

## Оценка прочности железобетонных плит на продавливание.

*О.М. Шогенов, А.М. Беппаев*

*Кабардино-Балкарский государственный университет им Х.М. Бербекова*

**Аннотация:** В статье анализируется расчет на продавливание плитных конструкций по рекомендациям СНиП 2.03.01-84\*Бетонные и железобетонные конструкции. Показано, что существующий метод расчета дает завышенную несущую способность плит перекрытия в безригельных каркасных системах.

В целях установления несущей способности соответствующей конструктивному решению предлагается расчетным путем определять угол пирамиды продавливания.

**Ключевые слова:** продавливание, нагельный эффект, безригельный каркас, приопорная зона, несущая способность, пирамида продавливания, технологическое отверстие, плита перекрытия, надежность, арматура, бетон.

При проектировании железобетонных безригельных каркасных [1] систем возникает необходимость устройства проемов для пропуска коммуникаций через перекрытия в приопорных зонах, в которых концентрируются значительные внутренние усилия. В целях обеспечения надежной работы конструкции данного узла весьма важно правильно оценить несущую способность арматуры и бетона. При передаче нагрузок на колонну возникает опасность продавливания перекрытия, которая происходит по поверхности усеченной пирамиды. В этой связи возникает необходимость правильно учесть сопротивление арматуры и бетона под арматурой, попавшей в зону пирамиды продавливания.

В СНиП (СНиП 2.03.01-84\*. Бетонные и железобетонные конструкции) имеются рекомендации по установлению несущей способности конструкций на продавливание:

$$F \leq \alpha \cdot R_{bt} \cdot U_{cp} \cdot h_0 + 0,8 \cdot R_{swf} \sum A_{swf};$$

где  $\alpha = 1$  (для тяжелого бетона);

$U_{cp}$  – среднее значение периметра пирамиды продавливания;

$h_0$  – рабочая высота;

$R_{bt}$  – расчетное сопротивление бетона на растяжение;

$R_{sw}$  – предельное напряжение в хомутах;

$A_{sw}$  – площадь поперечного сечения всех хомутов, пересекающих пирамиду продавливания.

В данной формуле рассматривается несущая способность сечения, которая образуется средней линией усеченной пирамидой, грани которой наклонены к плоскости плиты перекрытия под углом  $45^0$ . Такой угол наклона граней продавливания характерен для однородного бетона без армирования. Как видно, в самой формуле рассматривается случай чистого среза арматуры, а несущая способность бетонного сечения ограничивается сопротивлением на растяжение. В рассматриваемой зоне расположено большое количество продольной и поперечной арматуры, устанавливаемой для усиления плиты перекрытия у колонны. Влияние насыщения арматурой приопорного объема на характер разрушения бетона не учитывается в формулах предлагаемой СП (СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.), а это, безусловно, оказывает влияние на несущую способность плиты у колонны. В этой связи предлагается вернуться к предложению А.Д. Сергиевского по учету армирования приопорной зоны колонны сделанному им в 1962 году [2]. Автор предлагал определять угол пирамиды продавливания по формуле в зависимости от содержания арматуры в бетоне в приопорной зоне:

$$\operatorname{tg} \alpha = 1 + \left( 2,2 - 0,8 \cdot \sqrt{\frac{S}{h_0}} \right) \cdot \frac{\mu}{\mu_s};$$

где  $h_0 = 19\text{см}$  – рабочая высота сечения перекрытия;

$S$  – расстояние между верхней и нижней сеткой;

$\mu$  – коэффициент армирования сечения колонны

$$\mu_s = \frac{n_x \cdot A_{sx} \cdot l_x + n_y \cdot A_{sy} \cdot l_y}{A_{ef} \cdot S}$$

$n_x, A_{sx}, l_x$  – количество, площадь арматуры и длина на участке косвенного армирования у колонны.

