УДК 624.073.135

А.М. Людковский
ООО НПЦ «Реконструкция»

ОПЫТ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КАРКАСА ПЛОСКИМИ КАПИТЕЛЯМИ, УСТАНОВЛЕННЫМИ СВЕРХУ ПЕРЕКРЫТИЯ

Проведены испытания узлов железобетонного каркаса после увеличения нагрузок на усиление. Плиты перекрытия в зонах опирания на колонны были усилены верхними плоскими капителями. После завершения строительных работ узлы были испытаны в построечных условиях пробными нагрузками, превышающими расчетные, замерены прогибы, фиксировалось раскрытие трещин в процессе нагружения. Испытания показали высокую эффективность примененных конструктивных решений.

Ключевые слова: плита перекрытия, колонны, верхние плоские капители, пробные нагрузки, прогибы, раскрытие трещин.

После завершения возведения железобетонного каркаса жилого здания были увеличены расчетные нагрузки с 9,8 до 14,0 кПа, которые не могли воспринять уже изготовленные конструкции. На основании проверочных расчетов потребовалось усилить узлы опирания перекрытий на колонны, в которых на верхней поверхности плит перекрытий уже появились радиально-кольцевые трещины. Было принято решение усилить опорные узлы металлическими капителями и армированными набетонками (рис. 1). Фундаменты здания и колонны имели достаточные резервы несущей способности.

Капители из металлических уголков ($L250 \times 100 \times 16$) крепили к вертикальной арматуре колонн и к горизонтальной арматуре армированных набетонок, устраиваемых вокруг колонн. Металлические капители соединялись на сварке с арматурой колонн. К капителям приваривалась арматура в двух направлениях. Для обеспечения сцепления металлических капителей и арматуры с плитой перекрытия набетонка выполнялась из специального клеевого состава, а также устанавливались вертикальные химические анкера. Размеры армированных набетонок были подобраны из конструктивных соображений: чтобы обеспечить анкеровку дополнительной арматуры, воспринимающей усилия растяжения, возникающие над опорой. Армирование набетонок было принято ∅ 10 А500С с шагом 150 мм. Толщина набетонки 50 мм была принята равной толщине выравнивающей стяжки, заданной в проекте здания. Таким образом, удалось добиться того, что элементы усиления не были видны потребителям после завершения строительных работ.

Необычная конструкция усиления потребовала проведения натурных испытаний усиленных узлов опирания перекрытий на колонны. Были испытаны один узел без усиления с опиранием перекрытия на центральную колонну сечением 400 × 400 мм и четыре усиленных узла: два центральных с опиранием на колонны 400 × 550 мм и два крайних (фасадных) с опиранием на колонны 400 × 400 мм. Крайние узлы без усиления не испытывались из-за большой сложности и большой стоимости страховочных приспособлений.

Рис. 1. Фрагмент конструкций зданий: план набетонок и схема загружений

Железобетонный каркас выполнен из бетона класса В25. Армирование выполнено арматурой А500С. Установлены основные сетки ∅ 12 и дополнительные стержни ∅ 25. Перекрытия выполнены толщиной 200 мм. Колонны по высоте здания имеют различные сечения: 550 × 550, 400 × 400 и 400 × 550 мм. Внутренние стены выполнены из монолитного железобетона. Фасадные стены самонесущие трехслойные.

Методика испытаний была апробирована в процессе испытаний [1] и с учетом опыта [2—6].

Нагрузки в процессе испытаний прикладывались на площади, размеры которой определялись половиной пролетов перекрытия в направлениях буквенных и цифровых осей (см. рис. 1). Для центральных узлов площадь нагружения составила 32 м^2, для крайних узлов — 16 м^2.

Нагружение узлов проводилось кратковременной статической нагрузкой. В процессе испытаний фиксировались трещины и их развитие, измерялись прогибы. Трещины и прогибы сопоставлялись со значениями, допускаемыми нормами и с результатами расчетов методом конечных элементов (МКЭ).

