}{6} + 85,5 \frac{(2 \cdot 0,05 + 0,15)^2}{2} - 342 \frac{(0,05 + 0,15)^3}{6} - 342 \frac{0,05^3}{6} \right] = - \frac{8,47}{EJ} \text{ м},$$

ИЛИ

$$y_{\max} = \frac{8,47 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^{11} \cdot 3,99} = 1,06 \text{ мм}.$$

Такой прогиб превышает допускаемую величину в 4 раза, поэтому для кронштейна должен быть принят другой, более жёсткий, профиль с размерами стороны 40 мм.

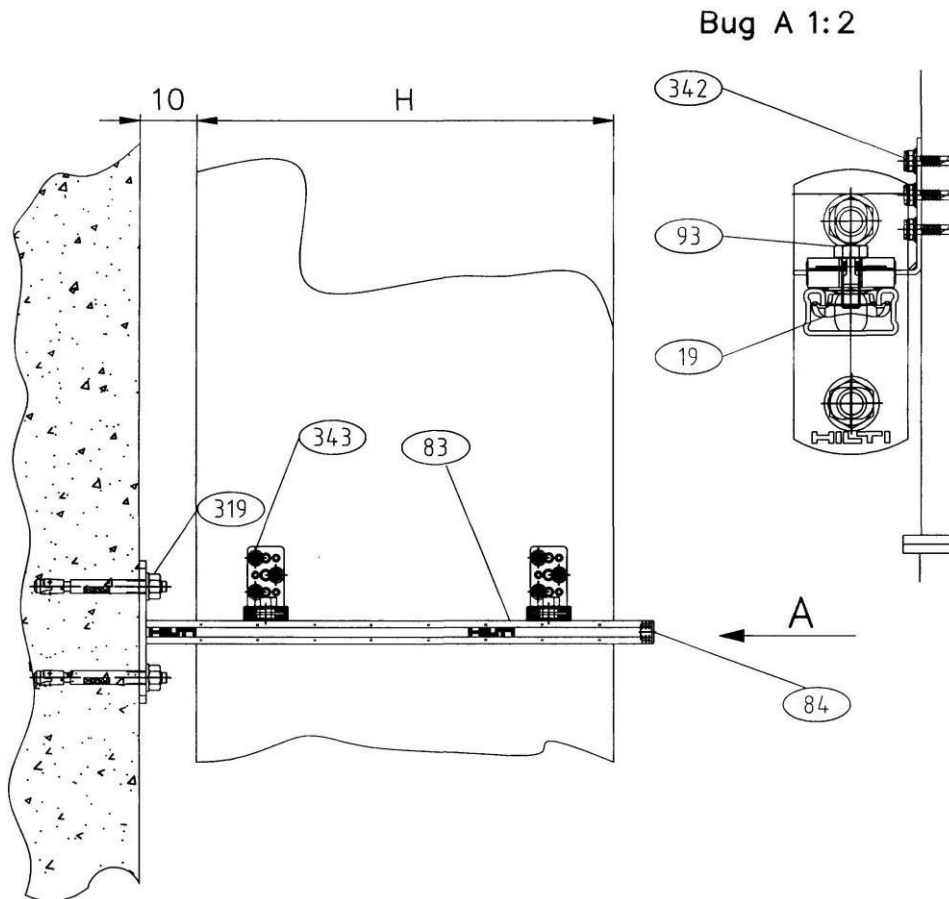
4.3. Крепление вертикального вентиляционного короба к стене

Конструкция крепления вертикального вентиляционного короба к стене приведена на рис. 55.

В соответствии со схемой крепления (рис. 36, и) при жёстком креплении хомута к воздуховоду крепёж к стене будет работать на срез (сдвиг). При этом нужно учитывать, что по вертикали воздуховод будет крепиться в нескольких местах. Выбранный крепёж необходимо проверить на срез по формуле:

$$\tau_c = \frac{2Q}{\pi d^2} \leq [\tau_c],$$

где d – диаметр сечения крепежа; Q – вес участка воздуховода, удерживаемого расчётным крепежом, Н; $[\tau_c]$ – допустимое напряжение среза материала крепежа, МПа.