$A_{ef}$  – площадь бетона внутри сеток косвенного армирования;

В процессе строительных работ возникла необходимость проверить несущую способность плиты перекрытия безригельного каркаса на продавливание ослабленную технологическими отверстиями (рис. 1) , примыкающими к колонне.

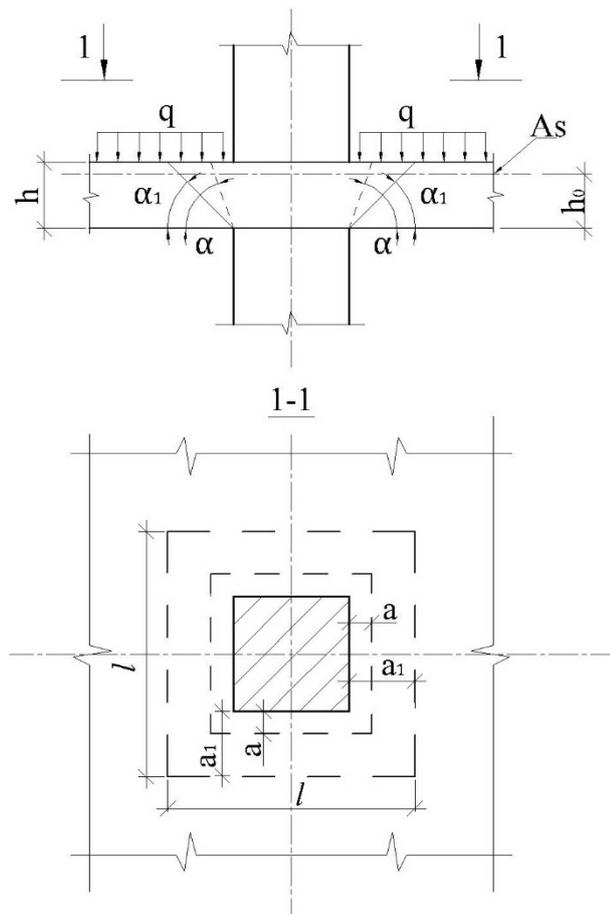


Рис. 1. - Схема пирамиды продавливания

$$\alpha_1 \text{ при } \alpha_1 = 45^\circ; \alpha \text{ при } \alpha = 69,3^\circ$$

Расчетная нагрузка на перекрытие по условиям эксплуатации составила 1255 кг/м<sup>2</sup> при грузовой площади на колонну  $A = 19,35\text{м}^2$  и зоной усиления у колонны  $2,7 \times 2,7\text{м}$ .

Армирование по верху и низу в плоскости плиты симметрично в обоих направлениях:

- по верху: базовое и усиление составляет:

$$A_{sx} = A_{sy} = (14\phi 12 + 13\phi 16) = (15,82 + 26) = 41,82 \text{ см}^2;$$

- по низу:

$$A_{sx} = A_{sy} = (14\phi 14 + 13\phi 12) = (21,56 + 14,69) = 36,25 \text{ см}^2;$$

Тогда:

$$\mu_s = \frac{41,82 \cdot 270 \cdot 2 + 36,25 \cdot 270 \cdot 2}{270 \cdot 270 \cdot 18} = 0,032.$$

Продольное армирование колонны:  $A_{sy} = 4\phi 28 = 49,36 \text{ см}^2$ ;

$$\mu = \frac{49,36}{40 \cdot 40} = 0,036;$$

Угол пирамиды продавливания составил:

$$\text{tg } \alpha = 1 + \left( 2,2 - 0,8 \sqrt{\frac{18}{19}} \right) \cdot \frac{0,036}{0,032} = 2,65;$$

$$\alpha = \text{arc tg } \alpha = \text{arc tg } 2,65 = 69,3^\circ$$

При таком угле пирамиды продавливания:

- приращение основания составит  $a = \frac{22}{\tan 69,3} = \frac{22}{2,65} = 8,3 \text{ см}$ ;

