

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Н. Н. Трекин [N. N. Trekin]
Д. А. Пекин [D.A. Pekin]

УДК 69.07

ПРИМЕНЕНИЕ СКРЫТЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАПИТЕЛЕЙ В БЕЗБАЛОЧНЫХ МОНОЛИТНЫХ ПЕРЕКРЫТИЯХ

THE HIDDEN METAL CAPITALS APPLICATION IN MONOLITHIC BEAMLESS SLABS

На примере показана эффективность использования скрытых металлических капителей в монолитных железобетонных безбалочных перекрытиях. Представлена методика и результаты расчётов опорных зон железобетонных безбалочных перекрытий, усиленных скрытыми металлическими капителями.

The successful example of hidden metal capitals application in monolithic reinforced concrete beamless slabs has been shown. The calculations procedure and results of reinforced concrete beamless slabs support areas with hidden metal capitals have been presented.

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

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

Применение скрытых металлических капителей в безбалочных перекрытиях подземных автостоянок на примере двухуровневой подземной автостоянки жилого комплекса «Чайка» в г. Железнодорожном Московской области показало свою высокую эффективность по сравнению с традиционным решением [1, 2, 3] снижением высоты сечения плиты.

Реализованное конструктивное решение показано на рис. 1 и представляет собой скрытую металлическую капитель, состоящую из перекрёстных стальных листов, размещаемых вертикально в двух ортогональных направлениях армирования, высотой равной толщине безбалочного перекрытия с предварительно выполненными отверстиями, в которые вставляются арматурные стержни, не требующие фиксации при помощи сварки. Это повышает технологичность изготовления безбалочных перекрытий, исключает механизм хрупкого разрушения опорной зоны и увеличивает несущую способность опорной зоны. Соединение листов выполняется при помощи сварки односторонними швами в сжатой зоне и двусторонними швами в растянутой. Сборку металлических решёток можно выполнять как в заводских условиях, так и на строительной площадке. После соединения листов и монтажа капители в проектном положении, в предварительно сделанные отверстия устанавливается продольная арматура.

Для внедрения этого конструктивного решения в массовое строительство необходима разработка методики расчёта по прочности опорных зон безбалочных перекрытий, усиленных скрытыми металлическими капителями.

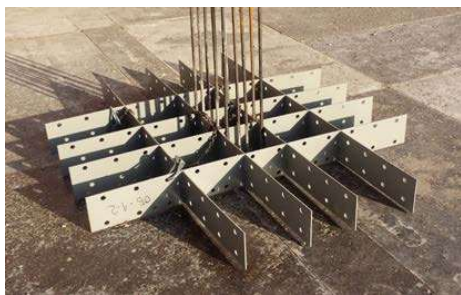


Рис. 1. Скрытая металлическая капитель в проектном положении



Рис. 2. Перекрытие перед бетонированием

Габариты скрытых металлических капителей, показанные на рис. 3, назначены из условия, что на их границах прочность на продавливание опорных зон обеспечивается бетоном по формуле (на примере плиты покрытия автостоянки):

$$q_l \cdot l_x \cdot l_y \leq h \cdot R_{bt} \cdot u_m = 4 \cdot h \cdot R_{bt} \cdot (l_x + l_y) / \delta, \quad (1)$$

где $q_l = g + p = 2,75 + 1,95 = 4,7$ тс/м² – расчётная равномерно распределённая нагрузка на плиту покрытия автостоянки с учётом пожарных машин;

$l_x = (l_{x1} + l_{x2}) / 2 = (5,1 + 6,9) / 2 = 6,0$ м и $l_y = (l_{y1} + l_{y2}) / 2 = (5,45 + 6,9) / 2 = 6,175$ м – приведённые пролёты безбалочного покрытия;

$h = 0,24$ м – высота поперечного сечения;

$R_{bt} = 117,2$ тс/м² – прочность бетона класса В30 на растяжение;

u_m – периметр границы скрытой капители равный:

$$u_m = 4 \cdot (l_{0x} + l_{0y}) = 4 \cdot (l_x + l_y) / \delta, \quad (2)$$

здесь $\delta = l_x / l_{0x} = l_y / l_{0y}$ – коэффициент отношения длин пролёта и капители;

l_{0x} и l_{0y} – расстояния от опоры (центральной оси колонны) до границ капители.

