

УДК 624.012.45

**РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ НА ПРОДАВЛИВАНИЕ
УЗЛОВЫХ ЗОН ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ,
АРМИРОВАННЫХ ЛИСТОВОЙ И СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРОЙ**

**CALCULATION OF STRENGTH ON THE PROMOTION
OF NODE ZONES OF REINFORCED CONCRETE PLATES
REINFORCED BY SHEET AND ROD ARMATURE**

А.Л. МОЧАЛОВ

A.L. MOCHALOV

(Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)

(National Research Moscow State University of Civil Engineering)

E-mail: mochalov12@mail.ru

В статье рассматривается расчет прочности узловых зон железобетонных плит (фундаментной плиты, плиты перекрытия), армированных листовой и стержневой арматурой. Представлен расчет фрагмента узловой зоны этих плит с исходными данными. Показано, что сопротивление бетона срезу в стесненных условиях для фундаментной плиты, благодаря листовому армированию, повышается в 2,4 раза, а для плиты перекрытия – в 2,6 раза. Показано боковое давление – эффект "обоймы" от действия листовой арматуры. Определено значение прочности бетона на срез в зоне продавливания. Приведен расчет на срез листовой арматуры. Представлен расчет коэффициента косвенного армирования для узловой зоны.

Представлен расчет несущей способности и продавливающей силы, воспринимаемой бетоном с учетом косвенного армирования.

The article discusses the calculation of the strength of the nodal zones of reinforced concrete slabs (base slab, floor slab), reinforced sheet and core reinforcement. The calculation of the fragment of the nodal zone of these plates with the

original data is presented. It is shown that the resistance of concrete to the slice in cramped conditions for the base plate, due to sheet reinforcement, increases to 2.4 times, and for the floor plate -2.6 times. The lateral pressure-effect of the “clip” from the action of the leaf reinforcement is shown. The value of concrete strength for shear in the breakdown zone has been determined. The calculation for shear reinforcement sheet is given. The calculation of the coefficient of indirect reinforcement for the nodal zone is presented.

The calculation of the bearing capacity and the pushing force perceived by concrete with regard to indirect reinforcement is presented.

Ключевые слова: железобетонная фундаментная плита, плита перекрытия, узловая зона плиты, продавливание.

Keywords: reinforced foundation slab, floor slab, nodal zone slab, pushing.

Использование листовой арматуры для обеспечения прочности на продавливание является актуальным для зданий текстильной промышленности с большой временной нагрузкой.

Проверка прочности узловых зон плиты перекрытия и фундаментной плиты проводилась в соответствии с расчетным сочетанием усилий (PCY) по результатам пространственного расчета каркаса и грунтового основания.

Методика расчета основывается на экспериментально-теоретических исследованиях, проведенных в период 2006-2015 гг. в МГСУ [1...3].

В рамках указанного исследования было доказано, что листовое армирование работает на срез, а также выполняет функцию косвенного армирования, создавая условия объемного сжатия под грузовой площадкой в узловых зонах железобетонных плит [4...6].

Этот же эффект, но с учетом работы бетона в стесненных условиях, а также при различных динамических нагрузках, рассмотрен в [7...10].

Различные модификации определения сопротивления узловых зон прогрессирующему разрушению различных плит исследованы в [11...15].

Рассмотрим работу фундаментной плиты (рис. 1).

Исходные данные:

- максимальное усилие от колонны каркаса $N=6295$ кН;
- толщина плиты 400 мм;
- размеры узловой зоны 2000×3000 мм;

- количество элементов листового армирования 8 шт;
- количество площадок среза (пересечений грани колонны) 8 шт;
- диаметр колонны 710 мм.

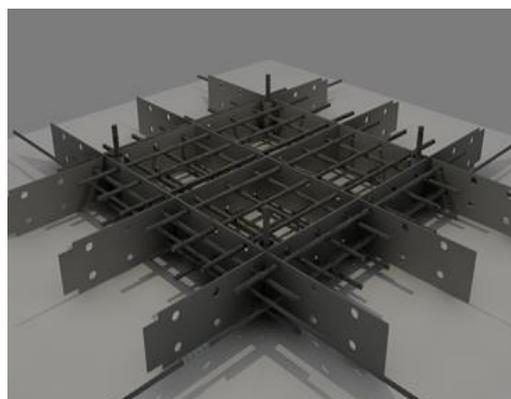


Рис. 1

Расчеты на срез листовой арматуры ведем в соответствии с СП 16.13330.2011:

$$Q_{cp} = 0,8 \cdot 1972 \cdot 0,35 \cdot 8 = 4417,28 \text{ кН.}$$

Продавливающая сила, воспринимаемая бетоном для расчетного сечения с периметром:

$$u = 2 \cdot 3,14 \cdot (0,71 + 0,35) = 6,657 \text{ м}$$

и площадью расчетного сечения бетона при продавливании:

$$A_b = u h_0 = 6,657 \cdot 0,35 = 2,34 \text{ м}^2,$$

в соответствии с СП 63.13330.2012 составит:

$$F_{b,ult} = R_{bt} A_b = 1,15 \cdot 2,33 = 2679 \text{ кН}.$$

Продавливающая сила, воспринимаемая бетоном с учетом косвенного армирования.