Поз.	Шт.	Наименование
19	4/6	Гайка монтажная М8
83	2	Консоль MQK
93	4/6	Болт М8х25
319	4	Анкер-шпилька М12х115/20
342	12/18	Шуруп самосверлящийся 4,2х13
343	4/6	Кронштейн
84	1	Крышка декоративная

Рис. 55. Крепление вертикального венткороба к перекрытию

4.4. Крепление горизонтального вентиляционного короба к перекрытию

Для крепления горизонтальных воздуховодов к перекрытию используют стальные стержни и специальный крепёж. В этих случаях требуется выбрать такой крепёж, который будет надёжно удерживать подвешенную конструкцию и не будет вырван из железобетонного перекрытия.

Расчёту должна быть подвержена траверса, на которой расположен вентиляционный короб, испытывающая деформацию изгиба от веса короба и собственного веса.

Расчётная схема траверсы приведена на рис. 56.

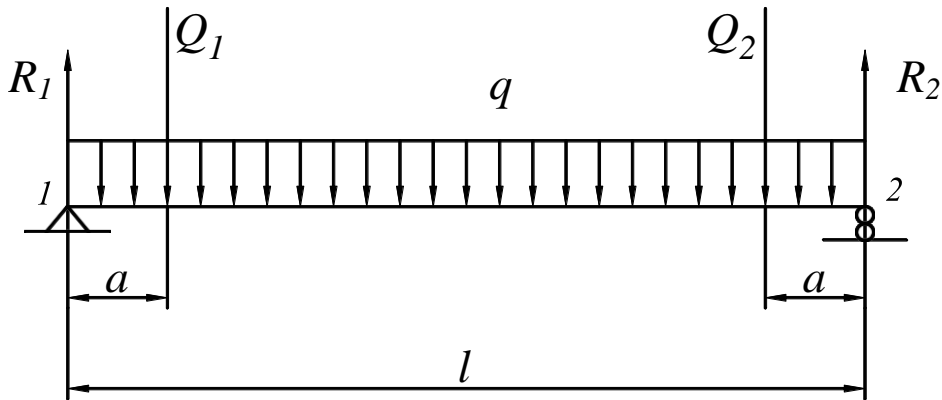


Рис. 56. Схема для расчёта траверсы

Траверса может быть рассчитана как двухопорная балка. Опорные реакции могут быть найдены достаточно просто, учитывая симметрию нагрузки:

$$R_1 = R_2 = \frac{ql}{2} + Q_1;$$

Изгибающий момент в середине балки будет иметь наибольшее значение:

$$M_{\max} = R_1 \frac{l}{2} - Q_1 \left(\frac{l}{2} - a \right) - \frac{ql^2}{8}.$$

Условие прочности будет таким:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{R_1 \frac{l}{2} - Q_1 \left(\frac{l}{2} - a \right) - \frac{ql^2}{8}}{W_x} \leq [\sigma],$$

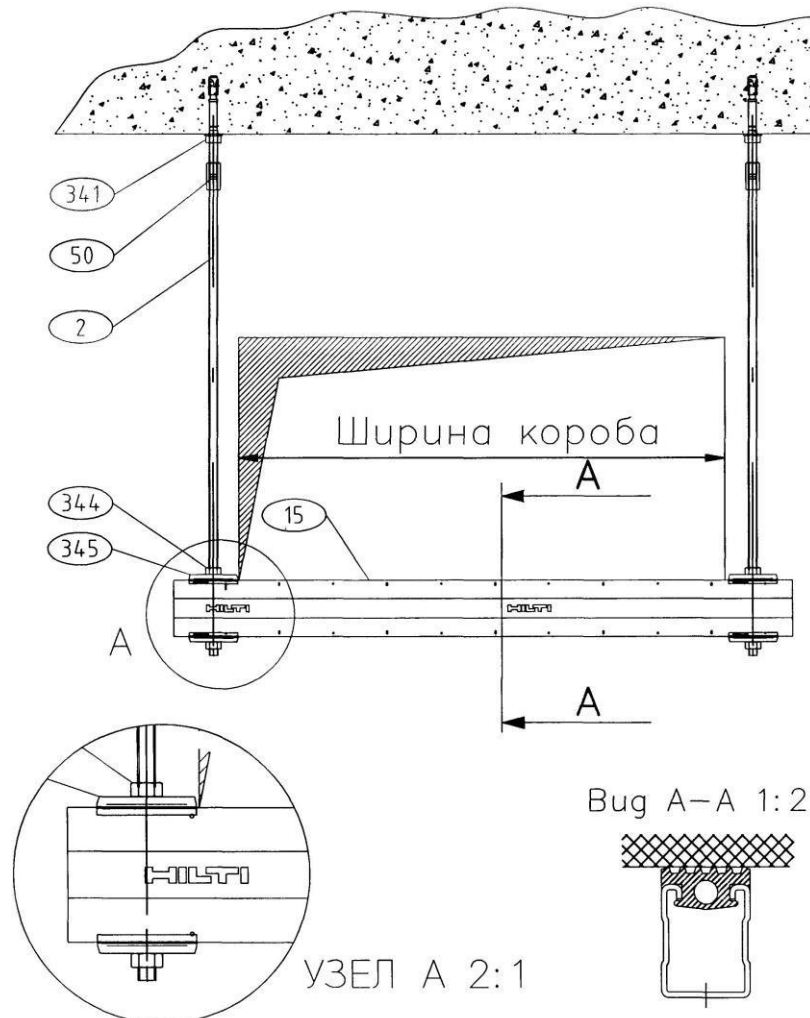
где W_x – осевой момент сопротивления сечения траверсы; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение изгиба материала траверсы; $2Q_1$ – вес расчётного участка воздуховода; q – распределённый вес траверсы (погонный вес) по длине.

