

Если σ_k напряженне в колонне от продольной силы N , то сокращение длины колонны на протяжении панели длиной l_b (рис. 8.16, а) $\Delta l = \sigma_k l_b / E$, в соответствии с этим сокращение величины раскоса длиной l_p (рис. 8.16, а)

$$\Delta p = \sigma_p l_p / E = \Delta l \cos \alpha = \sigma_k l_b \cos \alpha / E, \quad (8.34)$$

где σ_p — напряжение в раскосе от сжатия колонны.

Поскольку

$$l_p = l_b / \cos \alpha, \text{ то } \sigma_p' = \sigma_k \cdot \cos^2 \alpha. \quad (8.35)$$

К этому напряжению должно быть прибавлено напряжение от действия поперечной силы продольного изгиба Q_{ycl} (рис. 8.17, б).

Усилие в раскосе определяется по формуле

$$N_p = Q_{ycl} / n \cdot \sin \alpha,$$

где Q_{ycl} — поперечная сила, n — число раскосов в одном сечении колонны, расположенных в двух параллельных плоскостях.

Напряжение в раскосе рассчитывается по формуле

$$\sigma_p'' = N_p / A_p = Q_{ycl} / n \sin \alpha \cdot A_p. \quad (8.36)$$

Суммарное напряжение сжатия

$$\sigma = \sigma_p' + \sigma_p'' \leq \varphi R_y. \quad (8.37)$$

Коэффициент φ берется по гибкости раскоса, определяемой по наименьшему радиусу инерции сечения уголка; коэффициент условий работы γ , учитывающий одностороннее прикрепление раскоса из одиночного уголка, принимается по СНиП II-23-81, табл. 6.

Усилия в раскосах решетки обычно невелики и требуют уголков небольших сечений. В сварных колоннах следует применять уголки не менее 40×5 мм. Распорки служат для уменьшения расчетной длины ветви колонны и обычно принимаются такого же сечения, как и раскосы.

Поперечная сила Q_{ycl} создает в одной из ветвей колонны дополнительное сжимающее усилие, в другой — такое же по величине растягивающее. Эти дополнительные усилия по сравнению с осевой сжимающей силой в колонне незначительны и потому в расчете не учитываются.

§ 6. БАЗЫ КОЛОНН

1. Типы и конструктивные особенности баз

Конструкция базы должна отвечать принятому в расчетной схеме колонны способу сопряжения ее с основанием. При шарнирном сопряжении база при действии случайных моментов должна иметь возможность некоторого поворота относительно фундамента, при жестком сопряжении необходимо обеспечить сопряжение базы с фундаментом, не допускающее поворота.

По конструктивному решению базы могут быть с траверсой (рис. 8.17, а), с фрезерованным торцом (рис. 8.17, б) и с шарнирным устройством в виде центрирующей плиты (рис. 8.17, в).

При сравнительно небольших расчетных усилиях в колоннах (до 4000—5000 кН) чаще применяются базы с траверсами. Траверса воспринимает нагрузку от стержня колонны и передает ее на опорную плиту. Чтобы увеличить равномерную передачу давления с плиты на фундамент, жесткость плиты увеличивают дополнительными ребрами между ветвями траверсы (рис. 8.18, а). В легких колоннах роль траверсы могут выполнять консольные ребра, приваренные к стержню колонны и опорной плите (рис. 8.18, б). В колоннах с большими расчетными усилиями (6000—10 000 кН и более) целесообразно фрезеровать торец базы. В этом случае траверса и ребра отсутствуют и плита, чтобы равномерно передать нагрузку на фундамент, должна иметь значительную толщину. Конструкция базы с фрезерованным торцом значительно проще и в этом случае позволяет вести монтаж более простым, безвыверочным способом.

Базы с шарнирным устройством (рис. 8.17, в) четко отвечают расчетной схеме, но из-за большей сложности монтажа в колоннах при-

случайных моментов (рис. 8.18, *а* и *б*). При жестком сопряжении анкеры прикрепляются к стержню колонны через выносные консоли и затягиваются с напряжением, близким к расчетному сопротивлению, что устраняет возможность поворота колонны (рис. 8.18, *в*).