Коэффициент косвенного армирования для узловой зоны определяем как отношение объема листового армирования и бетона узловой зоны:

$$\mu_{sw} = \frac{V_s}{V_b} = \frac{(4 \cdot 40 \cdot 0,8 \cdot 300 + 4 \cdot 40 \cdot 0,8 \cdot 200)}{(40 \cdot 200 \cdot 300)} = 0,0267.$$

Площадь горизонтального сечения, ограниченного расчетным сечением:

$$A_b = \frac{(0,71 + 0,4)^2 \cdot 3,14}{4} = 0,9672 \text{ м}^2,$$

на которое действует напряжение:

$$\sigma_x = \frac{N}{A_b} = 6,49 \text{ МПа}.$$

Боковое давление – эффект "обоймы" от действия листовой арматуры:

$$\sigma_y = \mu_{sw} R_{sw} = 0,0267 \cdot 230 = 6,14 \text{ МПа}.$$

Значение прочности бетона. Срез в зоне продавливания определяем по критерию прочности:

$$R_{cp} = R_{bt} \sqrt{\left(1 + \frac{\sigma_x}{R_{bt}}\right) + \left(1 + \frac{\sigma_y}{R_{bt}}\right)},$$

$$R_{cp} = 1,15 \sqrt{\left(1 + \frac{6,4}{1,15}\right) + \left(1 + \frac{6,14}{1,15}\right)} = 4,13 \text{ МПа}.$$

Продавливающая сила, воспринимаемая бетоном с учетом косвенного армирования:

$$F_{b,ult} = R_{cp} A_b = 4,13 \cdot 6,657 \cdot 0,35 = 9,6 \text{ МН} = 9600 \text{ кН}.$$

Продавливающая сила, воспринимаемая реактивным отпором грунта.

Площадь, по которой действуют реактивные напряжения отпора грунта по ниж-

ней грани условной пирамиды продавливания:

$$A_{soil} = (0,71 + 2 \cdot 0,40)^2 \cdot \frac{3,14}{4} = 1,7899 \text{ м}^2.$$

Продавливающая сила, воспринимаемая отпором грунта:

$$F_{soil} = A_{soil} R_z = 1,7899 \cdot 0,57 = 1020 \text{ кН}.$$

Несущая способность узловой зоны продавливанию:

$$Q_{\Sigma} = Q_{cp} + F_{b,ult} + F_{soil} = 4417,28 + 9622,69 + 1020,24 = 15060,2 \text{ кН} > N = 62950 \text{ кН}.$$

Условие прочности выполнено.

Коэффициент запаса $k = 2,4$.

Рассмотрим работу плиты перекрытия (рис. 2).

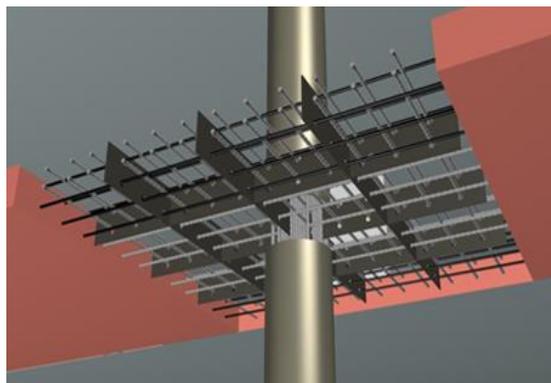


Рис. 2

Исходные данные:

- максимальное усилие от колонны каркаса $N = 2640 \text{ кН}$;
- толщина плиты 250 мм ;
- размеры узловой зоны в плане $2000 \times 3000 \text{ мм}$;
- количество элементов листового армирования 8 шт ;
- количество площадок среза (пересечений грани колонны) 8 шт ;
- диаметр колонны 500 мм .