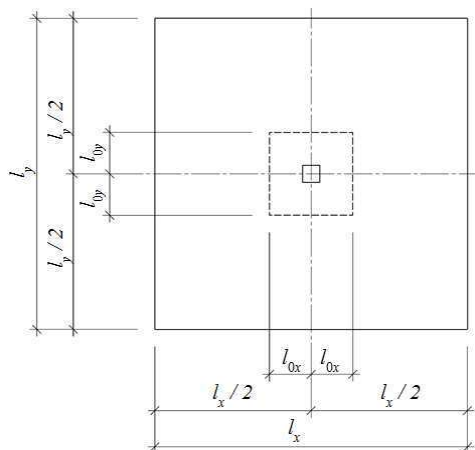


Рис. 3. Габариты скрытых металлических капителей в плане при равных пролетах

Требуемые габаритные размеры скрытых металлических капителей удобно определять с помощью коэффициента δ , равного отношению длины пролёта к расстоянию от оси колонны до границ капители, таким образом, используя (1) и (2) получим:

$$\delta \leq \frac{4 \cdot h \cdot R_{bt} \cdot (l_x + l_y)}{l_x \cdot l_y \cdot q_l} = \frac{4 \cdot 0,24 \cdot 117,2 \cdot (6,0 + 6,175)}{6,0 \cdot 6,175 \cdot 4,7} = 7,87. \quad (3)$$

Минимальные расстояния от оси колонны до границ капители в разных направлениях в этом случае составят, м:

$$l_{0,x1} = \frac{l_{x1}}{\delta} = \frac{5,1}{7,87} = 0,65, \quad l_{0,x2} = l_{0,y2} = \frac{l_{x2}}{\delta} = \frac{l_{y2}}{\delta} = \frac{6,9}{7,87} = 0,88, \quad l_{0,y1} = \frac{l_{y1}}{\delta} = \frac{5,45}{7,87} = 0,69. \quad (4)$$

Для увеличения жёсткости опорных зон, размещения рабочей арматуры в габаритах скрыгой металлической капители и уменьшении прогибов фактические расстояния от осей колонны до границы капители в проекте приняты:

$$l_{0,x1} = 0,9 \text{ м}, \quad l_{0,x2} = 1,425 \text{ м}, \quad l_{0,y1} = 1,05 \text{ м}, \quad l_{0,y2} = 1,35 \text{ м},$$

а общий габарит капители составил – 2,325×2,4×0,24(м).

Толщина стальных листов определяется путём расчёта на срез элементов решётки по границе сопряжения колонны с капителью без учёта несущей способности бетона по формуле:

$$q_l \cdot l_x \cdot l_y \leq n_{rs} \cdot t_r \cdot h \cdot R_{ys} \rightarrow t_r \geq \frac{q_l \cdot l_x \cdot l_y}{0,58 \cdot n_{rs} \cdot h \cdot R_y} = \frac{4,7 \cdot 6,0 \cdot 6,175}{0,58 \cdot 8 \cdot 0,24 \cdot 32110} = 0,0049 \text{ м}, \quad (5)$$

где $n_{rs} = 8$ – количество поверхностей среза;

t_r – толщина стальных листов; $R_{ys} = 0,58R_y$ – прочность стали на срез;

$R_y = 32110 \text{ тс/м}^2$ – сопротивление стали класса С345 по пределу текучести.

Для увеличения жёсткости опорных зон, уменьшения площади рабочей арматуры и прогибов фактическая толщина стальных листов для скрытых металлических капителей безбалочного покрытия в проекте принята $t_r = 8 \text{ мм}$.

