

Скрытые металлические капители безбалочных монолитных перекрытий

Николай Николаевич ТРЁКИН, доктор технических наук, профессор, e-mail: otks@narod.ru

ОАО «ЦНИИПромзданий», 127238 Москва, Дмитровское ш., 46, корп.2

Дмитрий Анатольевич ПЕКИН, гл. конструктор, e-mail: dpekin@mail.ru

ООО «ИНВ-СТРОЙ», 115093 Москва, 3-й Павловский пер., 12

Аннотация. Приведено теоретическое и экспериментальное обоснование эффективности применения скрытых металлических капителей в монолитных железобетонных безбалочных перекрытиях. Представлена методика расчета и результаты экспериментальных исследований опорных зон железобетонных безбалочных перекрытий, усиленных скрытыми металлическими капителями. Комплекс теоретических и экспериментальных исследований подтвердил эффективность усиления монолитных перекрытий металлическими капителями из листовой стали, скрытыми в перекрытиях. Предложенная методика расчета по прочности опорных зон монолитных безбалочных перекрытий, усиленных скрытыми металлическими капителями, позволяет с достаточной точностью (от 5 до 17 %) оценивать предельные состояния плит перекрытия и учитывать их конструктивные особенности.

Ключевые слова: многоэтажное здание, безбалочное перекрытие, скрытая металлическая капитель, опорная зона.

HIDDEN METAL CAPITALS OF MONOLITHIC BEAMLESS SLABS

Nikolai N. TREKIN, e-mail: otks@narod.ru, ОАО «TSNIIpromzdaniy» (Russia, Moscow),

Dmitriy A. PEKIN, e-mail: dpekin@mail.ru, ООО «INV-STROY» (Russia, Moscow)

Abstract. Theoretical and experimental justification of hidden metal capitals application in monolithic reinforced concrete beamless slabs is given. The calculation procedure and pilot research results of reinforced concrete beamless slabs support areas with hidden metal capitals are presented. Complex of theoretical and experimental studies has confirmed the efficiency of strengthening of monolithic slabs with metal capitals from plate steel hidden in slabs. The proposed method of calculation of support areas of monolithic beamless slabs strengthened with hidden metal capitals makes it possible to assess with sufficient accuracy (from 5 up to 17 %) the limit states of the floor slab and take into account their design features.

Key words: multi-storey building, beamless slabs, hidden metal capital, support area.

В конструктивных решениях многоэтажных каркасных зданий из монолитного бетона наибольшее распространение получили железобетонные безбалочные перекрытия. К основным достоинствам безбалочных перекрытий можно отнести сравнительно небольшую высоту поперечных сечений, что позволяет сократить общую высоту здания (а следовательно и расход материалов), выполнить гладкие потолки, которые повышают эстетичность внутреннего пространства.

Толщина безбалочных перекрытий определяется требованиями по прочности нормальных сечений, на продавливание опорных зон в месте сопряжения с колоннами и по жесткости в пролетах. При увеличении сетки колонн обеспечение прочности опорных зон на продавливание становится определяющим и возникает необходимость устройства ка-

пителей или установки дополнительной жесткой арматуры. Традиционные капители, выступающие вниз относительно перекрытия, приводят к необходимости увеличения высоты этажа, к ухудшению эксплуатационных и эстетических характеристик внутреннего пространства. Конструктивные решения с жесткой арматурой из металлических профилей (двутавры, швеллеры) выполняются в виде пространственных конструкций, вставленных в арматурный каркас, что в большинстве случаев усложняет процесс возведения перекрытий и требует в обязательном порядке выполнения сварных соединений металлических профилей между собой и с рабочей арматурой плит.

Предлагаемое конструктивное решение (рис. 1) представляет собой скрытую металлическую капитель, состоящую из перекрестных стальных листов, размещаемых вер-

тикально в двух ортогональных направлениях армирования, высотой, равной толщине безбалочного перекрытия, с предварительно выполненными отверстиями, в которые вставляются арматурные стержни, не требующие фиксации сваркой. Это повышает технологичность изготовления безбалочных перекрытий, исключает механизм хрупкого разрушения опорной зоны и увеличивает несущую способность опорной зоны. Листы соединяют при помощи сварки односторонними швами в сжатой зоне и двусторонними швами — в растянутой. Сборку металлических решеток можно выполнять как в заводских условиях, так и на строительной площадке. После соединения листов и монтажа капители в предварительно сделанные отверстия устанавливаются продольную арматуру.

