УДК 624.073.135

В.А. Кремнев, В.С. Кузнецов*, Ю.А. Талызова*

ООО «ИнформАвиаКоМ», *ФГБОУ ВПО «МГСУ»

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ НА ПРОДАВЛИВАНИЕ ПЛИТЫ БЕЗБАЛОЧНОГО БЕЗКАПИТЕЛЬНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ

Приведены расчеты на продавливание монолитного безбалочного перекрытия в соответствии с действующими нормами. Рассмотрено влияние различных факторов на обеспечение прочности стыка колонны и перекрытия, таких как класс бетона, толщина плиты перекрытия, наличие поперечного армирования. Определены предельные равномерно распределенные нагрузки для плит с различной сеткой колонн. Целью исследования является расширение применения безкапительных перекрытий.

Ключевые слова: продавливание, монолит, безбалочное перекрытие, прочность, несущая способность, временная нагрузка, поперечное армирование, сосредоточенная сила, класс бетона.

Наиболее существенными обстоятельствами, ограничивающими применение безбалочных перекрытий с пролетами, превышающими 5 м, армированных ненапрягаемой арматурой, являются сложности с обеспечением прочности на продавливание, а также с удовлетворением требований второй группы предельных состояний [1—5].

Расчет прочности плиты на продавливание без поперечной арматуры при действии сосредоточенной силы производят из условия, что перерезывающие силы полностью воспринимаются бетоном [6—9].

$$F \leq F_{b,ult} \quad (1)$$

где F — сосредоточенная сила от внешней нагрузки; $F_{b,ult}$ — предельное усилие, воспринимаемое бетоном.

$$F_{b,ult} = u h_0 \quad (2)$$

где h_0 — приведенная рабочая высота сечения,

$$h_0 = 0,5(h_{0x} + h_{0y}), \quad (3)$$

где $h_{0x} + h_{0y}$ — рабочая высота сечения при продольной арматуре, расположенной вдоль осей X и Y ; u — периметр расчетного сечения.

При колоннах прямоугольного сечения с размерами $a \times b$ периметр равен

$$u = 2(b + a + 2h_0). \quad (4)$$

При колонне квадратного сечения со стороной b периметр $u = 4(b + h)$.

Расчет плиты на продавливание с поперечной арматурой при действии сосредоточенной силы производят согласно [4, 5] из условия

$$F \leq F_{b,ult} + F_{sw,ult} \quad (5)$$

где $F_{sw,ult}$ — предельное усилие воспринимаемое поперечной арматурой при продавливании.

В соответствии с рекомендациями [8] максимальное значение F не должно превышать $2F_{b,ult}$, т.е.

$$F = F_{b,ult} + F_{sw,ult} \leq 2F_{b,ult} \quad (6)$$

Вычисляя значения F при различных высотах плиты и классах бетона, можно определить предельные равномерно распределенные нагрузки для плит с различной сеткой колонн.

В настоящей работе были выполнены расчеты прочности безбалочных плит на продавливание при толщинах 20...25 см, классах бетона В15, В20, В25, В30 и колоннах квадратного сечения со стороной $b = 30$ см. Рассматривались ячейки 5×5 ; 6×6 ; 7×7 ; 8×8 ; 9×9 м. Учет изгибающих моментов не производился. Расстояние от центра тяжести продольной арматуры до растянутой грани во всех расчетах принималось 35 мм ($h_0 = 165$ мм).

Предельная расчетная полная равномерно распределенная нагрузка q определялась по формуле

$$q = F/A, \quad (7)$$

где A — площадь, рассматриваемой ячейки.

На рис. 1 приведены результаты вычислений предельных усилий $F_{b,ult}$, воспринимаемых бетоном, при различных классах бетона и фиксированных геометрических размерах плиты и колонны.

Рис. 1. Предельное усилие продавливания при различных классах бетона, толщинах плиты и отсутствии или наличии поперечного армирования

При анализе результатов вычислений принималось во внимание, что расчетная постоянная нагрузка складывалась из расчетной нагрузки $g_{пл}$ от собственного веса плиты и минимальной нагрузки от начинки пола или кровли ($g_n = 2$ кН/м²), а максимальная расчетная временная равномерно распределенная нагрузка v определялась по формуле

$$V = q - (g_{пл} + g_n). \quad (8)$$

На графиках рис. 2 для квадратной ячейки 5×5 м даны максимальные временные расчетные равномерно распределенные нагрузки при различных классах бетона, толщинах плиты и сечении колонны 30×30 см.