Расчёт нормальных сечений опорных зон безбалочных перекрытий, показанных на рис. 4, по предельным усилиям выполняется на основе решения уравнения равновесия суммы моментов внутренних усилий относительно нейтральной оси и нахождения предельного изгибающего момента M_{ult} :

$$M_{ult} = R_b \cdot A_{b,c} \cdot \frac{x}{2} + R_{sc} \cdot A'_{sm} \cdot z_{s,c} + R_s \cdot A_{sm} \cdot z_{s,t} + R_y \cdot A'_r \cdot \frac{x}{2} + R_y \cdot A_r \cdot \frac{h-x}{2}. \quad (6)$$

Высота сжатой зоны бетона x , находится на основе решения уравнения равновесия суммы про-
цедий внутренних усилий на ось X или Y:

$$R_b \cdot A_{b,c} + R_{sc} \cdot A'_{sm} + R_y \cdot A'_r = R_s \cdot A_{sm} + R_y \cdot A_r, \quad (7)$$

где R_y, R_s, R_{sc} и R_b – предел текучести стали листов, расчетное сопротивление арматуры и призмечная прочность бетона;

$A'_r = x \cdot t_r \cdot n_r$ и $A_r = (h-x) \cdot t_r \cdot n_r$ – площадь сжатой и растянутой зон листов;

$A_{b,c} = x \cdot b$ – площадь сжатой зоны бетона;

$A_{sm} = n_s \cdot A_s$ и $A'_{sm} = n_{sc} \cdot A'_s$ – общая площадь растянутой и сжатой арматуры;

A_s и A'_s – площадь растянутого и сжатого стержня;

n_s, n_{sc}, n_r – количество растянутых, 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.

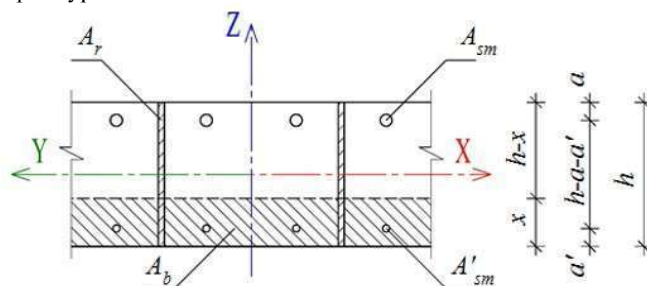


Рис. 4. Нормальные сечения опорной зоны безбалочного перекрытия

Уравнение (7) преобразуется к виду:

$$R_b \cdot x \cdot b + R_{sc} \cdot n_{sc} \cdot A'_s + R_y \cdot x \cdot t_r \cdot n_r = R_s \cdot n_s \cdot A_s + R_y \cdot t_r \cdot n_r \cdot (h - x). \quad (8)$$

Решая уравнение относительно x , находим:

$$x = \frac{R_s \cdot n_s \cdot A_s + R_y \cdot h \cdot t_r \cdot n_r - R_{sc} \cdot n_{sc} \cdot A'_s}{R_b \cdot b + 2 \cdot R_y \cdot t_r \cdot n_r}. \quad (9)$$

При проверке нормальных сечений опорных зон на изгиб (геометрические характеристики приведены в табл. 1) должно выполняться следующее условие (результаты проверки приведены табл. 2):

$$K_M = \frac{M_{red}}{M_{ult}} \leq 1. \quad (10)$$

Таблица 1

Геометрические характеристики опорных зон

№ сечения	h , мм	b , мм	a , мм	n_s , шт	d_s , мм	A_{sm} , см ²	a' , мм	n_{scs} , шт	d_{scs} , мм	A'_{sm} , см ²	t_r , см	h_{r1} , см	n_r , шт
Сечение по X	240	2400	41	27	16	54,3	35	19	10	14,9	0,8	24,0	4
Сечение по Y	240	2250	25	26	16	52,3	25	19	10	14,9	0,8	24,0	4