Для внедрения этого конструк-

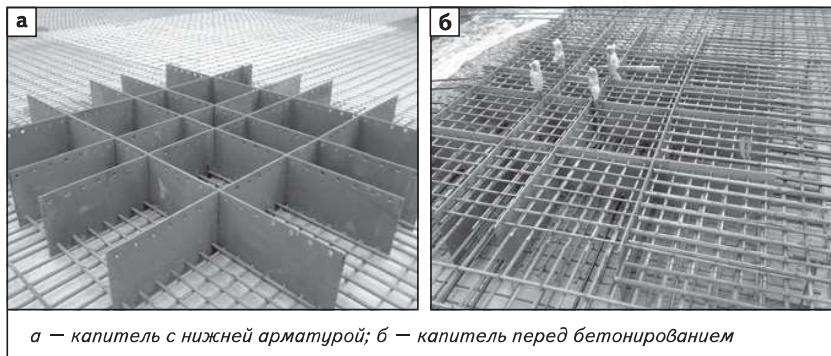


Рис. 1. Скрытая металлическая капитель

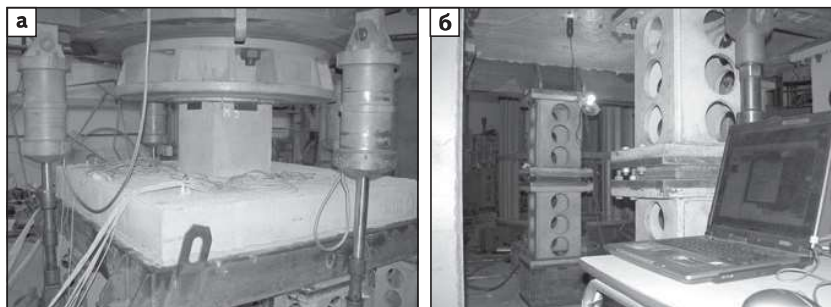


Рис. 2. Образцы в испытательном стенде (а – вид сбоку; б – вид снизу)

тивного решения в массовое строительство необходима разработка методики расчета по прочности опорных зон безбалочных перекрытий, усиленных скрытыми металлическими капителями.

Габарит скрытых металлических капителей в плане назначается из условия, что на их границах прочность на продавливание опорных зон обеспечивается бетоном по формуле

$$(q l_x) l_y \leq h R_{bt} u_m, \quad (1)$$

где q – расчетная равномерно распределенная нагрузка; l_x и l_y – пролеты перекрытия; h – высота поперечного сечения; u_m – периметр границы скрытой капители, равный

$$u_m = 4(l_{0x} + l_{0y}), \quad (2)$$

здесь l_{0x} и l_{0y} – расстояния от оси колонны до границ капители.

Требуемые габаритные размеры скрытых металлических капителей удобно определять с помощью коэффициента δ , равного отношению длины пролета к расстоянию от оси колонны до границ капители в направлении соответственно l_x или l_y

$$\delta = l_x / l_{0x} = l_y / l_{0y}. \quad (3)$$

Тогда периметр границы скрытой капители запишется в виде:

$$u_m = 4(l_x + l_y) / \delta. \quad (4)$$

При равных пролетах $l_x = l_y = l$ и $l_{0x} = l_{0y} = l_0$ неравенство (1) преобразуется:

$$\delta = \frac{l_x}{l_{0x}} = \frac{l_y}{l_{0y}} = \frac{l}{l_0} \leq \frac{4hR_{bt}(l_x + l_y)}{l_x l_y q l} = \frac{8hR_{bt}}{lq}. \quad (5)$$

Толщина стальных листов определяется путем расчета на срез элементов решетки по границе сопряжения колонны с капителью без учета несущей способности бетона по формуле

$$q l_x l_y \leq n_{rs} t_r h R_{vs}, \quad (6)$$

где n_{rs} – количество поверхностей среза (для центрального участка); t_r – толщина стальных листов; $R_{vs} = 0,58 R_y$ – прочность стали на срез; R_y – сопротивление стали по пределу текучести.