Рис. 2. Расчетная полезная нагрузка, кН/м^2 , для ячейки 5×5 м с наличием или отсутствием поперечной арматуры

Из графиков видно, что при назначенных размерах ячейки и сечения колонны прочность на продавливание обеспечивается во всем диапазоне представленных толщин плиты и классов бетона, даже без применения поперечной арматуры. Так, для плиты толщиной 20 см и класса бетона B25 максимально возможная временная нагрузка составляет $5,4 \text{ кН/м}^2$ (540 кг/м^2) без поперечной арматуры и $18,3 \text{ кН/м}^2$ (1830 кг/м^2) при ее наличии, что вполне соответствует многим эксплуатационным нагрузкам [6].

На рис. 3 (ячейка 9×9 м) представлены значения максимальных временных расчетных равномерно распределенных нагрузок при тех же условиях.

Из графиков видно, что без применения поперечной арматуры прочность на продавливание не обеспечивается во всем диапазоне представленных толщин плиты и классов бетона [10].

Даже при наличии поперечной арматуры плиты толщами 20 и 21 см являются несостоятельными по прочности на продавливание [10—15]. Для плиты толщиной 20 см из бетона B25 с поперечным армированием максимально возможная временная нагрузка составляет $0,5 \text{ кН/м}^2$ (50 кг/м^2), а плиты толщиной 25 см — $2,6 \text{ кН/м}^2$ (260 кг/м^2).

Выводы. 1. При размерах ячеек до 5×5 м включительно, возможно использование всех вышеуказанных классов бетона и толщин плит.

2. При ячейках 9×9 м и более применение безкапитальных перекрытий проблематично, с точки зрения обеспечения прочности на продавливание без специальных конструктивных решений.

3. К современным мероприятиям, расширяющим применение безкапитальных перекрытий, относятся использование высокопрочных бетонов, применение в зоне стыка жесткой арматуры, дисперсного армирования, а также использование предварительного напряжения арматуры.

4. Полученные результаты можно использовать при проектировании капитальных и безкапитальных монолитных перекрытий: приведенные диапазоны различных временных нагрузок можно использовать для упрощения расчета на продавливание.

Рис. 3. Максимальные расчетные временные нагрузки (площадь ячейки 81 м²)

Библиографический список

1. Погребной И.О., Кузнецов В.Д. Безригельный предварительно напряженный каркас с плоским перекрытием // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 3. С. 52—55. Режим доступа: http://engstroy.spb.ru/index_2010_03/pogrebnoy_prednapryazheniye.pdf. Дата обращения: 22.01.2014.
2. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. М. : Стройиздат, 1996. 413 с.
3. Беглов А.Д., Санжаровский Р.С. Теория расчета железобетонных конструкций на прочность и устойчивость. Современные нормы и Евростандарты. СПб. : СПбГАСУ ; М. : Изд-во АСВ, 2006. 221 с.
4. Вольмир А.С. Гибкие пластинки и оболочки. М. : ГИТТЛ, 1956. 420 с.
5. Wicczorek M. Influence of Amount and Arrangement of Reinforcement on the Mechanism of Destruction of the Corner Part of a Slab-Column Structure // Procedia Engineering, 2013. Vol. 57. Pp. 1260—1268. Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813008928>. Дата обращения: 22.01.2014.
6. Ватин И.Н., Иванов А.Д. Сопряжение колонны и безребристой бескапитальной плиты перекрытия монолитного железобетонного каркасного здания. СПб., 2006. 82 с. Режим доступа: http://www.engstroy.spb.ru/library/ivanov_kolonna_i_perekrytie.pdf. Дата обращения: 22.01.2014.
7. Самохвалова Е.О., Иванов А.Д. Стык колонны с безбалочным бескапитальным перекрытием в монолитном здании // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 3. С. 33—37. Режим доступа: http://www.engstroy.spb.ru/index_2009_03/samohvalova_styk.pdf. Дата обращения: 22.01.2014.
8. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с безбалочными перекрытиями. М. : Стройиздат, 1979. 50 с.
9. Тихонов И.Н. Армирование элементов монолитных железобетонных зданий. М. : НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, 2007. 168 с.
10. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. 2-е изд. М. : Высш. шк., 1968. 512 с.

11. Zenunovica D., Folic R. Models for behavior analysis of monolithic wall and precast or monolithic floor slab connections // Engineering Structures. July 2012. Vol. 40. Pp. 466—478. Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029612001241>. Дата обращения: 10.01.2014.
12. Soudki K., El-Sayed A.K., VanZwolc T. Strengthening of concrete slab-column connections using CFRP strips // Journal of King Saud University — Engineering Sciences. January 2012. Vol. 24. No. 1. Pp. 25—33. Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018363911000559>. Дата обращения: 10.04.2013.
13. Paillé J.-M. Eurocode. Calcul des structures en béton. Guide d'application. Paris : Afnor, Eyrolles, octobre 2013. 718 p. Режим доступа: <http://www.editions-eyrolles.com/Livre/9782212137330/calcul-des-structures-en-beton>. Дата обращения: 10.01.2014.
14. Altenbach H., Huang C., Naumenko K. Creep-damage predictions in thin-walled structures by use of isotropic and anisotropic damage models // The journal of Strain Analysis for Engineering Design. 2002. Vol. 37. No. 3. Pp. 265—275.
15. Altenbach H., Morachkovsky O., Naumenko K., Sychov A. Geometrically nonlinear bending of thin-walled shells and plates under creep-damage conditions // Archive of Applied Mechanics. 1997. Vol. 67. No. 5. Pp. 339—352.

