

## 2.6. Расчет на продавливание

Расчеты на продавливание выполнены для перекрытий 2—17 этажей (рабочая высота сечения  $h_0 = 20 - 4 = 16$  см), для перекрытия 1-го этажа ( $h_0 = 25 - 4 = 21$  см) и для фундаментной плиты ( $h_0 = 120 - 6 = 114$  см).

Таблица 2.2 содержит максимальные продавливающие силы для перекрытий толщ. 20 см при суммарном действии всех загружений, кроме ветровых. Значения получены с помощью функции «Информация об узле или элементе» в ходе визуального анализа эпюр продольных сил в колоннах, примыкающих сверху и снизу к выбранному перекрытию. Такие эпюры показаны в конце подраздела на рис. 2.14–2.15. Максимумы продавливающих сил устанавливались отдельно для внутренних колонн (т. е. удаленных от краев плиты) и для колонн, находящихся на ребре плиты.

Таблица 2.2

### Усилия в колоннах и продавливающие силы

| Этаж   | Сечение колонны | Координаты колонны | Положение на плите | Продольная сила $N$ , т | Продавливающая сила $F_{max}$ , т |
|--------|-----------------|--------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| Кровля | 400×400         | 3Ж                 | внутр.             | 33,0                    | 33,0                              |
|        |                 | 1Н                 | на ребре           | 30,3                    | 30,3                              |
| 17     | 400×400         | 3Ж                 | внутр.             | 63,8                    | 29,5                              |
|        |                 | 1Н                 | на ребре           | 62,4                    | 33,4                              |
| 16     | 400×400         | 9Ж                 | внутр.             | 96,4                    | 31,4                              |
|        |                 | 1Н                 | на ребре           | 98,5                    | 33,4                              |
| 15     | 400×400         | 9Ж                 | внутр.             | 129,5                   | 31,8                              |
|        |                 | 1Н                 | на ребре           | 133,3                   | 33,5                              |
| 14     | 400×400         | 9Ж                 | внутр.             | 163,1                   | 32,3                              |
|        |                 | 1Н                 | на ребре           | 168,1                   | 33,4                              |
| 13     | 400×400         | 9Ж                 | внутр.             | 197,3                   | 32,9                              |
|        |                 | 1Н                 | на ребре           | 202,9                   | 33,5                              |
| 12     | 400×400         | 9Ж                 | внутр.             | 232,3                   | 33,7                              |
|        |                 | 1Н                 | на ребре           | 237,7                   | 33,5                              |
| 11     | 400×400         | 9Ж                 | внутр.             | 268,3                   | 34,7                              |
|        |                 | 1Н                 | на ребре           | 272,6                   | 33,6                              |
| 10     | 400×400         | 9Ж                 | внутр.             | 305,4                   | 35,8                              |
|        |                 | 1Н                 | на ребре           | 307,5                   | 33,6                              |
| 9      | 500×500         | 9Ж                 | внутр.             | 344,4                   | 37,0                              |
|        |                 | 1Н                 | на ребре           | 343,1                   | 33,6                              |
| 8      | 500×500         | 9Ж                 | внутр.             | 383,8                   | 37,4                              |
|        |                 | 1Н                 | на ребре           | 378,7                   | 33,5                              |
| 7      | 500×500         | 9Ж                 | внутр.             | 422,9                   | 37,8                              |
|        |                 | 1Н                 | на ребре           | 413,4                   | 33,4                              |
| 6      | 500×500         | 9Ж                 | внутр.             | 463,5                   | 38,5                              |
|        |                 | 1Н                 | на ребре           | 448,7                   | 33,3                              |
| 5      | 500×500         | 9Ж                 | внутр.             | 505,1                   | 39,5                              |
|        |                 | 1Н                 | на ребре           | 483,8                   | 33,0                              |

|   |         |    |          |       |      |
|---|---------|----|----------|-------|------|
| 4 | 500×700 | 9Ж | внутр.   | 547,5 | 40,4 |
|   |         | 1Н | на ребре | 518,8 | 32,9 |
| 3 | 500×700 | 9Ж | внутр.   | 591,3 | 40,9 |
|   |         | 1Н | на ребре | 554,3 | 32,6 |
| 2 | 500×700 | 9Ж | внутр.   | 635,9 | 41,7 |
|   |         | 1Н | на ребре | 589,6 | 32,4 |