Диаметр анкерных болтов при шарнирном сопряжении принимают равным $d=20-30$ мм, а при жестком $d=24-36$ мм. Для возможности некоторой передвижки колонны в процессе ее установки диаметр отверстия для анкерных болтов принимается в 1,5—2 раза больше диаметра анкеров. На анкерные болты надевают шайбы с отверстием, которое на 3 мм больше диаметра болта, и после натяжения болта гайкой шайбу приваривают к базе.

2. Расчет и конструктивное оформление баз с траверсой и консольными ребрами

После выбора типа базы расчетом устанавливают размеры опорной плиты в плане и ее толщину (рис. 8.19).

Требуемая площадь плиты

$$A_{\text{пл.тр}} = N/R_{\text{смб}}, \quad (8.38)$$

где N — расчетная нагрузка на колонну; $R_{\text{смб}}$ — расчетное сопротивление сжатию материала фундамента (бетона).

При площади опорной плиты $A_{\text{пл}}$, значительно меньшей площади верхнего обреза фундамента $A_{\text{ф}}$, расчетное сопротивление повышается и его можно определить по формуле

$$R_{\text{смб}} = R_{\text{пр}} \sqrt{A_{\text{ф}}/A_{\text{пл}}} = R_{\text{пр}} \gamma, \quad (8.39)$$

где $R_{\text{пр}}$ — расчетное сопротивление бетона осевому сжатию, максимальное значение $\gamma=1,5$.

Размеры плиты B и L определяются в пределах требуемой нагрузки по конструктивным соображениям в зависимости от размещения ветвей траверсы или укрепляющих плиту ребер.

Плита работает как пластинка на упругом основании, воспринимающая давление от ветвей траверсы и ребер. Опыты показали, что давление на фундамент распределяется неравномерно, с пиками в местах передачи нагрузки. Однако для простоты расчета давление под плитой принимается равномерно распределенным. Плиту рассчитывают как пластину, нагруженную снизу равномерно распределенным давлением фундамента и опертую на элементы сечения стержня и базы колонны (ветви траверсы, диафрагмы, ребра и т. п.).

В соответствии с конструкцией базы плита может иметь участки, опертые на четыре канта — контур 1, на три канта — 2, на два канта — 3 и консольные — 4 на рис. 8.19.

Наибольшие изгибающие моменты, действующие на полосе шириной 1 см, в пластинках, опертых на 3 или 4 канта, определяют по формулам: при опирании на три канта

$$M = \beta q a_1^2, \quad (8.39a)$$

при опирании на четыре канта

$$M = \alpha q a^2, \quad (8.40)$$

где q — расчетное давление на 1 см² плиты, равное напряжению на фундамент.

α и β — коэффициенты, полученные акад. Б. Г. Галеркиным, приведены в табл. 8.6 и 8.7; α — коэффициент, зависящий от отношения бо-

Таблица 8.6. Коэффициенты α для расчета на изгиб плит, опертых на четыре канта

b/a	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	Более 2
α	0,048	0,055	0,063	0,069	0,075	0,081	0,086	0,091	0,094	0,098	0,100	0,125

Т а б л и ц а 8.7. Коэффициенты α для расчета на изгиб плит, опертых на три или два канта

b/a_1	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	2	Более 2
β	0,060	0,074	0,088	0,097	0,107	0,112	0,120	0,126	0,132	0,133

лее длинной стороны b к более короткой a ; коэффициент β зависит от отношения закрепленной стороны пластинки b_1 к свободной a_1 ; размеры a и b берутся между кромками ветвей траверсы или ребер.

При отношении сторон $b/a > 2$ расчетный момент определяется как для однопролетной балочной плиты по формуле

$$M = qa^2/8. \quad (8.41)$$

При отношении сторон $a_1/b_1 > 2$ плита рассчитывается как консоль.

При опирании плиты на два канта, сходящихся под углом, для повышения запаса прочности можно пользоваться формулой (8.40). Для этой цели следует принимать размер a_1 по диагонали между кантами, размер b_1 равным расстоянию от вершины угла до диагонали (рис. 8.19).