Распределённый вес (интенсивность распределённой нагрузки) равен:

$$q = A\gamma,$$

где A – площадь сечения траверсы; γ – объёмный вес материала траверсы (для стали $\gamma = 0,078 \text{ кг/см}^3 = 78000 \text{ Н/м}^3$).

Конструкция крепления горизонтального венткороба к перекрытию приведена на рис. 57.

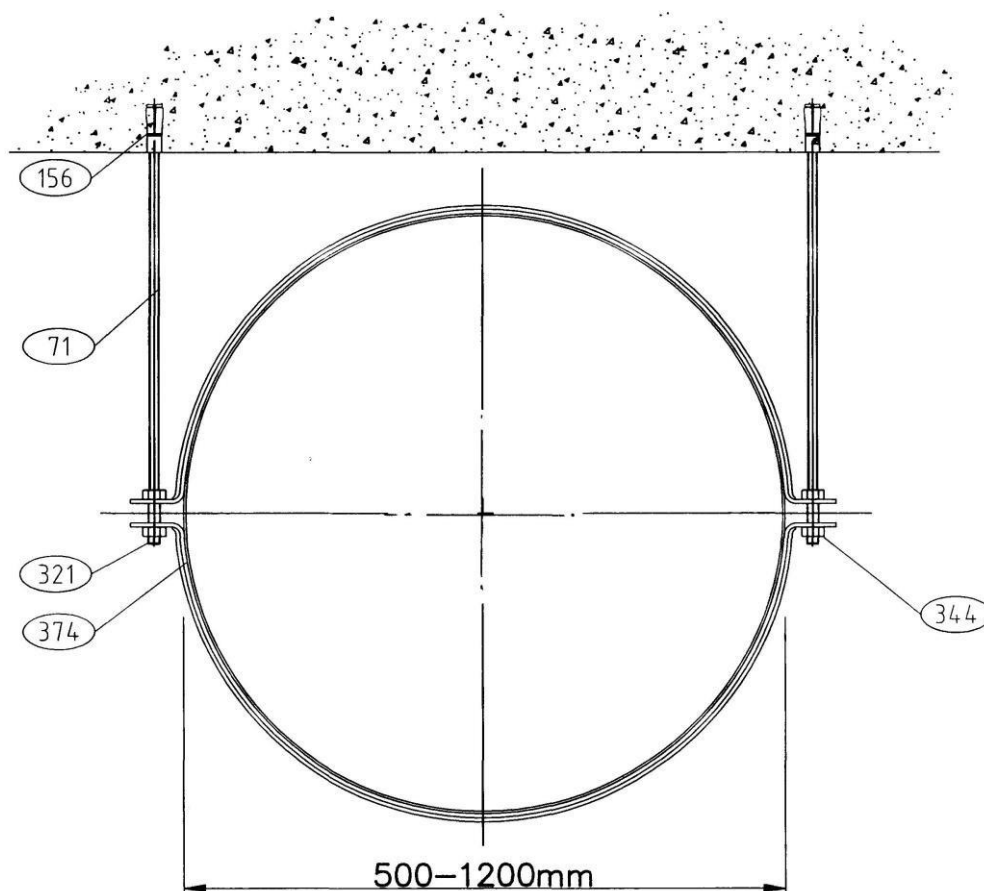


Поз.	Шт.	Наименование
2	1	Шпилька М8х.....(согласно заданию)
15	1	Профиль MQ-52
50	2	Муфта промежуточная шестигранная М8х25
341	2	Анкер-шпилька М8х95/30
344	4	Гайка М8
345	4	Шайба

Рис. 57. Крепление горизонтального венткороба к перекрытию

В случае использования круглого воздуховода (рис. 36, а, г, и) рассчитывается вес подвешиваемых конструкций (воздуховода, стержней, хомутов, крепежа) и по расчётному усилию выбирают крепёж для крепления к железобетонному перекрытию.

На рис. 58 приведена конструкция крепления горизонтального воздуховода к перекрытию.



Поз.	Шт.	Наименование
71	1	Шпилька М10х.....(согласно заданию)
156	2	Анкер забивной М10х40
321	4	Гайка М10
374	1	Хомут для воздуховодов

Рис. 58. Крепление горизонтального воздуховода к перекрытию

4.5. Расчёт кронштейна для размещения вентиляционной установки

Осевые вентиляторы могут устанавливаться в оконных или стенных проёмах, на кронштейнах и в воздуховодах. Варианты установки осевых вентиляторов приведены на рис. 42.