В табл. 2.3 представлены допускаемые параметры продавливания в зависимости от сечения колонны и ее положения на плите толщ. 200 мм. Расчеты выполнены согласно «Пособию по проектированию бет. и ж.-б. конструкций из тяжелого бетона...» (приложение к СП 52-101-2003, ЦНИИпромзданий, М.: 2005). Методики расчетов приводятся ниже. Допускаемая продавливающая сила при отсутствии поперечной арматуры вычислялась в предположении центрального действия нагрузки на расчетное сечение (параметр  $F_b$ ) и с учетом внецентренного действия этой нагрузки (параметр  $F_{внец}$ ). Суммарная площадь поперечной арматуры в зоне продавливания  $A_{\Sigma sw}$  определялась из условия

$$F_{sw} = 0,5F_b. \quad (2.1)$$

Согласно п. 3.42 СНиП 2.03.01-84 (1996) величина  $A_{\Sigma sw}$  — это наименьшая площадь арматуры при необходимости подкрепления зоны продавливания. Допускаемая продавливающая сила с учетом арматуры  $A_{\Sigma sw}$  представлена в таблице параметром  $F_{ult}$ . Для внутренних колонн имеем по СНиП 2.03.01-84:

$$F_{ult} = F_b + 0,8F_{sw}. \quad (2.2)$$

Для колонн на ребре плиты расчет допускаемой силы  $F_{ult}$  с учетом армирования поясняется ниже.

Таблица 2.3

**Допускаемые параметры продавливания  
на плите толщ. 200 мм**

| Сечение колонны | Расположение колонны | Продавливающая сила при центр. нагрузке $F_b$ , т | Продавливающая сила при внецентр. нагрузке $F_{внец}$ , т | Минимальное армирование $A_{\Sigma sw}$ , см <sup>2</sup> | Суммарная продавливающая сила $F_{ult}$ , т |
|-----------------|----------------------|---|---|---|---|
| 400×400         | внутр.               | 34,8  | -   | 9,7   | 48,7  |
|                 | на ребре             | 31,4  | 27,8  | 8,7   | 38,9  |
| 500×500         | внутр.               | 41,0  | -   | 11,4  | 57,4  |
|                 | на ребре             | 34,5  | 24,3  | 9,6   | 34,0  |
| 500×700         | внутр.               | 47,2  | -   | 13,1  | 66,1  |
|                 | на ребре             | 37,6  | 23,2  | 10,4  | 32,5  |

Сопоставляя таблицы 2.2 и 2.3, можем установить следующее:

для колонн сечения 400×400 достаточно минимального поперечного армирования зон продавливания;

для колонн сечений  $500 \times 500$  и  $500 \times 700$ , расположенных на ребре плиты, достаточно минимального поперечного армирования;

для колонн сечений  $500 \times 500$  и  $500 \times 700$ , расположенных внутри плана плиты, поперечной арматуры не требуется.

Замечание. Для колонн сечения  $500 \times 700$ , расположенных на ребре плиты, действующая продавливающая сила может превышать допускаемую силу на 1% (соотношение действующих и допускаемых сил имеет вид  $32,9 \text{ т} > 32,5 \text{ т}$ ). Однако во всех расчетах коэффициент надежности по ответственности брался завышенным до 1 (а не 0,95, как требуется при нормальном уровне ответственности здания). Поэтому превышением допускаемого значения нагрузки на 1% пренебрегаем.

**Расчет для внутренней колонны.** Отсутствие продавливания плит проверяется с помощью неравенства (СНиП 2.03.01-84\*, формула (107)):

$$F \leq \alpha R_{bt} u_m h_0, \quad (2.3)$$

где правая часть есть допускаемая продавливающая сила:

$$F_b = \alpha R_{bt} u_m h_0. \quad (2.4)$$

Для тяжелого бетона задаем  $\alpha = 1,00$ ; для бетона задаем  $R_{bt} = 9,7 \text{ кгс/см}^2$ ;  $u_m$  – длина расчетного контура продавливания;  $h_0$  – рабочая высота сечения плиты. Пирамида продавливания показана на рис. 2.12. Для колонны квадратного сечения  $b \times b$  имеем:

$$u_m = 4(b + h_0).$$

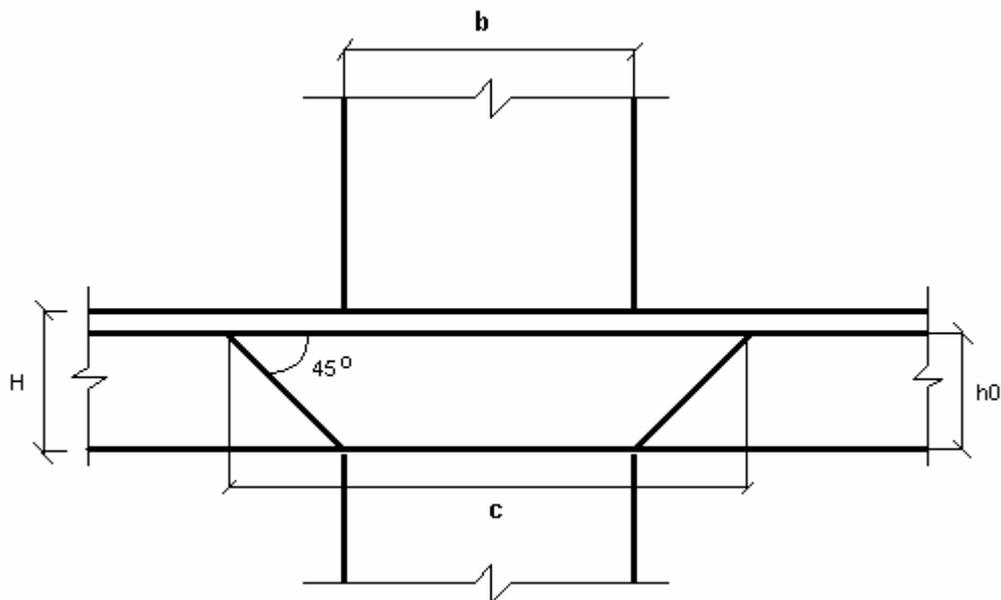


Рис. 2.12

В общем случае прямоугольного сечения  $b \times h$  имеем:

$$u_m = 2(b + h + 2h_0). \quad (2.5)$$

В частности, для колонн сечения  $400 \times 400$  мм имеем:

$$u_m = 224 \text{ см};$$

$$F_b = 1 \cdot 9,7 \cdot 224 \cdot 16 = 34765 \text{ кгс}.$$

Для усилия, воспринимаемого арматурой, имеем:  $F_{sw} = A_{\Sigma sw} R_{sw}$ . Здесь  $R_{sw}$  — расчетное сопротивление с учетом условий работы, которое для арматуры класса А-III равно  $1800 \text{ кгс/см}^2$ . Для минимальной площади поперечной арматуры с учетом требования (2.1) получаем:

$$A_{\Sigma sw} = \frac{0,5 F_b}{R_{sw}}, \quad (2.6)$$

что дает в рассматриваемом случае  $A_{\Sigma sw} = 9,7 \text{ см}^2$ .

Проверка на продавливание с учетом поперечной арматуры выполняется с помощью неравенства (СНиП 2.03.01-84\*, формула (108)):

$$F \leq F_b + 0,8 F_{sw}, \quad (2.7)$$

где правая часть есть допускаемая продавливающая сила (2.2). При минимальной площади арматуры очевидно

$$F_{ult} = 1,4 F_b. \quad (2.8)$$

**Расчет для колонны на ребре.** Отсутствие продавливания плиты при положении колонны на ребре проверяется с помощью неравенства («Пособие по проектированию...» к СП 52-101-2003, формула (3.178)):

$$F \leq \frac{R_{bt} h_0}{\frac{1}{u} - \frac{e_0 y_{in}}{I}} \quad \text{или} \quad F \leq \frac{R_{bt} h_0}{\frac{1}{u} + \frac{e_0 y_{out}}{I}}, \quad (2.9)$$

где правая часть есть допускаемая продавливающая сила с учетом внецентренного действия нагрузки:

$$F_{\text{внец}} = \frac{R_{bt} h_0}{\frac{1}{u} \mp \frac{e_0 y_{in(out)}}{I}}; \quad (2.10)$$

$$u = 2L_x + L_y \quad (2.11)$$

— длина контура незамкнутого расчетного сечения;

$$I = \frac{L_x^3}{3} \frac{2(L_x + L_y)^2 + L_x L_y}{u^2} \quad (2.12)$$

— момент инерции контура расчетного сечения;