Изгибающий момент на консольном участке плиты определяется по формуле

$$M = qc^2/2. \quad (8.42)$$

По наибольшему из найденных для различных участков плиты изгибающих моментов определяется момент сопротивления плиты шириной 1 см $W_{пл} = 1t'_{пл}/6 = M_{max}/R$, а по нему требуемая толщина плиты

$$t_{пл} \geq \sqrt{6M_{max}/R}. \quad (8.43)$$

Обычно толщину плиты принимают в пределах 20—40 мм. При резком отличии моментов по величине на различных участках плиты надо внести изменения в схему опирания плиты, чтобы по возможности выравнять величины моментов, что должно привести к облегчению базы.

Усилие стержня колонны передается на траверсу через сварные швы, длина которых и определяет высоту траверсы.

Если ветви траверсы прикрепляются к стержню колонн четырьмя швами, то получить требуемую высоту траверсы можно по формуле

$$h_{тр} = N/4k_{ш}(\beta \gamma_y^{cb} R_y^{cb})_{min}. \quad (8.44)$$

Высота углового шва принимается не более 1—1,2 толщины ветви траверсы, которая из конструктивных соображений устанавливается равной 10—16 мм. Высоту траверсы следует принимать не больше $85 k_{ш}$.

Швы, прикрепляющие ветви траверсы к опорной плите, рассчитывают на полное усилие, действующее в колонне.

Прикрепление диафрагм к ветвям траверсы (рис. 8.18, а) рассчитывают в запас прочности на усилие

$$N = qab, \quad (8.45)$$

где q — напряжение в фундаменте под опорной плитой; a — расстояние между ветвями траверсы; b — ширина полосы плиты, передающей давление на диафрагму.

При опирании плиты на три или четыре канта линии раздела передачи давления принимаются по биссектрисам углов.

Прикрепление консольных ребер к стержню колонны (рис. 8.18, б) рассчитывается на момент и поперечную силу.

Момент в плоскости прикрепления

$$M = qc_k \frac{l_k^2}{2}, \quad (8.46)$$

где l — ширина грузовой площади; l_k — вылет консоли.