Поступила в редакцию в апреле 2014 г.

Об авторах: **Кремнев Василий Анатольевич** — генеральный директор, ООО «ИнформАвиаКоМ», 141074, Московская область, г. Королев, ул. Пионерская, д. 2, оф. 1, 8 (495) 645-20-62, info@iakom.ru;

Кузнецов Виталий Сергеевич — кандидат технических наук, профессор кафедры архитектурно-строительного проектирования, Мытищинский филиал **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 141006, Московская область, г. Мытищи, Олимпийский проспект, д. 50, 8 (495) 583-07-65, visku1943@km.ru;

Талызова Юлия Александровна — ассистент кафедры архитектурно-строительного проектирования, Мытищинский филиал **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 141006, Московская область, г. Мытищи, Олимпийский проспект, д. 50, yuliatalyzova@yandex.ru.

Для цитирования: *Кремнев В.А., Кузнецов В.С., Талызова Ю.А.* Расчет прочности на продавливание плиты безбалочного безкапительного перекрытия // Вестник МГСУ. 2014. № 10. С. 34—40.

V.A. Kremnev, V.S. Kuznetsov, Yu.A. Talyzova

BURST STRENGTH ANALYSIS FOR A PLATE OF GIRDERLESS CAPITELLESS FLOOR

The paper presents calculations of the punching girderless monolithic slab with transverse reinforcement under the action of a concentrated force in accordance with the applicable regulations. The authors specify the circumstances that may limit the use of the certain sizes of spans of beamless floors. The influence of various factors on ensuring the strength of the joints of columns and ceiling is observed, such as the class of the concrete slab thickness, the presence of transverse reinforcement.

In this paper the calculations of the burst strength were performed for girderless slabs of the thickness 20, 21, 22, 23, 24 and 25 cm of concrete classes B15, B20, B25, B30 and columns of square section with the side $b = 30$ cm. The cells of 5×5 , 6×6 , 7×7 , 8×8 , 9×9 m were analyzed. Bending moments were not taken into account.

The utmost bursting effort for various classes of concrete slab thickness and the absence or presence of transverse reinforcement were discovered. The limiting uniformly distributed loads for plates with different grid of columns were calculated. It was found out that in case of the size of the cells up to 5 x 5 m inclusively, you can use all the above concrete classes and slab thicknesses. But in case of the cells of 9 x 9 m and more the use of overlap without capitals is problematic because of the impossibility to ensure the burst strength without special design solutions. Some of contemporary ways to expand the use of overlap without capitals are: the use of high-strength concretes, application of stiff reinforcement in the area of joint of stiff reinforcement, fiber reinforcement and the use of prestressed reinforcement.

Key words: punching, monolith, beamless overlap, strength, bearing capacity, live load, transverse reinforcement, concentrated force, concrete class.