Таблица 2

Расчёт нормальных сечений опорных зон по предельным усилиям

№ сечения	$I_{red,el}$, см ⁴	$\sigma_{bi,red}$, тс/м ²	$\sigma_{bc,red}$, тс/м ²	x , см	$\zeta=x/h$	M_{red} , тс*м	M_{ult} , тс*м	K_M
Равном.								
Сечение по X	327129	1899,9	-2057,1	6,81	0,28	53,9	61,2	0,88
Сечение по Y	319519	1913,2	-2080,5	6,96	0,29	53,2	63,8	0,83
I и II ч.								
Сечение по X	327129	1607,7	-1739,8	6,81	0,28	45,6	61,2	0,75
Сечение по Y	319519	1686,5	-1844,1	6,96	0,29	47,0	63,8	0,74
II и III ч.								
Сечение по X	327129	1430,6	-1540,5	6,81	0,28	40,5	61,2	0,66
Сечение по Y	319519	1512,5	-1645,8	6,96	0,29	42,0	63,8	0,66
III и IV ч.								
Сечение по X	327129	1514,6	-1640,8	6,81	0,28	43,0	61,2	0,70
Сечение по Y	319519	1457,6	-1574,9	6,96	0,29	40,4	63,8	0,63
IV и I ч.								
Сечение по X	327129	1691,7	-1840,1	6,81	0,28	48,1	61,2	0,79
Сечение по Y	319519	1631,6	-1773,2	6,96	0,29	45,3	63,8	0,71

При расчётах безбалочного перекрытия рассматривались различные варианты приложения временных нагрузок: равномерное по всей площади (Равном.), в первой и второй четвертях относительно центральных осей колонны (I и II ч.), во второй и третьей четвертях (II и III ч.), в третьей и четвертой четвертях (III и IV ч.), в четвертой и первой четвертях (IV и I ч.). Как видно из таблицы максимальные значения коэффициентов использования получены для равномерного загрузения по всей площади.

Таким образом, методика расчёта опорных зон безбалочных перекрытий, усиленных скрытыми металлическими капителями, предложенная ранее и подтвержденная экспериментально [4], позволяет оценивать несущую способность плиты с учетом конструктивных особенностей.

Благодаря уменьшению толщины монолитной фундаментной плиты с 600 до 300 мм на площади 10 тыс. м², замене балок 200×750 (h) мм и плиты покрытия толщиной 250 мм на безбалочное перекрытие толщиной 240 мм с усилением опорных зон скрытыми металлическими капителями в первом варианте удалось сократить объём железобетона более чем на 3 тыс. м³. Тем не менее, был выбран более эффективный вариант с устройством дополнительного этажа в стесненных по высоте условиях, сохранении общего расхода бетона и увеличении общего количества машиномест с 280 до 520. Реализованы фундаментная плита толщиной 300 мм, безбалочное перекрытие и покрытие с толщинами 180 и 240 мм соответственно. Сетка колонн каркаса в местах проездов – 6,9×6,9 м и стоянок – 5,1×5,45 м. Общий экономический эффект при стоимости 1 машиноместа 1,1 млн руб. составил по оценке авторов проекта более 150 млн. руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кодыш Э. Н., Трекин Н. Н., Никитин И. К. Проектирование участков сборных перекрытий под повышенные нагрузки // Промышленное и гражданское строительство, №2, 2011. С. 24-26.
2. Кодыш Э. Н., Никитин И. К., Трекин Н. Н. Проектирование участков перекрытий под повышенные нагрузки при новом строительстве и реконструкции. М., ОАО «ЦПП», 2011. 63 с.
3. Гранев В. В., Кодыш Э. Н., Трекин Н. Н., Никитин И. К. Усиление зоны возможного продавливания безбалочных монолитных перекрытий. Будівельні конструкції. Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону. Випуск 74. Книга 2., Київ, ДП НДІБК, 2011. С. 10-18.
4. Трекин Н. Н., Пекин Д. А. Скрытые металлические капители безбалочных монолитных перекрытий // Промышленное и гражданское строительство, №7, 2014. С. 17-20.