Поперечная сила в прикреплении консоли

$$Q_k = qc_k l_k.$$

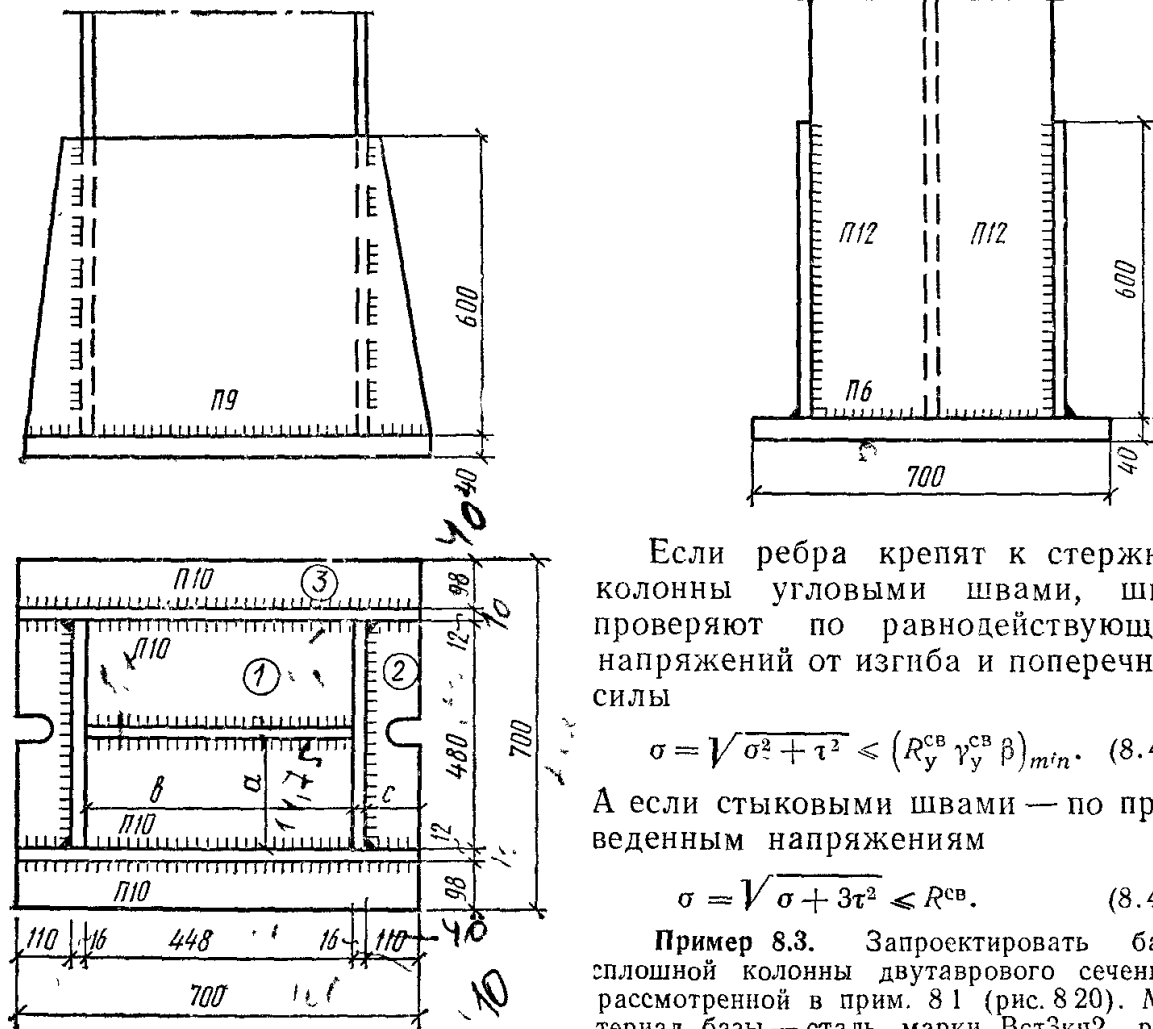


Рис. 8.20. К примеру расчета 8.3

Бетон фундамента марки 150, $R_{бр} = 7 \text{ МПа} = 0,7 \text{ кН/см}^2$.

Нагрузка на базу $N = 4100 \text{ кН}$.

Требуемая площадь плиты базы

$$A_{пл тр} = N/R_{бр} \gamma = 4500/0,7 \cdot 1,2 = 4881 \text{ см}^2.$$

По ориентировочному значению коэффициента $\gamma = 1,2$ принимаем плиту размером $700 \times 700 \text{ мм}$ (см. рис. 8.20). Принимая площадь по обрезу фундамента $A_{ф} = 1000 \times 1000 \text{ см}$, корректируем коэффициент γ :

$$\gamma = \sqrt{A_{ф}/A_{пл}} = \sqrt{100 \cdot 100/70 \cdot 70} = 1,26 \approx 1,2.$$

Далее рассчитываем напряжение под плитой базы

$$\sigma_{ф} = 4500/70 \cdot 70 = 0,91 \text{ кН/см}^2 \approx R_{бр} \gamma = 0,7 \cdot 1,26 = 0,88 \text{ кН/см}^2.$$

Конструируем базу колонны с траверсами толщиной 10 мм, привариваем их к полкам колонны и к плите угловыми швами (рис. 8.20). Вычисляем изгибающие моменты на разных участках для определения толщины плиты.

Участок 1, опертый на 4 канта.

Отношение сторон $b/a = 448/233 = 1,9$ $\alpha = 0,098$ (табл. 8.6):

$$M_{пл.1} = \alpha q a^2 = 0,098 \cdot 0,91 \cdot 23,3^2 = 48,4 \text{ кН} \cdot \text{см} (q = \sigma_{ф});$$

участок 2, консольный, отношение $b/a > 2$:

$$M_2 = q l^2/2 = 0,91 \cdot 11^2/2 = 55,06 \text{ кН} \cdot \text{см}.$$

Участок 3 не проверяем, так как он имеет меньший консольный свес. Определяем толщину плиты по максимальному моменту

$$t_{пл} \geq \sqrt{6M_{max}/R} = \sqrt{6 \cdot 55,06/21} = 3,96 \text{ см}.$$

Принимаем плиту толщиной $t_{пл} = 40 \text{ мм}$.

Таким образом, с запасом прочности усилие в колонне полностью передается на траверсы, не учитывая прикрепления торца колонны к плите.