References

1. Pogrebnoy I.O., Kuznetsov V.D. Bezrigel'nyy predvaritel'no napryazhennyy karkas s ploskim perekrytiem [Beamless Prestressed Frame with flat S;ab]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Civil Engineering Journal]. 2010, no. 3. Pp. 52—55. Available at: http://engstroy.spb.ru/index_2010_03/pogrebnoy_prednapryazheniye.pdf. Date of access: 5.12.2014. (in Russian)
2. Karpenko N.I. *Obshchie modeli mekhaniki zhelezobetona* [General Models of Reinforced Concrete Mechanics]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1996, 413 p. (in Russian)
3. Beglov A.D., Sanzharovskiy R.S. *Teoriya rascheta zhelezobetonnykh konstruksiy na prochnost' i ustoychivost'*. *Sovremennyye normy i Evrostandarty* [Theory of Strength and Stability Calculation for Reinforced Concrete Structures. Modern Norms and European Standards]. Saint Petersburg, SPbGASU Publ.; Moscow, ASV Publ., 2006, 221 p. (in Russian)
4. Vol'mir A.S. *Gibkie plastinki i obolochki* [Flexible Plates and Shells]. Moscow, GITTL Publ. 1956, 420 p. (in Russian)
5. Mirosław Wieczorek. Influence of Amount and Arrangement of Reinforcement on the Mechanism of Destruction of the Corner Part of a Slab-Column Structure. *Procedia Engineering*. 2013, vol. 57, pp. 1260—1268. Available at: <http://www.sciencedirect.com>. Date of access: 5.12.2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.159>.
6. Vatin I.N., Ivanov A.D. *Sopryazhenie kolonny i bezrebristoy beskapitel'noy plity perekrytiya monolitnogo zhelezobetonного karkasnogo zdaniya* [Pairing of Columns And Slabs Without Edges And Without Capitals Monolithic In A Reinforced Concrete Frame Building]. Saint Petersburg, 2006, 82 p. Available at: http://www.engstroy.spb.ru/library/ivanov_kolonna_i_perekrytie.pdf. Date of access: 22.01.2014. (in Russian)
7. Samokhvalova E.O., Ivanov A.D. Styk kolonny s bezbalochnym beskapitel'nyy perекrytiem v monolitnom zdanii [Joint of Columns with Beamless Noncap Overlap in a Monolithic Building]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Civil Engineering Journal]. 2009, no. 3, pp. 33—37. Available at: http://www.engstroy.spb.ru/index_2009_03/samokhvalova_styk.pdf. Date of access: 22.01.2014. (in Russian)
8. *Rukovodstvo po proektirovaniyu zhelezobetonnykh konstruksiy s bezbalochnymi perekrytiyami* [Guidelines for the Design of Concrete Structures with Beamless Floors]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1979, 50 p. (in Russian)
9. Tikhonov I.N. *Armirovanie elementov monolitnykh zhelezobetonnykh zdaniy* [Reinforcement of the Elements of Monolithic Reinforced Concrete Buildings]. Moscow, NIIZhB im. A.A. Gvozdeva Publ., 2007, 168 p. (in Russian)
10. Bezukhov N.I. *Osnovy teorii uprugosti, plastichnosti i polzuchesti* [Fundamentals of the Theory of Elasticity and Creep]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1968, 512 p. (in Russian)
11. Zenunovica D., Folic R. Models for Behavior Analysis of Monolithic Wall and Precast or Monolithic Floor Slab Connections. *Engineering Structures*. July 2012, vol. 40, pp. 466—478. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029612001241>. Date of access: 10.01.2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.03.007>.
12. Soudki K., El-Sayed A.K., VanZwolc T. Strengthening of Concrete Slab-Column Connections Using CFRP Strips. *Journal of King Saud University — Engineering Sciences*. January 2012, vol. 24, no. 1, pp. 25—33. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1018363911000559>. Date of access: 10.04.2013.

13. Paillé J.-M. Eurocode. Calcul des structures en béton. Guide d'application. Paris, Afnor, Eyrolles, octobre 2013, 718 p. Available at: <http://www.editions-eyrolles.com/Livre/9782212137330/calcul-des-structures-en-beton>. Date of access: 10.01.2014.

14. Altenbach H., Huang C., Naumenko K. Creep-damage Predictions in Thin-Walled Structures by Use of Isotropic and Anisotropic Damage Models. The journal of Strain Analysis for Engineering Design. 2002, vol. 37, no. 3, pp. 265—275. DOI: <http://dx.doi.org/10.1243/0309324021515023>.

15. Altenbach H., Morachkovsky O., Naumenko K., Sychov A. Geometrically Nonlinear Bending of Thin-Walled Shells and Plates under Creep-Damage Conditions. Archive of Applied Mechanics. 1997, vol. 67, no. 5, pp. 339—352. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s004190050122>.

About the authors: **Kremnev Vasiliy Anatol'evich** — Director General, LLC "In-formAviaKoM", 2 Pionerskaya str., Korolev, Moscow Region, 141074, Russian Federation; +7 (495) 645-2062; info@iakom.ru;

Kuznetsov Vitaliy Sergeevich — Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Architectural and Construction Design, Mytishchi Branch, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 50 Olimpiyskiy prospect, Mytishchi, Moscow Region, 141006, Russian Federation; +7 (495) 583-07-65; visku1943@km.ru;

Talyzova Yulia Aleksandrovna — Assistant Lecturer, Department of Architectural and Construction Design, Mytishchi Branch, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 50 Olimpiyskiy prospect, Mytishchi, Moscow Region, 141006, Russian Federation; yuliatalyzova@yandex.ru.

For citation: Kremnev V.A., Kuznetsov V.S., Talyzova Yu.A. Raschet prochnosti na prodavlivanie plity bezbalohnogo bezkapitel'nogo perekrytiya [Burst Strength Analysis for a Plate of Girderless Capitelless Floor]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2014, no. 10, pp. 34—40. (in Russian)