Неравенство (6) при равных пролетах $l_x = l_y = l$ преобразуется следующим образом:

$$t_r \geq \frac{q l^2}{4,64 h R_y}. \quad (7)$$

Расчет нормальных сечений опорных зон безбалочных перекрытий по предельным усилиям выполняется на основе решения уравнения равновесия суммы моментов внутренних усилий относительно нейтральной оси и нахождения предельного изгибающего момента M_{ult} :

$$M_{ult} = R_b A_{b,c} \frac{x}{2} + R_{sc} A'_{sm} z_{s,c} + R_s A_{sm} z_{s,t} + R_y A'_r \frac{x}{2} + R_y A_r \frac{h-x}{2}. \quad (8)$$

Высоту сжатой зоны бетона x находят на основе решения уравнения равновесия суммы проекций внутренних усилий на ось X или Y :

$$R_b A_{b,c} + R_{sc} A'_{sm} + R_y A'_r = R_s A_{sm} + R_y A_r. \quad (9)$$

В формулах (8) и (9): R_y , R_s , R_{sc} и R_b – предел текучести стали листов, расчетное сопротивление арматуры при растяжении и сжатии и призматическая прочность бетона; $A'_r = x t_r n_r$ и $A_r = (h-x) t_r n_r$ – площадь сжатой и растянутой зон листов; $A_{b,c} = x b$ – площадь сжатой зоны бетона; $A_{sm} = n_s A_s$ и $A'_{sm} = n_{sc} A'_s$ – общая площадь растянутой и сжатой арматуры; A_s и A'_s – площадь растянутого и сжатого стержней; n_s , n_{sc} , n_r – количество растянутых и сжатых стержней, стальных листов; x и h – высота сжатой зоны и сечения бетона; t_r – толщина стальных листов; $z_{s,c} = x - a'$ и $z_{s,t} = h - x - a$ – расстояния от нейтральной линии сечения до центра тяжести сжатой и растянутой арматуры.

Уравнение (9) приводится к виду:

$$R_b x b + R_{sc} n_{sc} A'_s + R_y x t_r n_r = R_s n_s A_s + R_y t_r n_r (h-x). \quad (10)$$

Решая уравнение относительно x , находим:

$$x = \frac{R_s n_s A_s + R_y h t_r n_r - R_{sc} n_{sc} A'_s}{R_b b + 2 R_y t_r n_r}. \quad (11)$$

Для проверки предложенного конструктивного решения скрытой металлической капители и методики расчета были проведены экспериментальные исследования. Опытные образцы выполнялись в виде фрагментов сопряжения плиты перекрытия с колонной натурных размеров. Всего было изготовлено шесть об-

разцов: первый образец эталонный с обычным армированием плиты перекрытия, остальные — с обычным армированием, но усиленные скрытой капителью.

Габаритные размеры фрагментов плит перекрытий — $2 \times 2 \times 0,24(h)$ м. Оголовок колонны выполнен в виде куба с размером стороны 0,5 м. Предварительно в стальных листах были выполнены отверстия $\varnothing 23$ мм с шагом 100 мм и прорези на половину высоты поперечного сечения $8 \times 125(h)$ мм с шагом 400 мм для стыковки листов между собой в местах пересечений. Фрагменты плит армировали отдельными стержнями. Для изготовления металлических капителей и стержней использовалась сталь классов С345 и А500 соответственно. Общая характеристика исследованных фрагментов плит приведена в *таблице*.

Для проведения испытаний был изготовлен опорный контур с размерами в плане $2,16 \times 2,16 \times 0,24(h)$ м коробчатого поперечного сечения из двоярного швеллера № 24 по ГОСТ 8240. Стенки швеллера расположены у наружных граней сечения. Опорный контур был установлен на восемь стоек высотой 1,2 м, опирающихся на силовой пол. Образцы устанавливали на цементно-песчаный раствор, уложенный по периметру опорного контура, для обеспечения плотного контакта (*рис. 2*). Нагружение осуществлялось четырьмя гидравлическими силовозбудителями от общего коллектора. Силовозбудители крепились к силовому полу и нагрузочной плите, через которую передавалось усилие на оголовки колонны. Нагрузка, прикладываемая к испытуемым образцам, изменялась ступенчато, увеличиваясь на 200 кН с интервалом 20 мин, непосредственно до момента разрушения. Схема испытательного стенда приведена на *рис. 3*.

По результатам испытаний фрагментов безбалочных перекрытий, усиленных металлическими капителями, можно сделать вывод о том, что, пока все растянутые арматурные стержни не достигли предельных напряжений, конструкция продолжает сопротивляться внешней нагрузке. Разрушение фрагментов опорных зон ФПП-3...ФПП-6 носит

Техническая характеристика фрагментов плит

Марки конструкции и расчетной схемы	Размер фрагментов колонны (сторона куба), м	Толщина стальных листов, мм	Класс листов стали	Количество и диаметр арматуры		Класс арматуры	Класс бетона	Начальный модуль упругости бетона, МПа	Разрушающая нагрузка, кН
				растянутой	сжатой				
МК-1, РС60	—	6	С345	—	—	—	—	—	256
ФПП-1, РС61	0,5	—	—	—	—	А500	В30	3,31·10 ⁴	1080
ФПП-2, РС62		—	18 \varnothing 12	—	1080				
ФПП-3, РС63		—	18 \varnothing 12	—	2280				
ФПП-4, РС64		—	18 \varnothing 16	—	2680				
ФПП-5, РС65		6	С345	18 \varnothing 12	18 \varnothing 8				2280
ФПП-6, РС66		—	—	18 \varnothing 16	18 \varnothing 8				2680

Примечание. Модуль упругости стали — $2,1 \cdot 10^5$ МПа.

