

УДК 693.5

СИСТЕМА «МОНОФАНТ» ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КАРКАСОВ

В.С. Шмуклер, проф., д.т.н., Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова, С.А. Бугаевский, доц., к.т.н., Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, В.Б. Никулин, гл. инженер, ОДО «Жилстрой-2», г. Харьков

Аннотация. Разработана новая архитектурно-строительная система для возведения монолитных железобетонных зданий и сооружений, в которой неизвлекаемые вкладыши-пустотообразователи используют для уменьшения веса не только железобетонных перекрытий, но и всех основных элементов каркасного здания.

Ключевые слова: самонесущий остов, арматурный каркас, неизвлекаемые вкладыши-пустотообразователи, торкрет-фибробетон, самоуплотняющийся бетон.

СИСТЕМА «МОНОФАНТ» ДЛЯ ЗВЕДЕННЯ МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КАРКАСІВ

В.С. Шмуклер, проф., д.т.н., Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, С.О. Бугаєвський, доц., к.т.н., Харківський національний автомобільно-дорожній університет, В.Б. Нікулін, гол. інженер, ТДВ «Жилбуд-2», м. Харків

Анотація. Розроблено нову архітектурно-будівельну систему для зведення монолітних залізобетонних будівель і споруд, в якій вкладиші-пустотоутворювачі, що не виймаються, використовують для зменшення ваги не тільки залізобетонних перекриттів, але і всіх основних елементів каркасної будівлі.

Ключові слова: самонесучий остов, арматурний каркас, вкладиші-пустотоутворювачі, що не виймаються, торкрет-фібробетон, бетон, що самоупільнюється.

«MONOFANT» SYSTEM FOR CONSTRUCTION OF CAST REINFORCED CONCRETE FRAMES

V. Shmukler, Prof., Ph.D. (Eng.), Kharkiv National University of Urban Development after O. Beketov, S. Buhayevskiy, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), Kharkiv National Automobile and Highway University, V. Nikulin, Chief-Engineer, Zhilstroy-2 Company, Kharkiv

Abstract. A new architectural construction system for erection of cast reinforced concrete buildings and structures wherein non-removable void-forming inserts are used to reduce the weight of not only cast reinforced concrete floors, but of all basic elements of a frame building is developed.

Key words: self-bearing framework, reinforcement cage, non-removable void-forming inserts, sprayed fiber concrete, self-compacting concrete.

Введение

Архитектурно-строительные системы в нашей стране и за рубежом, предназначенные для

многоэтажных жилищно-гражданских объектов, в сочетании со сложившейся строительной базой в основном ориентированы на использование каркасных конструкций. При

этом материалом для остова сооружения является монолитный или сборный железобетон, либо сталь. Стены, как правило, многослойные, выполняются непосредственно на площадке самонесущими или навесными из эффективных неармированных материалов. Анализ современного состояния и перспективы развития зданий обсуждаемой направленности, кроме поиска новых конструктивных решений, обуславливают, наряду с упомянутым, соответствие при разработке системы условиям комфортности проживания, экологической чистоты, архитектурно-художественной выразительности сооружений, возведенных из ее элементов и т.д. Решение этой проблемы представляет собой набор сложных многофакторных и многокритериальных задач, во многом внутренне противоречивых.

Анализ публикаций

Развитие современного строительства с применением монолитного и сборного железобетона можно разбить на несколько направлений:

1. Создание новых архитектурных форм для различных жилищно-гражданских объектов.
2. Увеличение оборачиваемости опалубки или ее минимальное применение.
3. Совершенствование методов устройства облегченных конструкций.
4. Совершенствование традиционных технологий бетонирования за счет применения принципиально новых материалов (самоуплотняющийся бетон, неметаллическая арматура и фибра).

В большинстве построенных объектов применяется комбинация из перечисленных новаций.

Наиболее рациональными, практически не имеющими граничных условий по применению являются пространственные конструкции в виде сферических куполов, представляющих выпуклую пологую или подъемную оболочку на круглом, эллиптическом и полигональном плане. Они широко применяются для возведения из железобетона зданий жилищного и гражданского применения (офисы, школы, церкви, спортивные арены, театры, ангары, дома или жилые комплексы и т.д.) [1, 2].