$y$  – расстояние от центра тяжести контура расчетного сечения до проверяемого волокна, равное, в зависимости от положения волокна:

$$y_{out} = \frac{L_x(L_x + L_y)}{u} \text{ или } y_{in} = \frac{L_x^2}{u}; \quad (2.13)$$

$$e_0 = \frac{L_x(L_x + L_y)}{u} - x_0 \quad (2.14)$$

– эксцентриситет сосредоточенной силы относительно центра тяжести контура;

$x_0$  – расстояние от точки приложения сосредоточенной силы от свободного края плиты;

$L_x$  и  $L_y$  – размеры контура расчетного поперечного сечения;

$L_y$  – размер, параллельный свободному краю плиты (Рис. 2.13);

из двух значений допускаемой продавливающей силы следует брать меньшее.

В предположении центрального действия нагрузки допускаемую продавливающую силу вычисляем по формуле (2.4), в которой заменяем  $u_m$  на  $u$  из (2.11).

Параметры продавливания с учетом поперечной арматуры определяются согласно п. 3.87 «Пособия по проектированию БиЖБК...» (приложение к СП

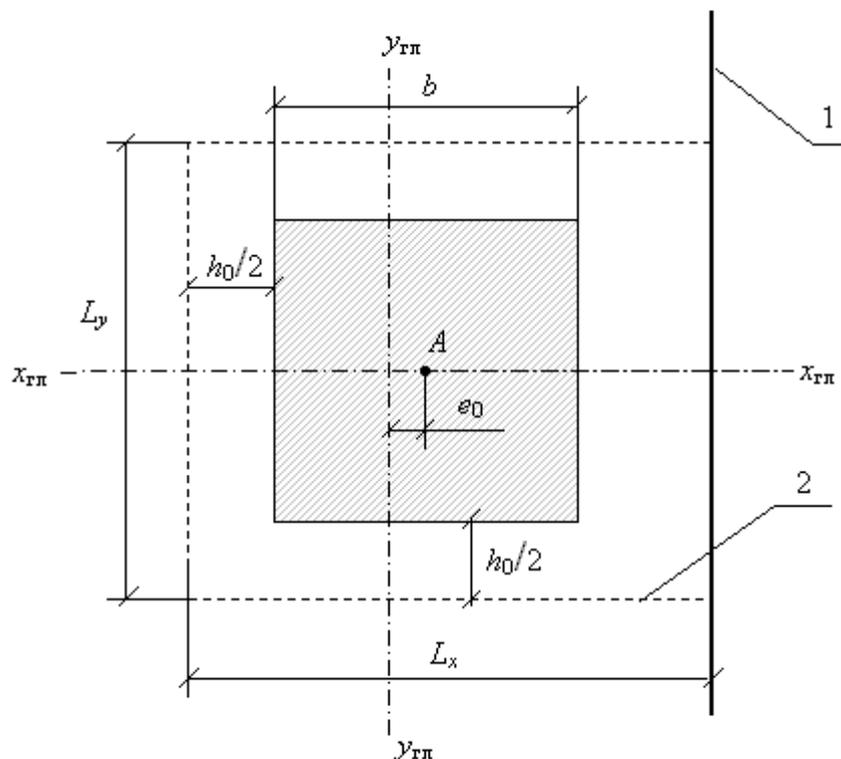


Рис. 2.13. Контур продавливания. 1 – граница плиты; 2 – контур расчетного сечения;  $A$  – центр тяжести сечения колонны;  $x_{гп}$ ,  $y_{гп}$  – главные центральные оси расчетного контура

52-101-2003). Критерий отсутствия продавливания (3.187) этого пособия для случая равномерного армирования зоны продавливания удобно представить в виде:

$$F \leq F_{ult} = \frac{R_{bt} h_0 + 0,8q_{sw}}{\frac{1}{u} \mp \frac{e_0 \mathcal{Y}_{in(out)}}{I}}, \quad (2.15)$$

где

$$q_{sw} = \frac{R_{sw} A_{\Sigma sw}}{u} \quad (2.16)$$

— нагрузка, воспринимаемая поперечной арматурой на единицу длины расчетного контура продавливания. При выполнении требования (2.1) для суммарной площади поперечной арматуры вновь приходим к выражению (2.6). Сопоставляя формулы (2.10) и (2.15), получаем в случае минимально допустимого армирования:

$$F_{ult} = 1,4F_{внещ}. \quad (2.17)$$

При расчетах по формулам (2.15)—(2.17) в числе исходных данных используется величина  $x_0 = 45$  см, общая для всех колонн на плитах толщ. 200 мм.