Сложности проведения натурных испытаний в построечных условиях не позволили применять необходимые приборы для возможности полноценного анализа напряженно-деформированного состояния испытанных узлов.

Существовавшая до начала испытаний нагрузка (перекрытие, перегородки из щелевого кирпича без штукатурки и локальные набетонки), условно приведенная к равномерно распределенной, составляла 7,11 кПа.

Нагружение велось мелкоштучными керамзитобетонными блоками. Один этап был принят равным одному слою блоков, что соответствовало распределенной нагрузке на площадке нагружения 1,4 кПа. Нагрузка на узел на одном этапе нагружения получилась для центральных узлов 44,8 и 22,4 кН — для крайних узлов.

Максимальная опытная нагрузка на центральный узел составляла 313,8 и 156,9 кН на крайний узел. Нагрузка на центральный узел, включая массу перекрытия и перегородок, составила 541,32 кН.

До начала испытаний были отрисованы трещины на верхней и нижней поверхностях перекрытий. После приложения нагрузки отрисованные картины трещин на нижней поверхности были скорректированы с учетом их развития в процессе нагружения.

Замеренная прочность бетона плиты в испытанном узле без усиления составляла 14,7 МПа, что практически соответствует проектной величине В25. Прочность бетона всех усиленных узлов составляет 9,7 МПа, что ниже проектного на 32 %. При этом значения прочности различаются в пределах 5 %, т.е. находится в пределах точности измерений [7, 8].

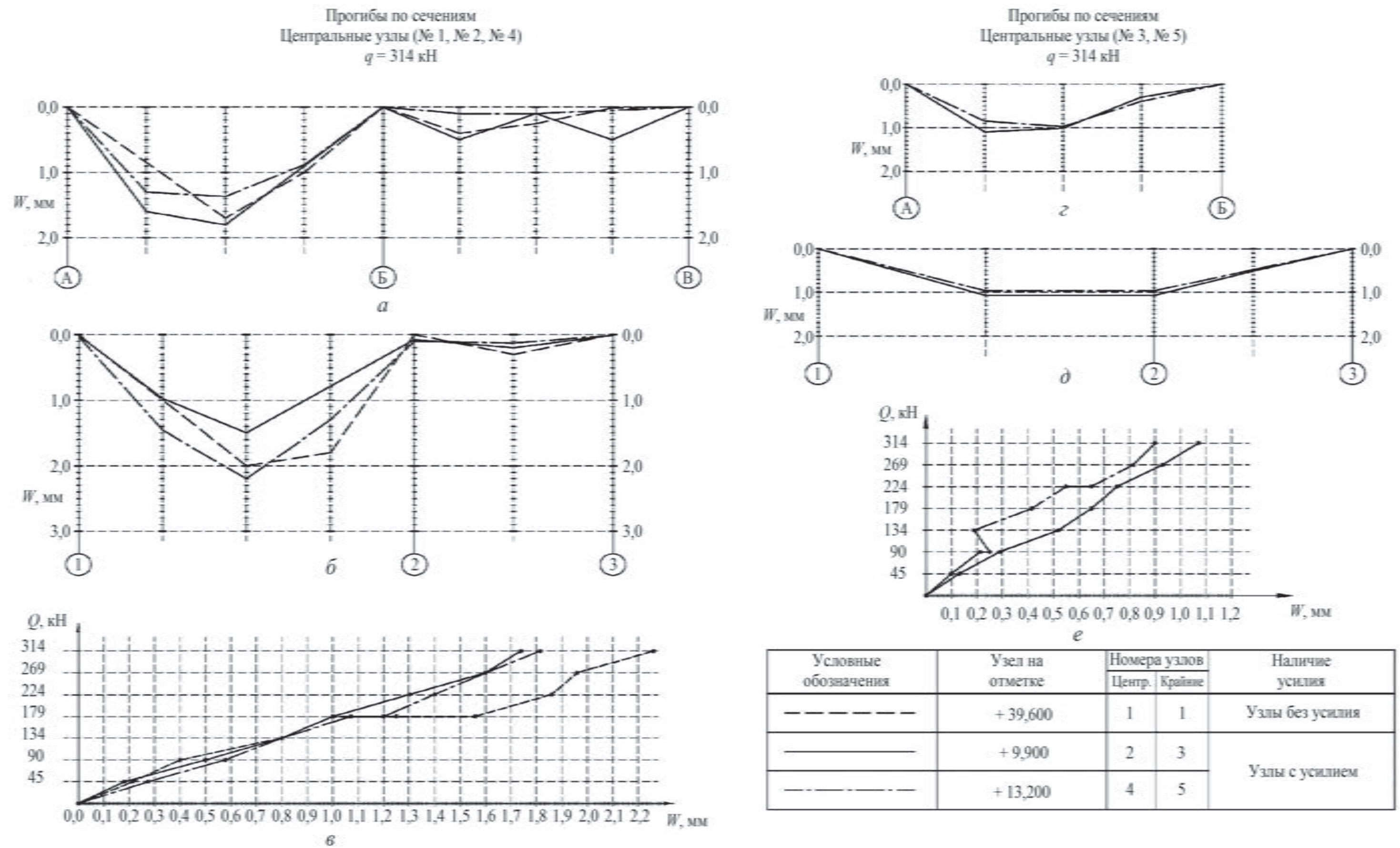
Вскрытие опорных узлов (вне зоны испытаний) выявило особенности фактического армирования узлов и показало их влияние на положение трещин. Поперечная арматура в плите, запроектированная в зоне конуса продавливания, была изготовлена в виде жестких каркасов, компактно установленных по осям колонн. В [9] рекомендовано иное конструктивное решение для поперечной арматуры. Фактическое положение поперечной арматуры позволило учесть ненормируемые факторы и провести оптимизацию конструкций усиления путем установки дополнительных вертикальных химических анкеров, а также снизить стоимость и улучшить технологичность устройства усиления узлов.