Расчеты на срез листовой арматуры ведем в соответствии с СП 16.13330.2011:

$$Q_{cp} = 0,8 \cdot 1972 \cdot 0,22 \cdot 8 = 2776,58 \text{ кН}.$$

Продавливающая сила, воспринимаемая бетоном для расчетного сечения с периметром:

$$u = 2 \cdot 3,14 \cdot (0,5 + 0,22) = 4,522 \text{ м.}$$

Площадь расчетного сечения бетона при продавливании:

$$A_b = u h_0 = 4,522 \cdot 0,22 = 0,99484 \text{ м}^2,$$

$$\mu_{sw} = \frac{V_s}{V_b} = \frac{4 \cdot 22 \cdot 0,8 \cdot 300 + 4 \cdot 22 \cdot 0,8 \cdot 200}{22 \cdot 200 \cdot 300} = 0,0267.$$

Площадь горизонтального сечения, ограниченного расчетным сечением:

$$A_b = (0,50 + 0,22)^2 \cdot \frac{3,14}{4} = 0,40694 \text{ м}^2,$$

на которое действует напряжение:

$$\sigma_x = \frac{N}{A_b} = \frac{2640}{0,40694} = 6,49 \text{ МПа.}$$

Боковое давление – эффект "обоймы" от действия листовой арматуры:

$$\sigma_y = \mu_{sw} R_{sw} = 0,0267 \cdot 230 = 6,14 \text{ МПа.}$$

Значение прочности бетона на срез в зоне продавливания определяем по критерию прочности:

$$R_{cp} = 1,15 \sqrt{\left(1 + \frac{6,49}{1,15}\right) + \left(1 + \frac{6,14}{1,15}\right)} = 4,13 \text{ МПа.}$$

Продавливающая сила, воспринимаемая бетоном с учетом косвенного армирования:

$$F_{b,ult} = R_{cp} A_b = 4,13 \cdot 0,99484 = 4108 \text{ кН.}$$

Несущая способность узловой зоны плиты перекрытия продавливанию:

$$Q_{\Sigma} = Q_{cp} + F_{b,ult} = 2776,58 + 4108,68 = 6885,27 \text{ кН} > N = 2640,00 \text{ кН.}$$

Условие прочности выполнено.

$$F_{b,ult} = R_{bt} A_b = 1,15 \cdot 0,99484 = 1144,07 \text{ кН.}$$

Продавливающая сила, воспринимаемая бетоном с учетом косвенного армирования.

Коэффициент косвенного армирования для узловой зоны:

$$\text{Коэффициент запаса } k = \frac{688527}{264000} = 2,6.$$

В Ы В О Д Ы

1. Доля продавливающей силы, воспринимаемой листовой арматурой на срез, составляет значительную долю (до 90%) от полного значения продавливающей силы.

2. Учет косвенного армирования позволяет обеспечить предотвращение продавливания благодаря высокому значению прочности бетона на срез: $R_{cp} = 4,13 \text{ МПа}$.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Отчет о НИР: Экспериментальное исследование по определению напряженно-деформированного состояния и разрушающих нагрузок толстых железобетонных плит, армированных стержневой и листовой арматурой, при воздействии локальной нагрузки. По договору: № 112-31/07 от 04.06.07 с ООО СК "Практик", ФГУП ЦНИИ им. Акад. А.Н. Крылова. – СПб, 2007.

2. Отчет о НИР: Исследование НДС железобетонной плиты при изгибе под действием локальной поперечной нагрузки методом конечных элементов по договору: № 112-31/07 от 04.06.07 с ООО СК "Практик", ФГУП ЦНИИ им. Акад. А.Н. Крылова. – СПб, 2007.

3. *Смирнов В.А.* Расчетное обоснование работы бетона в составе воротниковых зон плит перекрытий. ООО "Бюро Внедрения". – М., 2015.

4. Патент РФ на полезную модель №73891. Плитная железобетонная конструкция/Мочалов А.Л., Пекин Д.А. Заявл.20.09.2006. Опубл.10.06.2008. Бюл. №16.

5. *Грановский А.В., Мочалов А.Л.* К вопросу о прочности железобетонных плит, усиленных листовой и стержневой арматурой, при действии локальной нагрузки// ПГС. – 2017, №1. С.105...109.

6. Грановский А.В., Мочалов А.Л. Новое конструктивное решение арматурного каркаса узловых зон железобетонных плит с применением листового проката // Жилищное строительство. – 2016, №12, С.37...40.

7. Тамразян А.Г. К расчету несущей способности железобетонных колонн с учетом диаграммы деформирования ограниченного бетона // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 5. С. 217...220.

8. Tamrazyan A., Avetisyan L. Comparative analysis of analytical and experimental results of the strength of compressed reinforced concrete columns under special combinations of loads // MATEC Web of Conferences. – 86, 2016, paper № 01029.