Для перекрытия 1-го этажа расчет на продавливание необходим только для колонн, расположенных внутри плана перекрытия. Для этих колонн наибольшие продавливающие силы сведены в третью графу табл. 2.4. Эпюры, использованные для определения этих сил, показаны на рис. 2.15. Результаты расчета допускаемых продавливающих сил представлены в графе 4 табл. 2.4.

Из табл. 2.4 можно видеть, что на перекрытии 1-го этажа для всех внутренних колонн действующая продавливающая сила не превышает допускаемую силу для бетона.

Таблица 2.4

#### Параметры продавливания на перекрытии 1-го этажа

| Сечение и расположение колонны | Координаты колонны | Действующая продавливающая сила $F_{max}$ , т | Допускаемая продавливающая сила $F_b$ , т | Минимальное армирование $A_{\Sigma sw}$ , см <sup>2</sup> | Суммарная допускаемая продавливающая сила $F_{ult}$ , т |
|--------------------------------|--------------------|---|---|---|---|
| 500×500<br>внутр.              | 9Н                 | 53,9  | 57,9                                      | -   | -   |
| 500×700<br>внутр.              | 3Н                 | 46,1  | 69,1                                      | -   | -   |

Для фундаментной плиты расчет на продавливание необходим только для колонн, расположенных вне подвальных стен. Результаты расчетов сведены в табл. 2.5. В этой таблице представлены колонны внутри плана фундаментной

плиты, для которых действующая продавливающая сила максимальна при заданном сечении, а также все колонны на ребре плиты (по оси 12). Для трех колонн на ребре плиты требуется постановка поперечной арматуры. Формулы (2.15), (2.16) дают следующее выражение для требуемой площади этой арматуры:

$$A_{\Sigma sw} = \frac{F_b \left( \frac{F}{F_{\text{áfâö}}} - 1 \right)}{0,8R_{sw}} . \quad (2.19)$$

Для максимально допустимой площади, когда выполняется условие<sup>1</sup>  $F_{ult} = 2F_{\text{áfâö}}$ , получаем, в частности:

$$A_{\Sigma sw} = \frac{F_b}{0,8R_{sw}} . \quad (2.20)$$

В графах 6 и 7 таблицы приводятся значения площади (2.20) и соответствующие величины допускаемой силы  $F_{ult}$ . В расчетах полагалось  $x_0 = 80$  см.

Таблица 2.5

#### Параметры продавливания на фундаментной плите

| Сечение и расположение колонны | Координаты колонны | Действующая продавливающая сила $F$ , т | Допускаемая продавливающая сила, т |                   | Поперечное армирование $A_{\Sigma sw}$ , см <sup>2</sup> | Суммарная допускаемая продавливающая сила $F_{ult}$ , т |
|--------------------------------|--------------------|---|------------------------------------|-------------------|--|---|
|                                |                    |   | $F_b$                              | $F_{\text{внец}}$ |  |   |
| 400×400<br>внутр.              | 2В                 | 244,8                                   | 681,2                              | -                 | -  | -   |
| 500×500<br>внутр.              | 3В                 | 466,4                                   | 725,4                              | -                 | -  | -   |
| 500×700<br>внутр.              | 9Ж                 | 683,5                                   | 769,6                              | -                 | -  | -   |
| 500×800<br>внутр.              | 6В                 | 648,9                                   | 791,8                              | -                 | -  | -   |
| 500×500<br>на ребре            | 12С                | 487,3                                   | 539,6                              | 263,9             | 374,7  | 527,8   |
| 500×700<br>на ребре            | 12Ж                | 490,2                                   | 561,7                              | 261,4             | 390,1  | 522,8   |
| 500×700<br>на ребре            | 12Н                | 372,2                                   | 561,7                              | 261,4             | 390,1  | 522,8   |
| 400×400<br>на ребре            | 12В                | 63,5                                    | -                                  | 268,4             | -  | -   |

Вывод: для колонн внутри плана фундаментной плиты постановка поперечной арматуры не требуется. Для колонн на ребре фундаментной плиты 12С, 12Ж, 12Н целесообразно установить поперечную арматуру наибольшей допустимой площади.

