

УДК 624.012.45:624.92

СИЛОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОНОЛИТНЫХ ПЛОСКИХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ КОЛОННАМИ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ

© 2012 В.Б. Филатов

Самарский государственный архитектурно-строительный университет

Поступила в редакцию 01.12.2012

В работе рассматривается влияние формы поперечного сечения колонны железобетонного безбалочного каркаса на характер деформирования плоской монолитной плиты в области расчетного контура при продавливании. На основе анализа экспериментальных данных разработана гипотеза о характере деформирования плоской плиты в области, прилегающей к колонне, и предложена методика определения величины расчетного контура в зависимости от формы поперечного сечения колонны. Показано, что предлагаемая методика позволяет повысить конструктивную надежность и безопасность при проектировании монолитных безбалочных каркасов зданий и сооружений.

Ключевые слова: *монолитный железобетон, безбалочный каркас, плоская плита перекрытия, колонна, продавливание*

Сегодня перед строительным комплексом России стоит задача значительного увеличения объемов строительства без потери качества и в предельно сжатые сроки. Это связано, в том числе, и с реализацией национальных проектов. Обеспечить решение поставленных задач возможно лишь на основе использования имеющихся современных строительных технологий и создания новых, реализующих возможности, предоставляемые современными архитектурно-планировочными решениями, новыми материалами, технологиями проектирования зданий и сооружений. В качестве одной из современных строительных технологий, позволяющих реализовать перечисленные возможности, можно рассматривать монолитное строительство, получившее стремительное развитие в течение двух последних десятилетий. Стремительность развития технологии монолитного строительства потребовала столь же быстрого обеспечения, в том числе современными проектными решениями, одним из которых является монолитный каркас с плоскими безбалочными перекрытиями. Нормативная база для их расчета и конструирования появилась сравнительно недавно [1, 2], поэтому опыт проектирования, строительства и экспериментальных исследований служит основой для дальнейшего совершенствования нормативной документации.

При расчете железобетонных плоских плит на продавливание в нормативных документах [1, 3, 4] рассматривается расчетная модель, в которой разрушение происходит по поверхности так называемого «тела продавливания», вследствие преодоления предела прочности бетона растяжению (срezu). Эта расчетная модель имеет наибольшее распространение в нормативных документах разных стран, однако имеются и другие предложения. В качестве «тела продавливания» рассматривается

геометрическая фигура, форма и размеры которой определяются формой и размерами площадки нагружения, а также углом наклона прямолинейной образующей, соединяющей периметр площадки нагружения с противоположной гранью плиты. В расчетной модели рассматривается расчетное поперечное сечение нормальное к плоскости плиты и расположенное на расстоянии $h_0/2$ ($1,5h_0$ в [3]) от граней колонны или контура площадки нагружения. Усилие продавливания, создающее на поверхности расчетного контура поперечного сечения касательные напряжения, должно быть воспринято за счет сопротивления бетона растяжению. Работа поперечной арматуры в пределах расчетного контура поперечного сечения и действие изгибающего момента в данной статье не рассматриваются.

Данная модель обеспечивает хорошее соответствие теоретических и опытных значений при продавливании плоских плит, если площадка нагружения имеет круглую или квадратную форму, то есть, когда можно допустить, что напряжения по периметру расчетного контура распределяются равномерно. При продавливании плиты колонной прямоугольной формы сечения расчетные значения разрушающих нагрузок удовлетворительно соответствуют опытным данным, если отношение сторон колонны (площадки нагружения) не превышает 2. В противном случае расчетные значения превышают опытные, что свидетельствует о несоответствии предпосылок расчетной модели фактическому характеру работы при продавливании монолитного узла сопряжения прямоугольной колонны и плоской плиты перекрытия.