Расчеты каркаса МКЭ по программе SCAD с учетом локального нагружения отдельных узлов [10—12] без их усиления показали максимальный прогиб $W_{\max} = 3{,}72$ мм в середине наибольшего пролета. Прогиб определялся при распределенной нагрузке 8,14 кПа для плиты с модулем деформации бетона, сниженным в связи с наличием трещин на нижней и верхней поверхностях плиты

$E_{b.\mathrm{red}} = 27 \cdot 0{,}35 \approx 9520$ МПа.

Испытания центрального узла № 1 (без усиления)

Анализ прогибов. Испытания показали достаточную несущую способность узла опирания плиты перекрытия на центральную колонну при действии кратковременной локальной нагрузки. Нагружение локальной нагрузкой не сопровождалось большими прогибами плиты (рис. 2). Наибольшая величина зафиксированных при нагружении прогибов составила 2,26 мм. Наибольший прогиб, полученный в расчете МКЭ, приведенный к локальной нагрузке 313,8 кН, составляет 4,48 мм — близко к середине пролета квадрата А—Б/1—2.



Условные обозначения	Узел на отметке	Номера узлов Центр.	Номера узлов Крайние	Наличие усилия
— — — — —	+39,600	1	1	Узлы без усилия
————————	+9,900	2	3	Узлы с усилием
—·—·—·—	+13,200	4	5	

Рис. 2. Прогибы по сечениям (центральные и крайние узлы) и в центре плиты — центральные узлы: *а* — отм. +9,900; *б* — отм. +13,200; *в* — оси Б/2. Прогибы в центре плиты А—Б/1—2; крайние узлы: *г* — отм. +9,900; *д* — отм. +13,200; *е* — оси А/2. Прогибы в центре плиты А—Б/1—2 на отм. +9,900 и +13,200

Допустимый нормами прогиб не должен превышать: $W_{доп}$ = 6600 : 250 = = 26,4 мм [13, 14]. Допустимые прогибы сравнивались с полными прогибами, которые складываются из замеренных в процессе нагружения и до испытаний, получавшихся из прогибов плиты после распалубливания и прогибов от нагрузок, возникавших в процессе строительства и после возведения перегородок. Превышения допустимых прогибов не зафиксировано.