Достаточно простой и широко применяемой в практике является конструкция опорного узла вентилятора в форме треугольника из стального проката, изготовленная с применением электросварки.

Показанная на рис. 42, в конструкция размещена на железобетонной колонне, к которой она крепится двумя парами стяжных болтов.

На рис. 42, а показана опорная конструкция с креплением своими концами в кирпичной стене с помощью цементного раствора.

Крепление опорной конструкции к панельной стене показано на рис. 42, б. Оно осуществляется четырьмя стяжными болтами.

При расчёте таких конструкций важно не только подобрать стальной прокат, но и рассчитать крепёжные болты, удерживающие конструкцию на стене, либо колонне.

Расчетная схема опорной конструкции во всех этих случаях может быть приведена к треугольной стержневой системе. Для упрощения задачи соединения стержней будем считать шарнирными.

При расчёте крепления к железобетонной колонне следует приравнять к нулю размер h_2 (рис. 59). При креплении к кирпичной стене нужно приравнять к нулю оба размера ($h_1=0$, $h_2=0$).

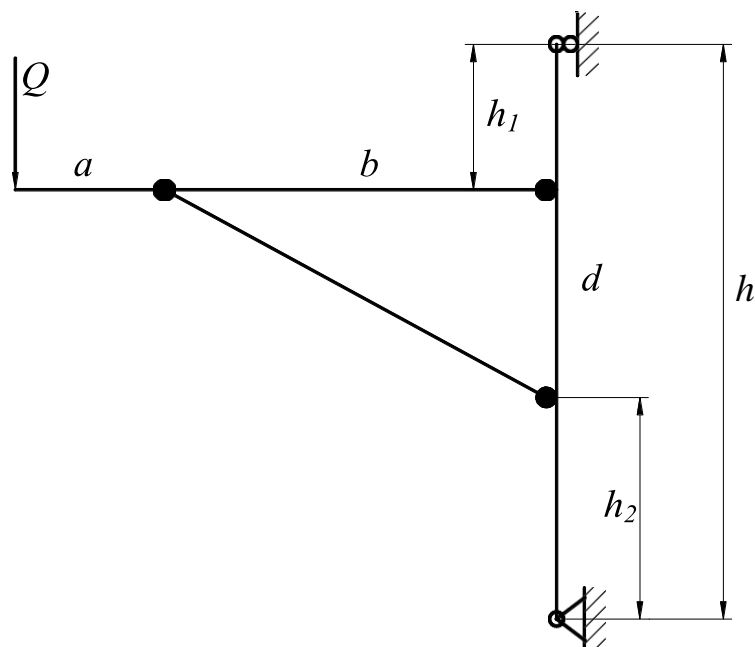


Рис. 59. Расчётная схема опорной стержневой конструкции вентиляторного узла при креплении на панельной стене

Горизонтальный стержень (рис. 60) работает на изгиб, как и вертикальный, касающийся стены. Распорный стержень работает на сжатие.