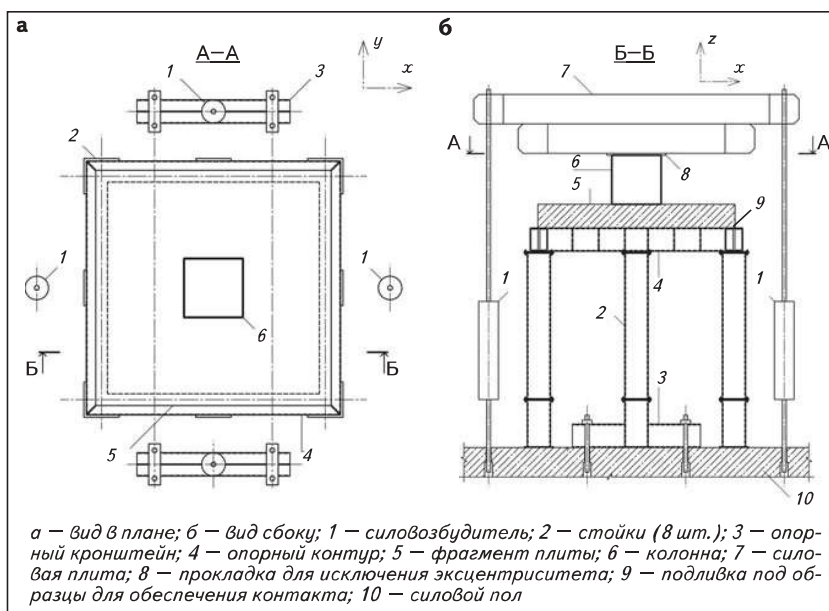


Рис. 3. Схема экспериментального стенда

пластический характер и связано с превышением предела текучести арматуры у всех стержней в сечении. Разрушение испытанных фрагментов плит ФПП-1...ФПП-6, за исключением ФПП-2, произошло на III стадии НДС по арматуре. Разрывы арматуры и раздробления сжатой зоны бетона не произошло ни в одном образце. Критерием разрушения стал процесс нарастания прогибов при попытке увеличить нагрузку на следующую ступень.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что скрытые металлические капители меняют картину НДС, образования и раскрытия нормальных трещин, исключается механизм хрупкого разрушения опорных зон безбалочных перекрытий. Прогибы образцов ФПП-3...ФПП-6, содержащих скрытые капители, при нагрузке $P_f = 1080$ кН меньше, чем у образца ФПП-2 без металлической решетки, в диапазоне от 1,53 до 2,18 раза. Остаточные про-

гибы, полученные после разрушения испытанных образцов и снятия нагрузки, для фрагментов плит перекрытий ФПП-3...ФПП-6, усиленных скрытыми металлическими капителями, незначительны. Абсолютная ширина раскрытия трещин $a_{срс,а}$ для образцов ФПП-3...ФПП-6 при $P_f = 1080$ кН меньше, чем у образца ФПП-2, в интервале от 1,61 до 3,06 раза.

Экспериментально подтверждено, что несущая способность опорных зон безбалочных перекрытий, усиленных скрытыми металлическими капителями, возросла в диапазоне от 2,11 до 2,48 раза в образцах

ФПП-3...ФПП-6 (разрушающая нагрузка равна 2280 и 2680 кН) по сравнению с традиционным железобетонным фрагментом безбалочного перекрытия ФПП-2 ($P_f = 1080$ кН). Разрушение образцов ФПП-3...ФПП-6 происходило в пластической стадии по арматуре в тот момент, когда все растянутые арматурные стержни опорной зоны перешли в пластику, сжатая зона бетона и стальные листы при этом продолжали сопротивляться внешней нагрузке. Разрушение образца ФПП-2 носило хрупкий характер — образовалась пирамида продавливания.