Прогибы росли линейно до испытательной нагрузки 224 кН включительно. В то же время был отмечен значительный рост прогибов при выдержке под нагрузкой 179 кН в течение 21 ч, что свидетельствует о проявлении быстро натекающей ползучести, которая не повлияла на линейность роста прогибов при дальнейшем увеличении нагрузки.

Жесткость узла без усиления приопорной зоны, характеризуемая прогибами, мало отличается от усиленных узлов до нагрузки 224 кН. На появление этого феномена повлиял тот фактор, что прочность бетона в узле без усиления была на 32 % выше, чем в усиленном узле. Эффект значительного роста прогибов при выдержке под нагрузкой, составляющей 90 % от расчетной, требует детально разобраться с последствиями развития этого процесса во времени. С большой вероятностью можно прогнозировать через несколько лет нарастание прогибов до того состояния, что они начнут оказывать негативное влияние на напряженно-деформированное состояние плиты. Может произойти объединение трещин на нижней поверхности плиты в пролете и радиально-кольцевых трещин на опоре в единую схему разрушения плиты, близкую к «конвертной». В случае наличия дефектов негативные эффекты, несомненно, проявятся.

Вывод: принятое решение об усилении опорных зон перекрытий — правильное.

Анализ трещин на нижней поверхности перекрытия. До начала испытаний на нижней поверхности перекрытий были зафиксированы трещины, появившиеся от ранее произошедших воздействий. Трещины искались со специальных подмостей с ярким освещением поверхности бетона. Трещин раскрытием более 0,1…0,3 мм не зафиксировано. Трещин раскрытием 0,3 мм было мало. Схемы трещин соответствуют расчетам и традиционным представлениям о работе неразрезных железобетонных плит. В процессе нагружения на первых пяти этапах до нагрузки 224 кН значительного развития трещин на нижней поверхности перекрытия не было замечено. По окончании испытания и снятия нагрузки фиксировалась получившаяся картина трещин.

Анализ трещины в узле в осях Б/2 на верхней поверхности перекрытия. Визуально проявилась сеть радиально-кольцевых трещин с раскрытием 0,1…0,3 мм в радиусе 1…2 м вокруг колонны. Кольцевых трещин было немного. На других узлах (с меньшей прочностью бетона) раскрытие радиально-кольцевых трещин наблюдалось до 1 мм и более.

Во время испытания верхняя поверхность перекрытия вокруг колонны была закрыта керамзитобетонными блоками, которыми загружали узел, поэтому развитие этих трещин не фиксировалось.

Вероятной причиной появления радиально-кольцевой системы трещин на верхней поверхности перекрытий вокруг колонн является особенность армирования опорной зоны поперечной арматурой в виде хомутов, образующих жесткие объемные структуры из арматуры. В результате, в процессе набора прочности бетона происходит усадка в условиях стесненных деформаций бетона.

Результаты расчетов и их сопоставление с данными испытаний. Расчет на продавливание по [15] проектного узла без усиления показал, что прочность узла не обеспечена ($K < 1$).

Расчет по программе SCAD напряженно-деформированного состояния узла с фактическими радиально-кольцевыми трещинами большого раскрытия (более 0,5 мм) на верхней поверхности плиты показал, что при нагрузке на узел 179,5 кН (90 % от расчетной) может образоваться пластический шарнир в плите по контуру колонны в результате значительного нарастания прогибов под длительным действием нагрузки высокого уровня.