Определение усилий в стержнях.

Используем расчётную схему (рис. 60).

Здесь Q – вес вентилятора с приводом; R_1, R_2 – опорные реакции; S_B, S_C – усилия в стержнях.

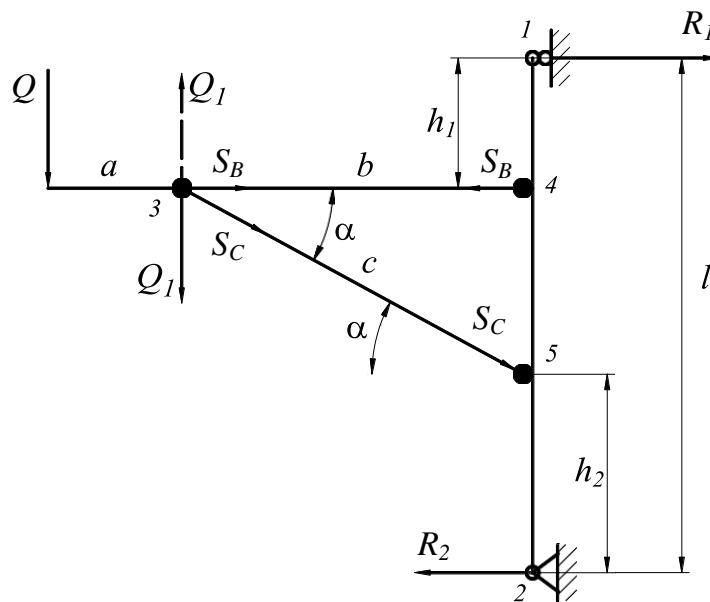


Рис. 60. Расчётная схема конструкции опорного узла

Усилия в стержнях S_B и S_C находим методом вырезания узлов. Вырезаем узел 3 и помещаем в этот узел силу Q_1 (рис. 61).

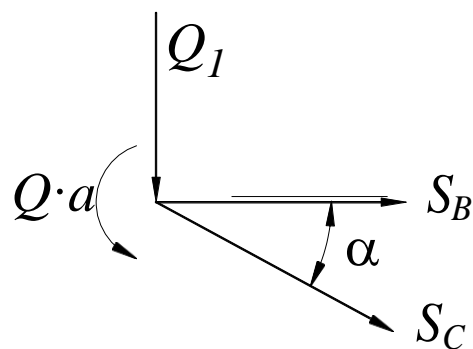


Рис. 61. Схема узла 3

Находим Q_1 из уравнения равновесия:

$$\Sigma M_4 = Q(a+b) - Q_1 b = 0; \quad (13)$$

$$Q_1 = Q \frac{(a+b)}{b} . \quad (14)$$

Уравнения равновесия для вырезанного узла:

$$\Sigma X = S_B + S_C \cos \alpha = 0; \quad (15)$$

$$\Sigma Y = -Q_1 - S_C \sin \alpha = 0 . \quad (16)$$

Из последнего находим:

$$S_C = \frac{Q_1}{\sin \alpha} . \quad (17)$$

Тогда

$$S_B = -S_C \cos \alpha = \frac{Q_1}{\sin \alpha} \cos \alpha = Q_1 \operatorname{tg} \alpha . \quad (18)$$

Таким образом, стержень $(a+b)$ – растянут, а стержень (c) – сжат. Участок длиной (a) , кроме этого, работает на изгиб моментом, равным:

$$M_a = Q \cdot a . \quad (19)$$

Важным при расчёте является определение усилия R_1 , воспринимаемого стяжным болтом, и расчёт стержня 1–2 на изгиб.