REFERENCES

1. Kodysh E. N., Trekin N. N., Nikitin I. K. Proektirovanie uchastkov sbornykh perekrytiy pod povyshennye nagruzki // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, №2, 2011. S. 24-26.
2. Kodysh E. N., Nikitin I. K., Trekin N. N. Proektirovanie uchastkov perekrytiy pod povyshennye nagruzki pri novom stroitel'stve i rekonstruktsii. M., ОАО «TsPP», 2011. 63 s.
3. Granev V. V., Kodysh E. N., Trekin N. N., Nikitin I. K. Usilenie zony vozmozhnogo prodavlivaniya bezbalochnykh monolitykh perekrytiy. Budivel'ni konstruksii. Naukovo-tekhichni problemi suchasnogo zalizobetonu. Vypusk 74. Kniga 2. Kiiiv, DP NDIBK, 2011. S. 10-18.
4. Trekin N. N., Pekin D. A. Skrytye metallicheskie kapiteli bezbalochnykh monolitykh perekrytiy.// Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, №7, 2014. S. 17-20.

ОБ АВТОРАХ

Трекин Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций ИСАМГСУ, e-mail: otk@narod.ru

Trekin Nikolay Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow State University of Civil Engineering, e-mail: otk@narod.ru

Пекин Дмитрий Анатольевич, главный конструктор, ООО «ИНВ-СТРОЙ», e-mail: dpekin@mail.ru

Pekin Dmitriy Anatolievich, Chief Constructor, "INV-STROY" LLC, e-mail: dpekin@mail.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ СКРЫТЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАПИТЕЛЕЙ
В БЕЗБАЛОЧНЫХ МОНОЛИТНЫХ ПЕРЕКРЫТИЯХ**

Н. Н. Трекин, Д. А. Пекин

Традиционное использование капителей может противоречить объемно-планировочным решениям, к примеру, реконструкции многоэтажных промышленных зданий, торговых центров с ограничениями по высоте пола или в новой конструкции приводит к увеличению расхода материала за счет увеличения высоты пола, особенно в подземном паркинге. Структурные механизмы с жесткой арматурой в виде каналов или двуглавых балок требуют сварных соединений, которые усложняют процесс строительного-монтажных работ, а также не предусмотрены в строительных нормах и правилах.

Альтернативное конструктивное решение представляет собой скрытые металлические капители, состоящие из стальных листов, расположенных в двух ортогональных направлениях арматуры и имеющих одинаковую толщину к безбалочных плит. Стальные листы имеет нарезанные отверстия для вставки армирующих стержней и не требуют фиксации при помощи сварки. Это улучшает технологичность, исключает механизм штамповки области поддержки и увеличивает пропускную способность на изгиб и штамповку.

THE HIDDEN METAL CAPITALS APPLICATION IN MONOLITHIC BEAMLESS SLABS

N. N. Trekin, D. A. Pekin

The traditional use of capitals can contrary to space-planning decisions, for example, the reconstructions of multi-storey industrial buildings, shopping centers with height floor restrictions or in new construction leads to an increase in material consumption at the expense of increasing the height of the floor especially in underground parking. Structural arrangements with rigid reinforcement in the form of channels or I-beams

require welded joints that complicate the process of construction and installation works, as well as not existed in the building regulations.

Alternative structural arrangement is a hidden metal capital consisting of steel sheets placed in two orthogonal directions of the reinforcement and having equal thickness to the beamless slabs. Steel sheets have pre-cut holes for insert reinforcing bars and do not require fixing by welding. This improves the manufacturability of beamless slabs, eliminates the mechanism of punching (brittle failure) of the support area and increases the carrying capacity in bending and punching.

The use of hidden metal capitals in beamless slabs for two-level underground parking of the residential complex "Chaika" in the city Zheleznodorozhnyy in Moscow region has allowed to reduce the consumption of concrete more than 3000 cubic meters or increase the total number of parking spaces from 280 to 520 when created additional floor. A specific example of the underground parking confirmed the efficacy of hidden metal capitals in beamless slabs.

The calculation procedure of beamless slab support areas reinforced with hidden metal capitals allows to define the dimensions of capitals in plan, the thickness of the steel sheets and the fracture load in normal sections.

The results of this work show the possibility of using hidden metal capitals in monolithic reinforced concrete beamless slabs of underground parking and the economic feasibility of decisions.