Фактически пластический шарнир по контуру колонны не образовался, так как на верхней поверхности плиты не было зафиксировано кольцевых трещин большого раскрытия (более 0,5 мм) и, соответственно, глубина трещин не достигала верхнего фонового армирования плиты. В процессе натурного испытания срез по контуру колонны не произошел, по-видимому, из-за достаточной высоты сжатой зоны бетона и из-за нагельного эффекта арматуры, проходящей через колонну. Прочность на продавливание обеспечена достаточным количеством поперечной арматуры в опорной зоне плиты. Однако в ходе испытаний, как было отмечено выше, при выдержке под нагрузкой 179,5 кН было зафиксировано значительное нарастание прогибов. При этом в ходе дальнейшего увеличения нагрузки прогибы продолжали расти линейно. По-видимому, усилия перераспределились с бетона на арматуру.

Картины прогибов в расчете и в эксперименте близкие. Учет в расчете кратковременности нагрузки и наличия трещин в плите (k = 0,7) дает совпадение расчетного и опытного прогибов.

Расчеты примененных нами сложных опорных узлов в нелинейной постановке возможны при использовании специализированного современного расчетного комплекса. Проведение такой работы позволит детально проанализировать объемные напряженно-деформированные состояния узлов и разработать рекомендации по конструированию.

Испытания усиленных узлов

Прогибы центральных усиленных узлов под нагрузкой были близки как по распределению, так и по величине к прогибам неусиленного узла (см. рис. 2). Учитывая, что прочность бетона усиленных узлов была на 32 % меньше, можно сделать вывод, что усиление узлов снижает деформативность перекрытий под нагрузкой.

На нижней поверхности перекрытий картины трещин, зафиксированные до начала испытаний и по их окончанию, близки к описанным выше. Трещины на верхней поверхности были скрыты под армированной набетонкой усиления опорных узлов.

После усиления верхними капителями опорных узлов толщина перекрытия на опорах была увеличена с 20 до 25 см. Особенности использованных расчетных комплексов МКЭ (SCAD и Ing+) не позволили выделить влияние этого фактора. Особенно интересно было выяснить снижение значений моментов над опорами, что принципиально важно для расчетов на продавливание.

Распределение и значение прогибов в расчетах и в опытах были достаточно близки.

Испытания «крайних» (фасадных) узлов. Нагружение «крайних» узлов опирания перекрытий на колонны, размещенные вплотную к фасадным стенам, происходило уже после окончания кирпичной кладки стен высотой «на этаж», опертых на перекрытия. Опытную нагрузку узлы выдержали без появления опасных дефектов.

Расчеты этих узлов на продавливание, сделанные на основе СП 52-101—2003, не учитывали наличие свесов перекрытий, загруженных кирпичными стенами. Одна из причин этого — наличие термовставок в перекрытиях, отделяющих свесы перекрытий вне колонн. С точки зрения учета моментов, передаваемых колоннами на перекрытия, это — некорректно. Поэтому ряд факторов был принят в запас.

Сопоставление результатов для узла без усиления и усиленных узлов

Прогибы. При нагружении всех трех испытанных центральных узлов при нагружении узла в осях Б/2 прогибы плиты между колоннами в осях Б/2 и В/2 растут заметно медленнее, чем между колоннами в осях А/2 и Б/2. Объяснить это явление можно предположением, что перегородка по оси Б’ приклеивается на цементном клее к перекрытию в процессе кладки. После этого перекрытие работает совместно с перегородкой, которая в этом случае является верхним ребром.

Трещины. На рис. 2 видно, что прогибы перекрытий с усиленными узлами опирания ниже, чем в случае узла без усиления. Сопоставление картин трещин в плите с узлами без усиления и в плитах с усиленными узлами показывает существенные различия. В перекрытиях с усиленными узлами трещины более короткие, в радиусе 1…2 м от колонны они практически отсутствовали.