Предложен метод конструирования с учетом глобальных и локальных принципов проектирования с использованием складывания и вдохновленный японским оригами. Тонкостенные бетонные плиты снабжены рисунком складок и сложены в сложные пространственные структуры. С этой техникой складывания можно создавать конструкции из железобетона с большой несущей способностью. Полученные структуры характеризуются небольшим расходом материалов, привлекательным дизайном и экономичностью производства без использования сложной опалубки. Возможно применение сложенных железобетонных конструкций в фасадных системах взамен доминирующих металлических и пластмассовых, а также в качестве «опалубки» для конструкций сложной геометрии [3].

Одним из примеров создания новых архитектурных форм является «Музей истории польских евреев» в г. Варшава [4]. В главном зале здания с помощью торкрет-бетона возведены две волнообразные стены, являющиеся наиболее важным элементом, формирующим внутреннюю эстетику, а также служащим в качестве структурной поддержки потолка прихожей. Обе стены начинаются с первого этажа и охватывают всю высоту здания от фундамента до крыши. Каркас стены, на который наносился торкрет-бетон, представлял собой криволинейную решетчатую конструкцию из стальных труб и листов фанеры, выполненных с необходимой кривизной и служащих экраном для укладки бетона.

В 2013 г. компания «Rocky Mountain Prestress» была отмечена за изготовление трех конических вентиляционных башен, предназначенных для подземной автостанции железнодорожного вокзала «Denver Union» [5]. Вентиляционные башни имеют форму усеченного конуса и расположены под наклоном. Каждый конус был поделен на секции, на определенной высоте и под разными углами, для придания башням различных форм: широких, средних и узких. Каждая башня включала шесть элементов блочного типа, поэтому для осуществления проекта понадобилось 18 индивидуальных форм.

Возведение тонкостенных пространственных конструкций базируется на применении технологии укладки бетона методом торкретирования на съемную опалубку. Применяются различные методы для строительства желе-

зобетонных куполов: «Polystyrene wedge method», «Pneumatic formwork method» и «Segment lift method» [6]. Основная идея методов заключается в преобразовании прочного материала в съемную опалубку купольной структуры.

Однако эти методы не в состоянии конкурировать с обычными методами строительства для использования в массовом строительстве из-за слишком большой трудоемкости, сложности и дороговизны. Предложенный «The pneumatic wedge method» основан на идее использования пневматических клиньев, что позволит расширить возведение тонкостенных пространственных конструкций [6, 7].

Широко распространена технология изготовления сборно-монолитных панелей перекрытий, состоящих из сборной нижней обшивки с выпусками продольной арматуры и вкладышами из пенополистирола или вторичной пластмассы. Вкладыши автоматически утапливаются в свежий бетон на заводе или раскладываются на месте перед бетонированием остальной части панели. Для устройства перекрытия используют только телескопические стойки, которые поддерживают перекрытие до набора монолитного бетона необходимой прочности [8].

Современные методы возведения зданий и сооружений направлены на уменьшение собственного веса и снижение материалоемкости устройства железобетонных перекрытий за счет применения пластмассовых элементов опалубки купольной формы (перекрытия кессонного типа) или легких неизвлекаемых вкладышей-пустотообразователей различной формы (облегченные перекрытия).

Для устройства кессонного перекрытия используют специальный комплект опалубки, состоящий из телескопических стоек, металлической обрешетки, располагаемой с учетом размеров пластмассовых кессонообразователей. Кессонообразователи имеют небольшой вес и раскладываются и снимаются вручную. Последовательность устройства кессонных перекрытий практически не отличается от устройства сплошных перекрытий, за исключением особенности укладки пластмассовой опалубки.

Перекрытия кессонного типа, как правило, ориентированы на контурное опирание, не обладают ровной потолочной поверхностью и предполагают устройство подвесного по-

толка, что ведет к дополнительному расходу материалов и трудозатратам. Такого типа перекрытия не применяют при строительстве жилых зданий.

Облегченные перекрытия с легкими неизвлекаемыми вкладышами-пустотообразователями нашли широкое применение в строительстве. Применяют вкладыши, имеющие форму сферы, блока или колпака, из вторичной пластмассы (технологии «Airdeck», «Beeplate», «BubbieDeck», «Cobiax», «DONUT TYPE», «U-BOOT» и др.) или из пенополистирола [8–10].

Основные современные материалы, которые постоянно исследуются и находят все более широкое применение для возведения железобетонных конструкций зданий и сооружений, – это торкрет-фибробетон и самоуплотняющийся бетон; их рациональная область применения приведена в следующих работах [11, 12].