- основание пирамиды продавливания составит:

$$l = 2a + h_{\text{к}} = 2 \cdot 8,3 + 40 = 56,6 \text{ см}.$$

-средняя величина периметра пирамиды продавливания с учетом проемов в перекрытии:

$$U_{\text{ср}} = \frac{40 \cdot 3 + 56,6 + 2 \cdot 40}{2} = 128,3 \text{ см}$$

Несущая способность бетона по срезу:

$$F_b = \alpha R_{bt} \cdot h_0 \cdot U_{\text{ср}} = 1 \cdot 10,5 \cdot 19 \cdot 128,3 = 25595,85 \text{ кг.} \approx 25,6 \text{ тн.}$$

В расчетную зону входят 6 из 8 сеток С-1, причем в каждой из 6-ти сеток, лишь 2-3 поперечных хомута пересекают плоскость пирамиды продавливания (рис .2)

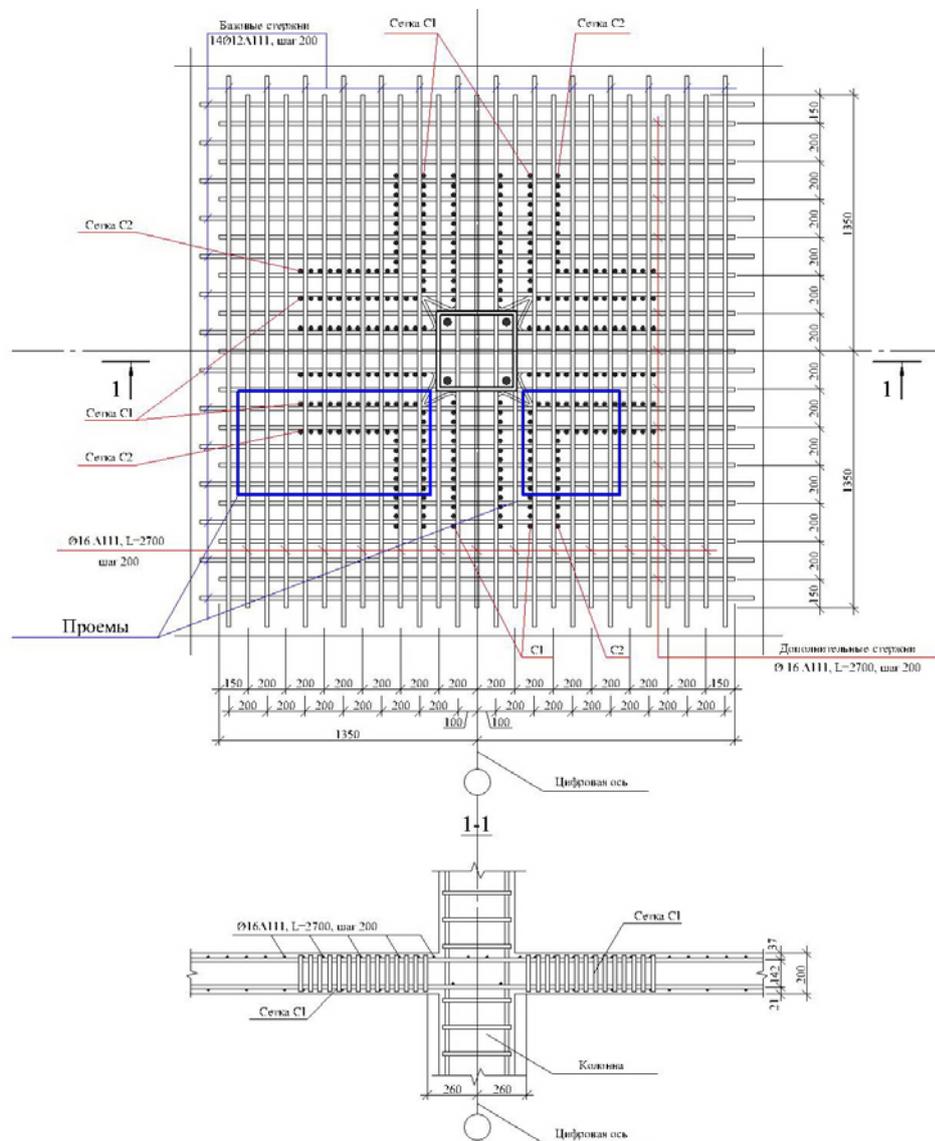


Рис.2. - Схема армирования узла поперечной арматурой.