Определяем усилия R_1 и R_2 из уравнения:

$$\Sigma M_2 = R_1 l - S_B (l - h_1) + S_C h_2 \cos \alpha = 0 . \quad (20)$$

Отсюда получим:

$$R_1 = \frac{S_B (l - h_1) - S_C h_2 \cos \alpha}{l} ; \quad (21)$$

$$\Sigma M_1 = S_B h_1 - S_C (l - h_2) \cos \alpha + R_2 l = 0 . \quad (22)$$

Отсюда:

$$R_2 = \frac{-S_B h_1 + S_C (l - h_2) \cos \alpha}{l}. \quad (23)$$

По этим результатам можно построить эпюру изгибающего момента для стержня 1–2 (рис. 62).

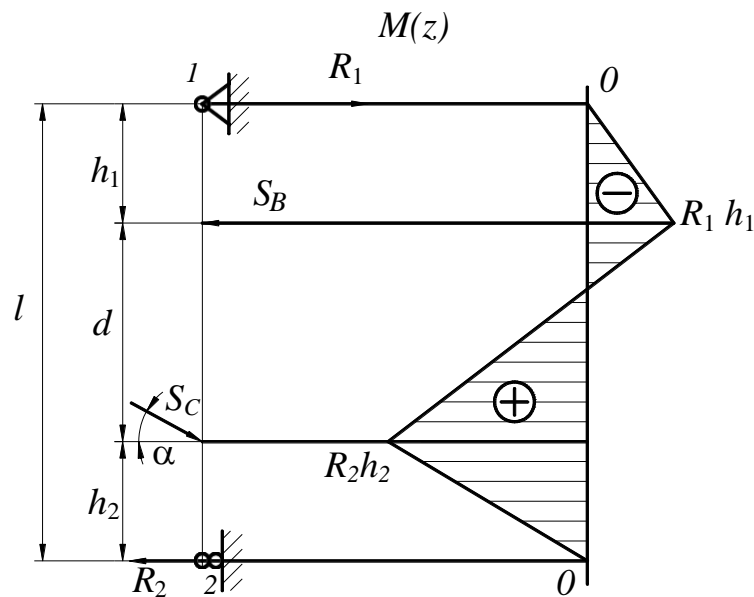


Рис. 62. Схема балки 1–2 и эпюра изгибающего момента

Опасные сечения под силой S_B либо силой S_C могут быть установлены в результате численного расчёта. Например, при следующих данных: $Q=800\text{Н}$; $a=0,2\text{м}$; $b=0,9\text{м}$; $\alpha=45^\circ$; $h_1=0,3\text{м}$; $h_2=0,2\text{м}$; $l=1,4\text{м}$.

Опорные реакции:

$$R_1 = \frac{S_B (l - h_1) - S_C h_2 \cos \alpha}{l} = \frac{977,78(1,4 - 0,3) - 1381 \cdot 0,2 \cdot 0,707}{1,4} = 628,78\text{Н};$$

при

$$Q_1 = Q \frac{(a+b)}{b} = 800 \frac{0,2 + 0,9}{0,9} = 977,78\text{Н};$$

$$S_C = \frac{Q_1}{\sin \alpha} = \frac{977,78}{0,707} = 1381\text{Н};$$

$$S_B = Q_1 \operatorname{tg} \alpha = 977,78 \text{ Н}.$$

$$R_2 = \frac{-S_B h_1 + S_C (l - h_2) \cos \alpha}{l} = \frac{-977,78 \cdot 0,3 + 1381(1,4 - 0,2)0,707}{1,4} = 627,36 \text{ Н}.$$

Тогда значения изгибающих моментов будут следующими:

– под силой S_B – $M(z) = R_1 h_1 = 628,78 \cdot 0,3 = 188,63 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

– под силой S_C – $M(z) = R_2 h_2 = 627,36 \cdot 0,2 = 125,47 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Опасным сечением будет сечение под силой S_B , где $M_{\max} = 188,63 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Учитывая, что стальных уголков будет два, расчёт выполним по формуле:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{2W_x} \leq [\sigma], \quad (24)$$

откуда находим значение осевого момента сопротивления W_x , по которому будем выбирать прокат:

$$W_x = \frac{M_{\max}}{2[\sigma]} = \frac{188,63 \cdot 10^3}{2 \cdot 150} = 628,7 \text{ мм}^3.$$

Выбираем в соответствии с ГОСТом уголкового проката № 5/3,2 с массой одного погонного метра 2,4 кг; $A = 3,17 \text{ см}^2$; $J_x = 7,98 \text{ см}^4$; $J_y = 2,56 \text{ см}^4$