Цель и постановка задачи

Целью исследования является разработка новой архитектурно-строительной системы для возведения монолитных железобетонных зданий и сооружений, а также технологии возведения конструкций с помощью укладки фибробетона торкретированием и применения самоуплотняющегося бетона.

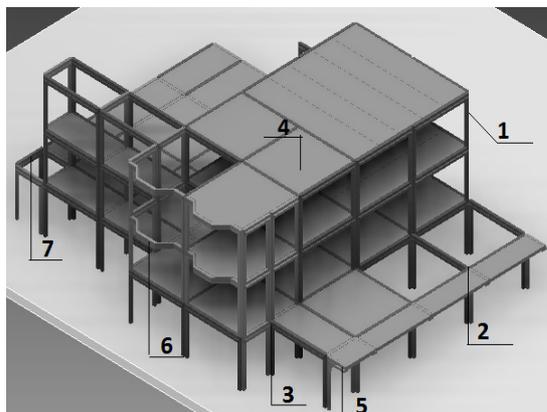
Предметом исследования являются технологические процедуры формирования монолитного железобетонного каркаса, возводимого с применением неизвлекаемых вкладышей-пустотообразователей в элементах конструкции (колонны, стены, перекрытия и т.д.).

Развитие архитектурно-строительных систем

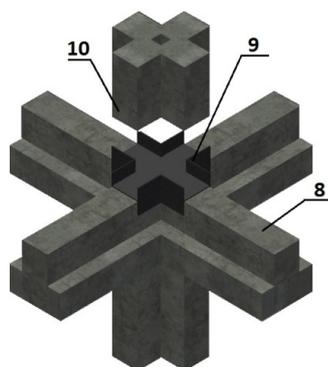
Для массового жилищно-гражданского строительства в Украине разработаны разные архитектурно-строительные системы: «РАМПА», «ИКАР» и «ДОБОЛ» [13].

Основой архитектурно-строительной системы «РАМПА» (аббревиатура: рама-панель) является каталог ее изделий, выполняемых из сборного железобетона, в который входят плоские рамы-панели $3,6 \times 3,3$ (h) м и панели перекрытия $3,6 \times 3,6$ м (рис. 1, 2).

Рамы-панели располагаются в здании в двух направлениях, образуя составные стойки веерного, квадратного, крестового, таврового либо уголкового сечения.



а



б

Рис. 1. Каркасная система «РАМПА»: а – каркас; б – узел объединения рам; 1 – железобетонная рама; 2 – металлический узловый элемент (кондуктор); 3 – составная колонна; 4 – панель перекрытия; 5 – консольная рама-панель; 6 – эркерная рама; 7 – ригель рамы; 8 – рама нижнего этажа; 9 – кондуктор; 10 – рама верхнего этажа

В пределах одной композиции допускается использование ячеек с размерами 3,6×3,6 м; 3,6×1,8 м; 1,8×1,8 м; 3,6×7,2 м; 7,2×7,2 м. Ячейка размером 7,2×7,2 м организуется только за счет большепролетных плит перекрытия, при этом опорный контур состоит из рам-панелей, имеющих пролет 1,8 м или 3,6 м.

Другими словами, в системе исключается применение большепролетных рам-панелей, что облегчает проведение технологических операций.



Рис. 2. Примеры возведенных зданий каркасной системы «РАМПА»

Отличительной особенностью системы «ИКАР» (аббревиатура: индустриальный каркас) является отсутствие в ее номенклатуре плоских крупногабаритных элементов типа рам-панелей и панелей перекрытия «на ячейку» (рис. 3, 4). Основные ячейки каркаса имеют размеры 4,2×4,2 м; 4,2×2,1 м; 6,0×6,0 м; 8,4×8,4 м. Введена также треугольная ячейка. Высота этажа может изменяться от 2,8 до 4,2 м. Колонны выполняются из бетона класса не ниже, чем В30. Минимальное (при необходимости – и единственное) сечение колонны – 250×250 мм.

Здание бескаркасной системы «ДОБОЛ» (аббревиатура: дом-оболочка) состоит из двух основных конструктивных элементов: стен, возводимых в виде тонкостенной монолитной (кирпичной, блочной, бетонной) оболочки, и сборных дисков перекрытий (рис. 5, 6). Таким образом, здание представляет собой оболочку, в общем случае – прямоугольную в плане. Оболочка ослаблена проемами.