Вывод

Комплекс теоретических и экспериментальных исследований подтвердил эффективность усиления монолитных перекрытий металлическими капителями из листовой стали, скрытыми в перекрытиях. Предложенная методика расчета по прочности опорных зон монолитных безбалочных перекрытий, усиленных скрытыми металлическими капителями, позволяет с достаточной точностью (от 5 до 17 %) оценивать предельные состояния плиты перекрытия и учитывать их конструктивные особенности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кодыш Э. Н., Никитин И. К., Трёкин Н. Н. Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности, трещиностойкости и деформациям. М.: АСВ, 2010. 352 с.
2. Пекин Д. А. Плитная сталежелезобетонная конструкция // Архитектура и строительство. 2009. № 8. С. 20–37.
3. Пекин Д. А. Плитная сталежелезобетонная конструкция. М.: АСВ, 2010. 435 с.
4. Карпенко Н. И. Карпенко С. Н. Практическая методика расчета железобетонных плит на продавливание по различным схемам // Бетон и железобетон. 2012. № 5. С. 10–16.
5. Габрусенко В. В. Некоторые особенности проектирования железобетонных конструкций по новым нормам (Расчет прочности при местном действии нагрузки) // Проектирование и строительство в Сибири. 2007. № 5. С. 24–26.
6. Ватин Н. И., Иванов А. Д. Сопряжение колонны и безребристой бескапитальной плиты перекрытия монолитного железобетонного каркасного здания. СПб: СПбОДЗПП, 2006. 82 с.
7. Чижевский В. В., Арьянов И. А. Продавливание железобетонных плит перекрытия колоннами // СтройПРОФИль. 2007. № 2. С. 21–24.
8. Клованич С. Ф., Шеховцов В. И. Продавливание железобетонных плит. Натурный и численный эксперименты. Одесса: ОНМУ, 2011. 120 с.
9. Болгов А. Н. Надежность формул СП 52-101-2003 при расчете на продавливание // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 2. С. 41–43.
10. Самохвалова Е. О., Иванов А. Д. Стык колонны с безбалочным бескапитальным перекрытием в монолитном здании // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 3. С. 33–37.

REFERENCES

1. Kodysh E. N., Nikitin I. K., Trekin N. N. *Raschet zhelezobetonnykh konstruksiy iz tyazhelogo betona po prochnosti, treshchinostoykosti i deformatsiyam* [Calculation of reinforced concrete constructions from heavy concrete strength, fracture and deformation]. Moscow, ASV Publ., 2010. 352 p. (In Russian).
2. Pekin D. A. Composite plate structure. *Arkhitektura i stroitelstvo Rossii*, 2009, no. 8, pp. 20–37. (In Russian).
3. Pekin D. A. *Plitnaya stalezhelezobetonnyaya konstruksiya* [Composite plate structure]. Moscow, ASV Publ., 2010. 435 p. (In Russian).
4. Karpenko N. I. Karpenko S. N. Practical method of calculation of reinforced concrete slabs on punching through various schemes. *Beton i zhelezobeton*, 2012, no. 5, pp. 10–16. (In Russian).
5. Gabrusenko V. V. Some peculiarities of design of reinforced concrete structures under the new rules (calculation of the strength of the local action load). *Proektirovanie i stroitelstvo v Sibiri*, 2007, no. 5, pp. 24–26. (In Russian).
6. Vatin N. I., Ivanov A. D. *Sopryazhenie kolonny i bezrebristoy beskapitelnoy plity perekrytiya monolitnogo zhelezobetonnogo karkasnogo zdaniya* [Column and beamless capless slab connection of the monolithic reinforced concrete frame building]. Saint Petersburg, SpbODZPP Publ., 2006. 82 p. (In Russian).
7. Chizhevskiy V. V., Aryanov I. A. Columns punching of reinforced concrete slabs. *StroyPROFIL*, 2007, no. 2, pp. 21–24. (In Russian).
8. Klovaniich S. F., Shekhovtsov V. I. *Prodavlivanie zhelezobetonnykh plit. Naturnyy i chislennyy eksperimenty* [Punching of reinforced concrete slabs, Physical and numerical experiments]. Odessa, ONMU Publ., 2011. 120 p. (In Russian).
9. Bolgov A. N. Reliability of SP 52-101-2003 formulas when calculating the punching shear. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo*, 2013, no. 2, pp. 41–43. (In Russian).
10. Samokhvalova Ye. O., Ivanov A. D. Connection of column and beamless capless slab in the monolithic building. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*, 2009, no. 3, pp. 33–37. (In Russian).

Для цитирования: Трёкин Н. Н., Пекин Д. А. Скрытые металлические капители безбалочных монолитных перекрытий // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 7. С. 17–20.

For citation: Trekin N. N., Pekin D. A. Hidden metal capitals of monolithic beamless slabs. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2014, no. 7, pp. 17–20. (In Russian). ■