Прикрепление траверсы к колонне выполняется полуавтоматической сваркой в углекислом газе сварочной проволокой Св08Г2С. Толщину траверс принимаем $t_{тр} = 12 \text{ мм}$, высоту $h_{тр} = 600 \text{ мм}$. Расчетные характеристики: $R_{уш}^{св} = 215 \text{ МПа} = 21,5 \text{ кН/см}^2$; $R_{ус}^{св} = 0,45 \cdot 365 = 164,2 \text{ МПа} = 16,42 \text{ кН/см}^2$; $\beta_{ш} = 0,7$; $\beta_c = 1,0$; $\beta_{ш} R_{уш}^{св} = 0,7 \cdot 21,5 = 15,05 \text{ кН/см}^2 < \beta_c R_{ус} = 1 \cdot 16,42 = 16,42 \text{ кН/см}^2$; $\gamma_{уш}^{св} = \gamma_{ус}^{св} = 1$.

Прикрепления рассчитываем по металлу шва, принимая катет угловых швов $k_{ш} = 12$ мм:

$$\sigma_{ш} = N/k_{ш} 4l_{ш} = 4100/1,2 \cdot 4 (60 - 2) = 14,5 \text{ кН/см}^2 \leq 15,05 \text{ кН/см}^2.$$

Проверяем допустимую длину шва

$$l_{ш} = (60 - 2) = 58 \text{ см} < 85\beta_{ш}k_{ш} = 85 \cdot 0,7 \cdot 1,2 = 71,4 \text{ см}.$$

Требование к максимальной длине швов выполняется. Крепление траверсы к плите принимаем угловыми швами $k_{ш} = 10$ мм.

Проверяем прочность швов

$$\sigma_{ш} = N/k_{ш} \Sigma l_{ш} = 4100/1,2 (68 + 2,9 + 2 \cdot 42,8) = 11,9 \text{ кН/см}^2 < 15,05 \text{ кН/см}^2.$$

Швы удовлетворяют требованиям прочности. При вычислении суммарной длины швов с каждой стороны шва не учитывалось по 1 см на непровар.

Приварку торца колонны к плите выполняем конструктивными швами $k_{ш} = 6$ мм, так как эти швы в расчете не учитывались.

3. Расчет и конструктивное оформление базы при фрезерованном торце стержня колонны

При фрезерованном торце стержня колонны (рис. 8.21, а) плиту обычно принимают квадратной со стороной

$$B = \sqrt{N/R_{\phi}}. \quad (8.49)$$

Так как свесы плиты не укреплены, то плита иногда получается значительной толщины, толще обычного прокатного листа (40—50 мм). В связи с этим возможно применение литых плит или слябов.

Для точной фиксации положения мощной колонны по высоте опорную плиту удобно устанавливать отдельно с помощью трех установочных винтов (рис. 8.21, а). После выверки плиты и заливки ее до верхнего обреза бетоном на нее устанавливают стержень колонны.

Плита при фрезерованном торце стержня колонны работает как пластинка на упругом основании, воспринимающая давление, сконцентрированное на участке, ограниченном контуром стержня (рис. 8.21, б).

Ведя расчет в запас прочности, можно определить изгибающий момент в плите по кромке колонны, рассматривая трапециевидный участок плиты как консоль шириной b (у сопряжения с колонной):

$$M = \sigma_{\phi} A c, \quad (8.50)$$

где A — площадь трапеции, заштрихованная на рис. 8.21, б; c — расстояние от центра тяжести трапеции до кромки колонны.

Требуемая толщина плиты

$$t_{пл} = \sqrt{6M/bR}. \quad (8.51)$$

Точный расчет, учитывающий фактический пространственный изгиб плиты, для прямоугольной пластинки весьма сложен, однако он может быть упрощен, если заменить прямоугольную плиту и сечение колонны равновеликими им по площади кругами (рис. 8.21, в).

В каждой точке такой пластины возникают моменты: M_r — в радиальном направлении и M_t — в тангенциальном направлении при ширине расчетного элемента 1 см:

$$M_r = K_r N \text{ кН·см}; \quad (8.52)$$

$$M_t = K_t N \text{ кН·см}, \quad (8.53)$$

где N — полное расчетное давление колонны на плиту, кН; K_r и K_t — коэффициенты, зависящие от отношения радиуса колонны к радиусу плиты $\beta = b/a$.

Значения K_r и K_t для точек, лежащих на границе плиты и колонны, приведены в табл. 8.8.