В расчет принимаем  $6 \times 2 = 12$  стержней хомута  $\emptyset 10$  мм., тогда несущая способность хомутов составит:

$$F_{sw} = 0,8R_{sw} \cdot \sum A_{sw} = 0,8 \cdot 1750 \cdot 12 \cdot 0,785 = 13188 \text{ кг.} \approx 13,9 \text{ тн.};$$

Общая несущая способность перекрытия на продавливание с учетом проемов составила:

$$F = F_b + F_{sw} = 25,6 + 13,9 = 38,79 \text{ тн.},$$

что больше действующей нагрузки равной  $N = 19,35 \cdot 1,255 = 24,28$  тн. в 1,6 раз.

Расчетные усилия на продавливание должны удовлетворять ограничениям:

- по несущей способности бетона, которая не должна превышать  $F \leq 2 \alpha R_{bt} \cdot h_0 \cdot U_{cp}$ .  $F = 38,79 < 2 \times 25,6 = 51,2$  т, т.е. требование выполняется;
- по несущей способности поперечной арматуры, пересекающей плоскость продавливания, Условие также соблюдается:  $F_{sw} = 13,9 > 0,5 \cdot 25,6 = 12,8$  т.

Если рассматривать пирамиду продавливания по рекомендации СНиП[2] с углом продавливания  $45^\circ$ , то периметр поверхности по средней линии составит: 171.1см (с учетом проемов в перекрытии у колонны), и соответственно, возрастет несущая способность бетона на срез:

$$F_{b, \text{СНиП}} = \alpha R_{bt} \cdot h_0 \cdot U_{cp} = 1 \cdot 10,5 \cdot 19 \cdot 171,1 = 34,134,5 \text{ кг.} \approx 34,1 \text{ тн.}$$

Увеличится и количество поперечной арматуры пересекающая поверхность продавливания с 12 до 24, и несущая способность по арматуре составит:

$$F_{sw, \text{СНиП}} = 0,8R_{sw} \cdot \sum A_{sw} = 0,8 \cdot 1750 \cdot 24 \cdot 0,785 \approx 27,8 \text{ тн.}$$

Проверка ограничений:

- по бетону  $F_{b, \text{СНиП}} = 61,9 < 2 \alpha R_{bt} \cdot h_0 \cdot U_{cp} = 2 \cdot 34,1 = 68,2$  т;

-по поперечной арматуре  $F_{sw, СНиП} = 27.8 \geq 0.5 \cdot 34.8 = 17.9\text{т}$

**потвердила их выполнение.**

Анализ введенных ограничений показывает, что они практически всегда выполняются, если несущая способность поперечной арматуры  $F_{sw}$  будет находиться в пределах от  $0.5 \cdot F_b$  до  $2 \cdot F_b$ , т.е. четырехкратное изменение площади сечения поперечной арматуры не изменит соблюдение условия прочности. Это обстоятельство свидетельствует о том, что расчет приближенный и не учитывает особенности работы арматуры и бетона в зоне продавливания.

Таким образом, при угле наклона поверхности пирамиды продавливания в  $\alpha=45^\circ$  происходит завышение в  $[(34.1+27.8)/24.28] = 2,5$  раза несущей способности надколонного узла. В действительности несущая способность узла будет существенно меньше расчетного значения, что недопустимо.

Считаем, что при расчете на продавливание необходимо учитывать нагельный эффект в работе арматуры [3] как продольной (верхней и нижней в плите перекрытия), так и поперечной, устанавливаемой в плите в зоне усиления у колонн. Необходимо, также учитывать работу бетона на смятие под арматурой, работающей по принципу нагеля [4]. Безусловно, расчет усложнится, но надежность конструкции важнее.