По этим видимым картинам можно сделать очевидный вывод, что усиление узлов опирания плоскими капителями повышает жесткость перекрытия.

Выводы. 1. Проведены испытания четырех усиленных узлов каркаса. Результаты испытаний показали достаточную прочность, жесткость и трещиностойкость испытанных узлов (два центральных и два крайних) при действии кратковременной статической локальной нагрузки. Величина максимальной нагрузки определена равной полной расчетной нагрузке с коэффициентом надежности 1,2.

2. Прогибы, замеренные в процессе испытания узлов, были значительно меньше допустимых нормами. Трещины раскрытием до 0,3 мм, зафиксированные на нижней поверхности до начала испытаний после приложения испытательной нагрузки, не получили опасного развития (max раскрытие 0,5 мм). После снятия нагрузки трещины не закрылись. Описанный характер трещинообразования показал, что армирование плиты в пролете обеспечивает требуемые прочность и трещиностойкость.

3. Испытания узлов опирания монолитных железобетонных перекрытий на колонны, усиленных верхними капителями как объемными железобетонными, так и плоскими металлическими, показали высокую эффективность примененных конструктивных решений.

Библиографический список

1. *Кудряшов С.Ю., Людковский А.М.* Опыт усиления плиты покрытия подземной автостоянки армированной набетонкой // Бетон и железобетон. 2011. № 1. С. 13—16.

2. *Золотухин Ю.Д., Барбакадзе В.Ш., Герасимов И.Д., Страбахин Н.И.* Испытание сооружений : справ. пособие / под ред. Ю.Д. Золотухина. Минск : Вышэйшая шк., 1992. 272 с.

3. *Авдейчиков Г.В.* Испытание строительных конструкций. М. : Изд-во АСВ, 2009. 160 с.

4. *Людковский А.М.* О моделировании работы массивных железобетонных элементов АЭС при действии концентрированных нагрузок // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Проектирование и строительство. 1986. Вып. 3.

5. *Болгов А.Н., Сокуров А.З., Алексеенко Д.В*. Продавливание крайних узлов сопряжения плита — колонна, усиленных вклеенной поперечной арматурой // Бетон и железобетон. 2013. № 3. С. 11—14.

6. *Болгов А.Н., Сокуров А.З., Алексеенко Д.В.* Продавливание промежуточных узлов сопряжения плита — колонна, усиленных вклеенной поперечной арматурой // Бетон и железобетон. 2014. № 3. С. 10—14.

7. ГОСТ 17624—87. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/gost-17624-87. Дата обращения: 05.03.2015.

8. ГОСТ 22690—88. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/gost-22690-88. Дата обращения: 05.03.2015.

9. *Тихонов И.Н.* Армирование элементов и монолитных железобетонных зданий : Пособие по проектированию. М. : ФГУП ЦПП, 2007. 170 с.

10. *Капиловский В.С., Криксунов А.З., Маляренко А.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А*. SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD. М. : СКАД СОФТ, 2007. 592 с.

11. *Гвоздев А.А., Байков В.Н.* К вопросу о поведении железобетонных конструкций в стадии близкой к разрушению // Бетон и железобетон. 1977. № 9. С. 22—24.

12. *Манискевич Е.С., Морозенский В.Л., Пыжов Ю.К.* Прочность на продавливание опорных зон перекрытий, возводимых методом подъема // Бетон и железобетон. 1982. № 4. С. 21—22.

13. СНиП 2.01.07—85. Нагрузки и воздействия // Электронная библиотека документов. Режим доступа: http://focdoc.ru/down/o-1842.html. Дата обращения: 05.03.2015.

14. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07—85* // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/1200084848. Дата обращения: 05.03.2015.

15. СП 52-101—2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/1200037361. Дата обращения: 05.03.2015.

Поступила в редакцию в феврале 2015 г.