<sup>1</sup> Данное условие определяется пп. 6.2.48 и 6.2.50 СП 52-101-2003.

РСН 6: сумма всех вертикальных нагрузок

6  
Элюра N  
Единицы измерения - т

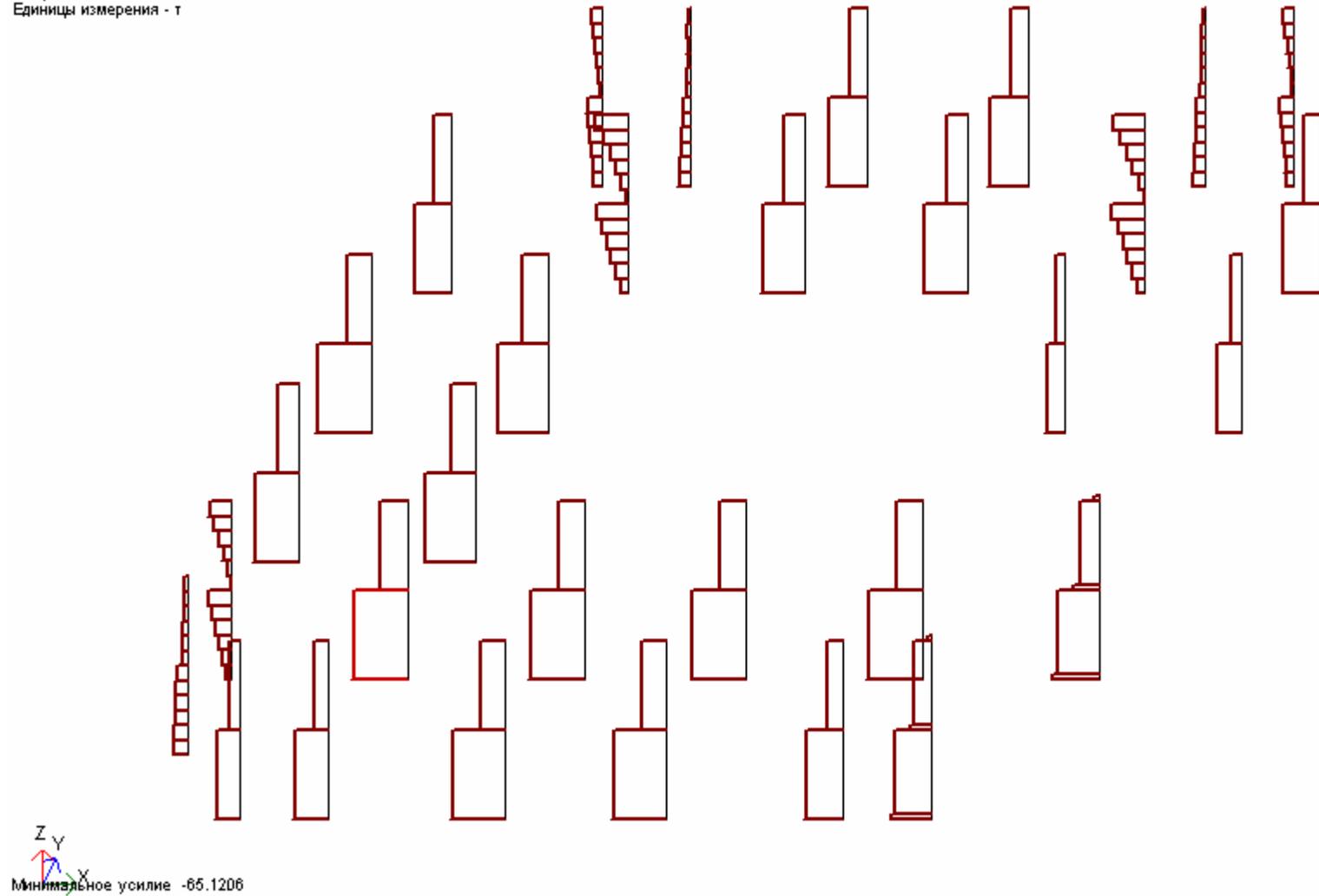