9. Tamrazyan A.G. The Assessment of Reliability of Punching Reinforced Concrete Beamless Slabs under the Influence of a Concentrated Force at High Temperatures // Procedia Engineering. – 153, 2016. P.715...720.

10. Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Experimental and Theoretical Study of Reinforced Concrete Elements under Different Characteristics of Loading at High Temperatures // Procedia Engineering. – 153, 2016. P.721...725.

11. Choi K.K., Park H.G. and Kim H.M. Shear strength model for slab-column connections // J. Korea Concr. Inst. – 22, 2012. P.585...593.

12. Corely W.G. and Hawkins N.M. Shear head reinforcement for slabs // ACI J. Proc. – 65, 1968. P.811...824.

13. Park H.G., Ahn K.S., Choi K.K. et al. Lattice shear reinforcement for slab-column connections // ACI Struct. J. – 104, 2007. P.294...303.

14. Park H.G., Kim Y.N., Song J.G. et al. Lattice shear reinforcement for enhancement of slab-column connections // J. Struct. Eng. ASCE. – 137, 2012. P.425...437.

15. Park H.G., Choi K.K. and Wight J.K. Strain-based shear strength model for slender beams without web reinforcement // ACI Struct. J. – 103, 2006. P.783...793.

REFERENCES

1. Отчет о NIR: Экспериментальное исследование по определению напряженно-деформированного состояния и разрушительных нагрузок толстых железобетонных плит, армированных стержневой и листовой арматурой, при воздействии локальной нагрузки. По договору: № 112-31/07 от 04.06.07 с ООО СК "Практик", ФГУП ТсНИИ им.Акад. А.Н. Крылова. – СПб, 2007.

2. Отчет о NIR: Исследование NDS железобетонной плиты при изгибе под действием локальной поперечной нагрузки методом конечных элементов по договору: № 112-31/07 от 04.06.07 с ООО СК "Практик", ФГУП ТсНИИ им. Акад. А.Н. Крылова. – СПб, 2007.

3. Smirnov V.A. Raschetnoe obosnovanie raboty betona v sostave vorotnikovyykh zon плит perekrytiy. ООО "Byuro Vnedreniya". – М., 2015.

4. Patent RF na poleznuyu model' №73891. Plitnaya zhelezobetonnaya konstruktziya/Mochalov A.L., Pekin D.A. Zayavl.20.09.2006. Opubl.10.06.2008. Byul. №16.

5. Granovskiy A.V., Mochalov A.L. K voprosu o prochnosti zhelezobetonnykh плит, usilennykh listovoy i sterzhnevoy armaturoy, pri deystvii lokal'noy nagruzki // PGS. – 2017, №1. S.105...109.

6. Granovskiy A.V., Mochalov A.L. Novoe konstruktivnoe reshenie armaturnogo karkasa uzlovykh zon zhelezobetonnykh плит s primeneniem listovogo prokata // Zhilishchnoe stroitel'stvo. – 2016, №12, S.37...40.

7. Tamrazyan A.G. K raschetu nesushchey sposobnosti zhelezobetonnykh kolonn s uchetom diagrammy deformirovaniya ogranichennogo betona // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2018, № 5. S. 217...220.

8. Tamrazyan A., Avetisyan L. Comparative analysis of analytical and experimental results of the strength of compressed reinforced concrete columns under special combinations of loads // MATEC Web of Conferences. – 86, 2016, paper № 01029.

9. Tamrazyan A.G. The Assessment of Reliability of Punching Reinforced Concrete Beamless Slabs under the Influence of a Concentrated Force at High Temperatures // Procedia Engineering. – 153, 2016. P.715...720.

10. Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Experimental and Theoretical Study of Reinforced Concrete Elements under Different Characteristics of Loading at High Temperatures // Procedia Engineering. – 153, 2016. P.721...725.

11. Choi K.K., Park H.G. and Kim H.M. Shear strength model for slab-column connections // J. Korea Concr. Inst. – 22, 2012. P.585...593.

12. Corely W.G. and Hawkins N.M. Shear head reinforcement for slabs // ACI J. Proc. – 65, 1968. P.811...824.

13. Park H.G., Ahn K.S., Choi K.K. et al. Lattice shear reinforcement for slab-column connections // ACI Struct. J. – 104, 2007. P.294...303.

14. Park H.G., Kim Y.N., Song J.G. et al. Lattice shear reinforcement for enhancement of slab-column connections // J. Struct. Eng. ASCE. – 137, 2012. P.425...437.

15. Park H.G., Choi K.K. and Wight J.K. Strain-based shear strength model for slender beams without web reinforcement // ACI Struct. J. – 103, 2006. P.783...793.

Рекомендована кафедрой железобетонных и каменных конструкций. Поступила 16.04.19.