Об авторе: **Людковский Андрей Михайлович** — кандидат технических наук, директор, **ООО НПЦ «Реконструкция»**, 115280, г. Москва, ул. Автозаводская, д. 1, stroybis@mail.ru.

Для цитирования: *Людковский А.М.* Опыт усиления железобетонного каркаса плоскими капителями, установленными сверху перекрытия // Вестник МГСУ. 2015. № 4. С. 80—89.

A.M. Lyudkovskiy

THE EXPERIENCE OF STRENGTHENING REINFORCED CONCRETE FRAME BY FLAT CAPITALS, INSTALLED ON THE TOP OF SLABS

The investigations were conducted of the nodes of reinforced concrete frame after increasing loads. The floor slabs in areas of bearing on the columns were reinforced by upper flat capitals. After the completion of construction works the nodes were tested in construction conditions by test loads exceeding the designed ones. The deflections were measured, disclosure of cracks was recorded in the process of loading. The tests have shown high efficiency of the applied design solutions.

The calculations were conducted on the example of reinforced concrete frame of a residential building, the designed loads on which were increased from 9.8 up to 14.0 kPa after completion of construction. Basing on the calculations it was needed to reinforce the nods of slabs' bearing on the columns, in which there already appeared cracks on the upper surfaces of slabs. It was decided to strengthen the bearing nodes by metal capitals and reinforced concrete footings. The foundations and columns of the building possessed sufficient reserves of bearing capacity.

Key words: floor slab, columns, flat top capitals, test loads, deflections, crack opening.

References

1. Kudryashov C.Yu., Lyudkovskiy A.M. Opyt usileniya plity pokrytiya podzemnoy avtostoyanki armirovannoy nabetonkoy [Experience of Strengthening a Floor Slab of Underground Parking by Reinforced Concrete Footings]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2011, no. 1, pp. 13—16. (In Russian)

2. Zolotukhin Yu.D., Barbakadze V.Sh., Gerasimov I.D., Strabakhin N.I. *Ispytanie sooruzheniy : spravochnoe posobie* [Testing Structures. Reference Book]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1992, 272 p. (In Russian)

3. Avdeychikov G.V. *Ispytanie stroitel'nykh konstruktsiy* [Testing Building Structures]. Moscow, ASV Publ., 2009, 160 p. (In Russian)

4. Lyudkovskiy A.M. O modelirovanii raboty massivnykh zhelezobetonnykh elementov AES pri deystvii kontsentrirovannykh nagruzok [On Modeling Massive Concrete Elements Operation of NPP under the Action of Concentrated Loads]. *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Seriya: Proektirovanie i stroitel'stvo* [Problems of Nuclear Science and Technology. Series: Design and Construction]. 1986, no. 3. (In Russian)

5. Bolgov A.N., Sokurov A.Z., Alekseenko D.V. Prodavlivanie kraynikh uzlov sopryazheniya plita — kolonna, usilennykh vkleennoy poperechnoy armaturoy [Punching of the Hips of the Junctions Slab — Column Reinforced by Glued Transverse Reinforcement]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2013, no. 3, pp. 11—14. (In Russian)

6. Bolgov A.N., Sokurov A.Z., Alekseenko D.V. Prodavlivanie promezhutochnykh uzlov sopryazheniya plita — kolonna, usilennykh vkleennoy poperechnoy armaturoy [Punching of the Intermediate Nodes of the Junctions Slab — Column Reinforced by Glued Transverse Reinforcement]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 2014, no. 3, pp. 10—14. (In Russian)

7. GOST 17624—87. Betony. Ul'trazvukovoy metod opredeleniya prochnosti [Russian State Standard GOST 17624—87. Concretes. Ultrasound Method of Strength Determination]. *Elektronnyy fond pravovoy i normativno-tekhnicheskoy dokumentatsii* [Electronic Fund of Legislative and Normative-Technical Documentation]. Available at: http://docs.cntd.ru/document/gost-17624-87. Date of access: 05.03.2015. (In Russian)