Рис. 2.14. Эпюры для колонн, примыкающих к семнадцатому этажу

РСН 6: сумма всех вертикальных нагрузок

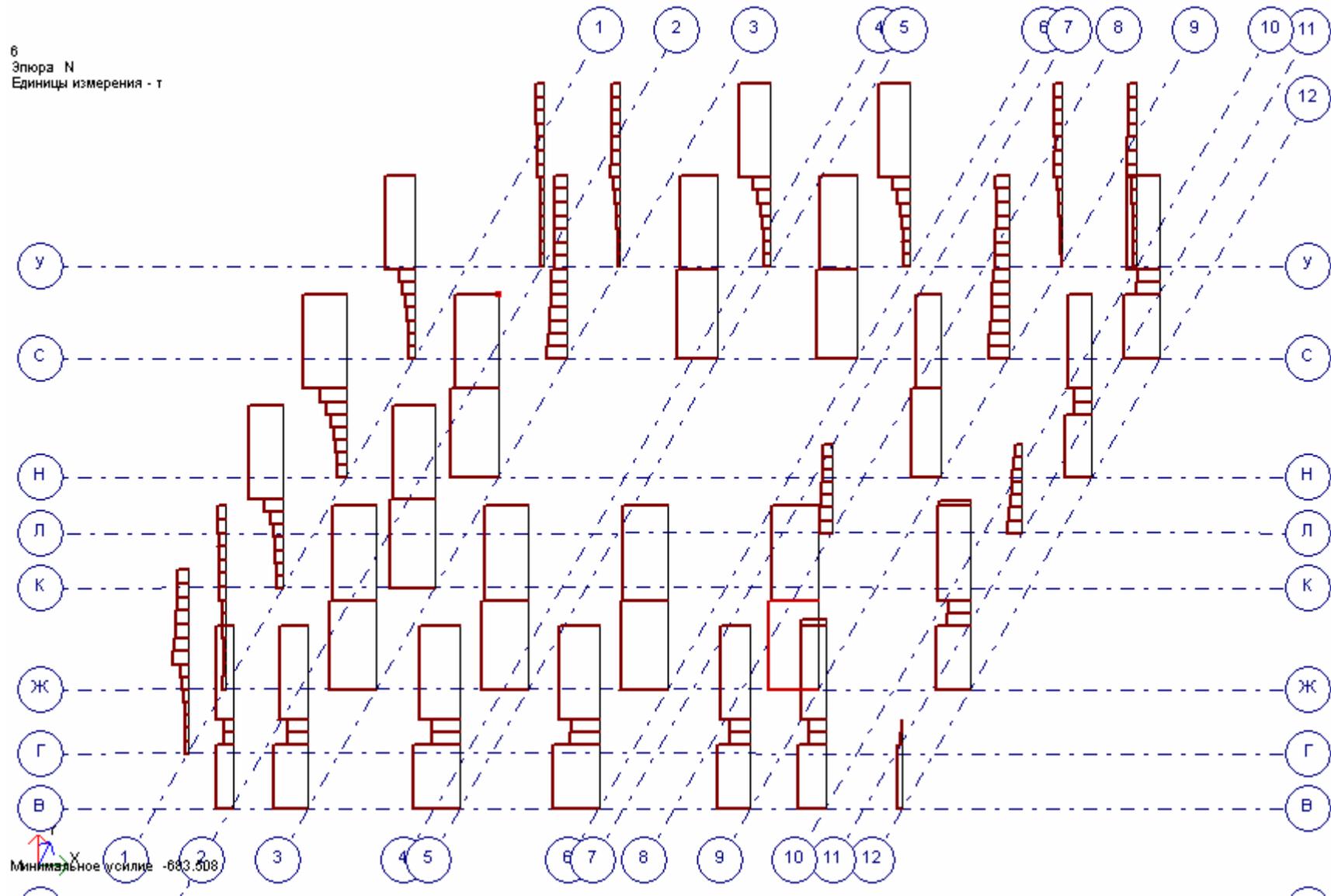


Рис. 2.15. Эпюры для колонн, примыкающих к первому этажу