Для приведения в соответствие расчетных и опытных данных используются разные способы. В нормах [3] применяется поправочный коэффициент, который понижает величину периметра расчетного контура, если соотношение сторон колонны превышает 2. Формула для определения величины поправочного коэффициента установлена на основании результатов выполненных ранее немно-

Филатов Валерий Борисович, кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций. E-mail: vb_filatov@mail.ru

гочисленных экспериментальных исследований, на которые и ссылается нормативный документ [3]. В европейских нормах [4] с этой же целью предлагается при определении периметра расчетного контура не учитывать часть его длины вдоль длинной стороны колонны. В российских нормах [1] при размерах прямоугольной площадки опирания $a \times b$ периметр расчетного контура поперечного сечения предлагается определять по формуле $u = 2(a + b + 2h_0)$. Рекомендации по учету соотношения сторон колонны (геометрической формы площадки нагружения) отсутствуют. Между тем отсутствие подобных рекомендаций приводит к завышенной оценке прочности узлов монолитного безбалочного каркаса. Принимая во внимание большое разнообразие геометрических форм и конструктивных решений, реализуемых в процессе стремительного развития монолитного домостроения, следует констатировать, что возможность расчетной оценки отмеченного аспекта позволит повысить конструктивную надежность и безопасность проектных решений.

Количество экспериментальных исследований посвященных рассматриваемому вопросу весьма немногочисленно. Среди последних исследований можно отметить работу [4], в которой представлены результаты испытаний образцов с отношением сторон колонны равным – 1 (образец ОС11), 3 (образец ОС13), 5 (образец ОС15). Образцы, испытанные авторами [4], представляли собой плоскую железобетонную плиту, которая продавливалась центрально расположенной колонной. Бетонирование колонны и плиты производилось одновременно. Поперечное армирование плиты в зоне продавливания не выполнялось. Высота сечения плиты – 150 мм. По результатам испытаний образцов получены следующие значения разрушающих нагрузок: ОС11 – 423 кН, ОС13 – 568 кН, ОС15 – 649 кН.

Расчетные значения продавливающей силы (F_{the}), определенные по формуле (3.177) [1], имеют удовлетворительную сходимость с опытными данными (V_{exp}) только для образца ОС11, имеющего квадратное сечение колонны – $F_{the} / V_{exp} = 0,891$. Для колонн с прямоугольным сечением расчетные значения превышают опытные, причем превышение расчетных значений над опытными растет с увеличением отношения сторон колонны. Так, для образца ОС13 – $F_{the} / V_{exp} = 1,032$, для образца ОС15 – $F_{the} / V_{exp} = 1,384$.

Для приведения в соответствие расчетных и опытных данных предлагается гипотеза о стесненных условиях деформирования плиты по периметру колонны. При продавливании железобетонных плит колоннами прямоугольного сечения отмечено, что область наибольших деформаций в плите расположена у коротких граней колонны, вдоль длинных граней деформации плиты уменьшаются в направлении от углов колонны к ее центру. Причем эта особенность деформирования плиты по периметру колонны отмечается на всех стадиях испытания образцов, вплоть до разрушения.

Принимая во внимание отмеченную особенность напряженно-деформированного состояния плиты, и основываясь на анализе характера деформирования конечно-элементных моделей узлов продавливания будем полагать, что область стесненных деформаций плиты имеет форму эллипса, фокусы которого расположены посередине коротких граней колонны. Таким образом, длина короткой грани колонны будет соответствовать удвоенному фокальному параметру, а длинная грань колонны будет определять расстояние между фокусами эллипса. Используя указанные характеристики, определяются величины большой ($2a$) и малой ($2b$) осей эллипса. Расчет несущей способности плоской железобетонной плиты при продавливании внутренней колонной предлагается выполнять по методике норм [1] с введением в расчетных формулах корректировки, учитывающей особенности деформированного состояния плиты по периметру колонны, в соответствии с предложенной гипотезой.

Периметр расчетного контура поперечного сечения при продавливании плоской плиты прямоугольной колонной определяем, вводя коэффициент χ сомножителем к величине периметра расчетного контура, определяемого как условный расчетный контур квадратной колонны. Длина грани колонны при нахождении длины условного расчетного контура принимается равной длине короткой грани прямоугольной колонны. Коэффициент χ принимается равным отношению большой и малой осей эллипса

$$\chi = \sqrt{a/b}$$

Введение в расчетную формулу коэффициента χ косвенным образом учитывает то обстоятельство, что напряжения среза, действующие в плите вдоль длинной грани колонны, либо запаздывают относительно тех же напряжений у коротких граней, либо вовсе не успевают достигнуть предельных значений, вследствие продавливания плиты на участках, прилегающих к коротким граням колонны. Для образца ОС13, испытанного авторами [5], значение $\chi = 1,372$, для образца ОС15 – значение $\chi = 1,533$. Подставляя скорректированные значения периметра расчетного контура поперечного сечения в формулу (3.177) [1], и учитывая фактические прочностные характеристики бетона образцов [5], получим следующие отношения расчетных и опытных значений разрушающих нагрузок: для образца ОС13 – $F_{the} / V_{exp} = 0,872$, для образца ОС15 – $F_{the} / V_{exp} = 0,923$.