### Литература

1. Дорфман А.Э., Левонтин Л.Н. Проектирование безбалочных без капитальных перекрытий. – М.: Стройиздат, 1975.- 124 с.
2. Сергиевский А.Д. О расчете плит на продавливание // Бетон и железобетон. – 1962. - №6. – С.27-28.

3. Колчунов Вл. И., Заздравных Э.И. Расчетная модель «нагельного эффекта» в железобетонном элементе // Известия вузов: Строительство и архитектура.- 1996. - №10.- С.18-25.

4. Байков В. Н., Сигалов Э. Е., Железобетонные конструкции, Учеб. для вузов. — 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1991. — 767 с.

5. Маилян Р.Л., Маилян Д.Р., Веселев Ю.А., Строительные конструкции, Учебное пособие. Изд.2-е -Ростов н/Д: Феникс, 2005. - 880с.:

6. Беккиев М.Ю., Сопротивление бетона и арматуры силовым воздействиям различных видов, Ростов н/Д, РГСУ,2002. - 250 с.

7. С.Л. Фомин, К. Шейхмус, И.А. Плахотникова, Модели для исследования железобетонных плит на продавливание колоннами при нагреве // Инженерный вестник Дона, 2014, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2666/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2666/).

8. Д.Р. Маилян, П.П. Польской, С.В. Георгиев, Свойства материалов, используемых при исследовании работы усиленных железобетонных конструкций // Инженерный вестник Дона, 2016, №3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3654](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3654).

9. Tsoukantas S.G., Tassios T.P. Shear Resistance of Connections between Reinforced Concrete Linear Precast Elements // ASJ Struktural Journal, 1989. 59 p.

10. Sieczkowski J. Projektowanie budynkow wysokich z betonu. Warszawa, Arkady, 1976. 135 p.

### References

1. Dorfman A.E., Levontin L.N. Proektirovanie bezbalochnykh bez kapitel'nykh perekrytiy, [Design of reinforced concrete slabs without capital]. М.: Stroyizdat, 1975. 124 p.

2. Sergievskiy A.D. O raschete plit na prodavlivanie [The calculation of the plates for punching]. Beton i zhelezobeton. 1962. №6. pp. 27-28.



3. Kolchunov Vl. I., Zazdravnykh E.I. Raschetnaya model' «nagel'nogo effekta» v zhelezobetonnom elemente [The estimated model of the "pin effect" in a reinforced concrete element]. Izvestiya vuzov: Stroitel'stvo i arkhitektura. 1996. №10. pp. 18-25.
4. Baykov V. N., Sigalov E. E., Zhelezobetonnye konstruktsii [Reinforced concrete structures]. Ucheb. dlya vuzov. 5-e izd., pererab. i dop. M.: Stroyizdat, 1991. 767 p.
5. Mailyan R.L., Mailyan D.R., Veselev Yu.A., Stroitel'nye konstruktsii, [Building construction]. Uchebnoe posobie. Izd.2-e Rostov n/D: Feniks, 2005. 880p.
6. Bekkiev M.Yu., Soprotivlenie betona i armatury silovym vozdeystviyam razlichnykh vidov, [Resistance of concrete and reinforcement power impacts of various types of]. Rostov n/D, RGSU, 2002. 250p.
7. S.L. Fomin, K. Sheykhmus, I.A. Plakhotnikova. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2666/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2666/).
8. D.R. Mailyan, P.P. Pol'skoy, S.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2016, №3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3654](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3654).
9. Tsoukantas S.G., Tassios T.P. Shear Resistance of Connections between Reinforced Concrete Linear Precast Elements. ASJ Struktural Journal, 1989 -59 p.
10. Sieczkowski J. Projektovanie budynkov vysokich z betonu. Warszawa, Arkady, 1976. 135 p.