По найденным моментам определяют напряжения: нормальные

$$\sigma_r = 6M_r/t_{пл}^2; \quad \sigma_t = 6M_t/t_{пл}^2 \quad (8.54)$$

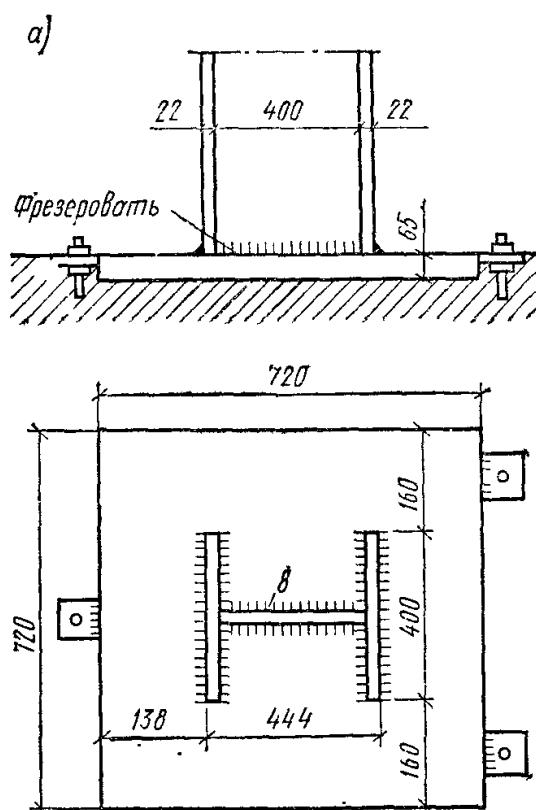
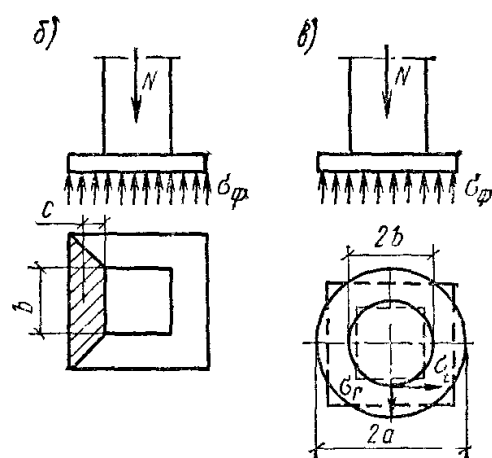


Рис. 8.21. База с фрезерованным торцом стержня



и касательные

$$\tau = N/2\pi b t_{\text{пл}}. \quad (8.55)$$

Проверяется приведенное напряжение (см. гл. 3, § 3)

$$\sigma_{\text{пр}} = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_t^2 - \sigma_r \sigma_t + 3\tau^2} < R_y. \quad (8.56)$$

Расчет плиты как консоли следует производить при $b/a \geq 0,5$; если $b/a < 0,5$, то правильнее рассматривать плиту как круглую пластинку.

Для восприятия напряжений от случайных моментов и поперечных сил прикрепление стержня колонны с фрезерованным торцом к плите условно рассчитывается на усилие, составляющее 15 % общего давления.

Таблица 8.8. Коэффициенты для расчета плиты как круглой пластинки (под фрезерованным торцом колонны)

β	0,3	0,4	0,5	0,6
k_p	0,0815	0,0517	0,0331	0,0200
k_t	0,1020	0,0752	0,0541	0,0377

§ 7. ОГОЛОВКИ КОЛОНН И СОПРЯЖЕНИЕ БАЛОК С КОЛОННАМИ

1. Типы сопряжений

Сопряжение балок с колоннами может быть *свободное* (шарнирное) и *жесткое*. Свободное сопряжение передает только вертикальные нагрузки. Колонны в этом случае должны быть закреплены во время эксплуатации и монтажа от горизонтальных смещений заземлением в фундаменте или системами вертикальных связей. Жесткое сопряжение балок с колоннами образует рамную систему, способную воспринимать горизонтальные воздействия и уменьшать расчетный момент в балках. В этом случае балки примыкают к колонне сбоку.

2. Конструирование и расчет оголовков колонн

При свободном сопряжении балки обычно ставят на колонну сверху, что обеспечивает простоту монтажа.