Для испытанных образцов авторами [5] выполнялся сопоставительный анализ величин разрушающих нагрузок с результатами, полученными по методикам нормативных документов [3, 4] и по предложенной ими методике расчета. Результаты анализа, представленные в работе [5], приведены в табл. 1 совместно с результатами расчета по методике российских норм [1], в том числе с учетом корректировки, предложенной автором.

Таблица 1. Сравнение расчетных и опытных значений прочности при продавливании опытных образцов

Номер образца	V_{exp} , кН	F_{the} / V_{exp}				
		ACI 318-05	Eurocode 2	Методика [5]	СП 52-101-2003	Коррект. методика
OC11	423	0,608	0,734	0,734	0,891	0,891
OC13	568	0,637	0,670	0,736	1,032	0,872
OC15	649	0,658	0,589	0,799	1,384	0,943
Среднее значение		0,634	0,664	0,756	1,102	0,902

Анализ результатов, представленных в табл. 1, показывает, что наиболее консервативную оценку прочности при продавливании плоских плит как квадратными, так и прямоугольными колоннами дают американские нормы [3], причем с увеличением отношения сторон прямоугольной колонны расчетные значения разрушающих нагрузок растут быстрее опытных. Расчет по европейским нормам [4] дает более точные результаты для квадратной колонны, однако методика определения расчетного периметра для прямоугольной колонны приводит к тому, что расчетные значения разрушающих нагрузок занижаются относительно опытных величин и, если отношение сторон прямоугольной колонны превышает 3, европейские нормы [4] дают самую осторожную оценку прочности при продавливании плоских плит из всех представленных методик. Это указывает на некоторую недооценку европейскими нормами [4] величины расчетного контура поперечного сечения, определяемую в зависимости от отношения сторон прямоугольной колонны.

Российские нормы [1] при соотношении сторон колонны больше 2 завышают прочность плоских железобетонных плит при продавливании, причем при отношении сторон колонны больше 3

это завышение очень значительно, что может выразиться в недопустимом снижении конструктивной безопасности узлов каркаса при проектировании. Предлагаемая корректировка величины расчетного контура поперечного сечения при продавливании плоской железобетонной плиты перекрытия прямоугольной колонной с соотношением сторон больше 2 позволяет привести в соответствие теоретические значения, вычисленные по методике норм [1], с опытными величинами разрушающих нагрузок и обеспечить конструктивную безопасность проектных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. ФГУП ЦПП. – М., 2004. 71 с.
2. СП 52-103-2007. Железобетонные монолитные конструкции зданий. ФГУП ЦПП. – М., 2007. 26 с.
3. ACI 318-05, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary. USA. 2005.
4. Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1: General rules and rules for buildings. 2007.
5. *Susanto, T. Punching Shear Strength of Slabs with Openings and Supported on Rectangular Columns / T. Susanto, H.K. Cheong, K.L. Kuang, J.Z. Geng // ACI Structural Journal. 2004. V. 101, № 5. P. 678-687.*

POWER RESISTANCE OF THE FERROCONCRETE MONOLITHIC FLAT PLATES OF FLOORINGS AT PUNCHING BY RECTANGULAR COLUMNS

© 2012 V.B. Filatov

Samara State Architectural and Building University

In work influence of cross section form of a column in ferroconcrete beamless framework on nature of flat monolithic plate deformation in the field of calculated at punching is considered. On the basis of experimental data analysis the hypothesis of flat plate deformation nature in the area, adjacent to column, is developed, and method of determination the size of calculated contour depending on a form of column cross section is offered. It is shown that the offered method allows to increase the constructive reliability and safety at design of monolithic beamless frameworks of buildings and constructions.

Key words: *monolithic reinforced concrete, beamless framework, flooring flat plate, column, punching*

*Valeriy Filatov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Ferroconcrete Constructions.
E-mail: vb_filatov@mail.ru*