8. GOST 22690—88. Betony. Opredelenie prochnosti mekhanicheskimi metodami nerazrushayushchego kontrolya [Russian State Standard GOST 22690—88. Concretes. Determining the Strength by Mechanical Methods of Undischatged Control]. *Elektronnyy fond*

pravovoy i normativno-tekhnicheskoy dokumentatsii [Electronic Fund of Legislative and Normative-Technical Documentation]. Available at: http://docs.cntd.ru/document/gost-22690-88. Date of access: 05.03.2015. (In Russian)

9. Tikhonov I.N. *Armirovanie elementov i monolitnykh zhelezobetonnykh zdaniy : Posobie po proektirovaniyu* [Reinforcement of the Elements and Monolithic Reinforced Concrete Buildings : Manual on Design]. Moscow, FGUP TsPP Publ., 2007, 170 p. (In Russian)

10. Kapilovskiy V.S., Kriksunov A.Z., Malyarenko A.A., Perel'muter A.V., Perel'muter M.A. *SCAD Office. Vychislitel'nyy kompleks SCAD* [SCAD Office. Computing System SCAD]. Moscow, SKAD SOFT Publ., 2007, 592 p. (In Russian)

11. Gvozdev A.A., Baykov V.N. K voprosu o povedenii zhelezobetonnykh konstruktsiy v stadii blizkoy k razrusheniyu [On the Question of Reinforced Concrete Structures Operation in a Stage Close to Destruction]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 1977, no. 9, pp. 22—24. (In Russian)

12. Maniskevich E.S., Morozenskiy V.L., Pyzhov Yu.K. Prochnost' na prodavlivanie opornykh zon perekrytiy, vozvodimykh metodom pod"ema [Punching Shear Strength of the Support Zones of the Slabs, Constructed by the Method of Lifting]. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 1982, no. 4, pp. 21—22. (In Russian)

13. SNiP 2.01.07—85. Nagruzki i vozdeystviya [Construction Norms SNiP 2.01.07—85. Loads and Impacts]. *Elektronnaya biblioteka dokumentov* [Electronic Library of Documents]. Available at: http://focdoc.ru/down/o-1842.html. Date of access: 05.03.2015. (In Russian)

14. SP 20.13330.2011. Nagruzki i vozdeystviya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07—85* [Requirements SP 20.13330.2011. Loads and Impacts. Revised Edition of Construction Norms SNiP 2.01.07—85*]. *Elektronnyy fond pravovoy i normativno-tekhnicheskoy dokumentatsii* [Electronic Fund of Legislative and Normative-Technical Documentation]. Available at: http://docs.cntd.ru/document/1200084848. Date of access: 05.03.2015. (In Russian)

15. SP 52-101—2003. Betonnye i zhelezobetonnye konstruktsii bez predvaritel'nogo napryazheniya armatury [Requirements SP 52-101—2003. Concrete and Reinforced Concrete Structures without Prestress of Reinforcement]. *Elektronnyy fond pravovoy i normativno-tekhnicheskoy dokumentatsii* [Electronic Fund of Legislative and Normative-Technical Documentation]. Available at: http://docs.cntd.ru/document/1200037361. Date of access: 05.03.2015. (In Russian)

About the author: **Lyudkovskiy Andrey Mikhaylovich** — Candidate of Technical Sciences, director, **LLC Scientific Production Center "Reconstruction"**, 1 Avtozavodskaya str., Moscow, 115280, Russian Federation; stroybis@mail.ru.

For citation: Lyudkovskiy A.M. Opyt usileniya zhelezobetonnogo karkasa ploskimi kapitelyami, ustanovlennymi sverkhu perekrytiya [The Experience of Strengthening Reinforced Concrete Frame by Flat Capitals, Installed on the Top of Slabs]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015, no. 4, pp. 80—89. (In Russian)