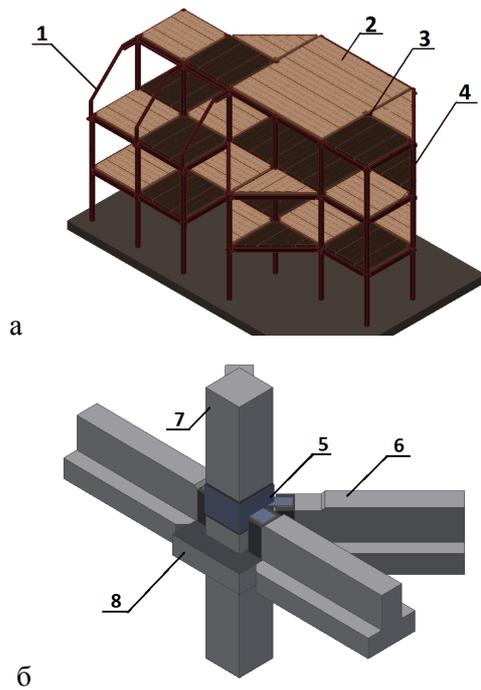


Рис. 3. Каркасная система «ИКАР»: а – каркас; б – узел опирания ригелей на колонну: 1 – мансардная рамка; 2 – панель; 3 – узел опирания ригелей; 4 – колонна; 5 – узловой металлический элемент; 6 – ригель; 7 – верхняя колонна; 8 – нижняя колонна



Рис. 4. Примеры возведенных зданий каркасной системы «ИКАР»

Здание системы «ДОБОЛ» может компоноваться в общем случае из разновысоких отдельных объёмов, имеющих соотношение сторон, изменяющееся в диапазоне 1–1,5.

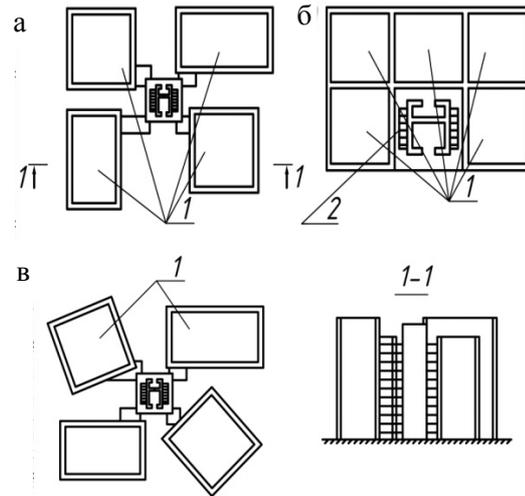


Рис. 5. Варианты блокировки ячеек здания системы «ДОБОЛ»: а – с независимыми контурами; б – с совмещёнными опорными контурами; в – с поворотом контуров; 1 – жилые блоки; 2 – лифто-лестничной блок



Рис. 6. Примеры возведенных зданий каркасной системы «ДОБОЛ»

При этом лифто-лестничной узел с расположенными в нем стояками сетей выделяется в самостоятельный блок. Подобные решения позволяют максимально загрузить коммуникационную ячейку, уменьшив тем самым стоимость 1 м^2 площади. Локализация расположения инженерных сетей повышает комфортность проживания и улучшает их экс-

плутацию. Проектируемые блоки могут стыковаться между собой как независимые либо иметь общие стены.

Стыковку допустимо осуществлять со сдвижкой в плане, а также с поворотом блоков относительно друг друга. Непременным условием в данном случае является самодостаточность каждого блока, в смысле его прочности, жёсткости и устойчивости, что должно проявляться в сопротивлении внешним нагрузкам без взаимовлияния остальных. С целью создания равнозагруженности стенового контура количество перекрытий в блоке проектируется чётным, а на двух соседних этажах или ячейках плиты укладываются с поворотом на угол 90° [13].

Опираение элементов перекрытия систем «ИКАР» и «ДОБОЛ» осуществлено друг на друга от центра ячейки к контуру и при нечётном количестве плит перекрытия в диске обеспечивает этажную схему опирания и передачи нагрузки с плиты на плиту (рис. 7). Кроме этого, этажная схема опирания плиты на плиту за счёт действия собственного веса плит обеспечивает совместность их вертикальных перемещений (односторонняя связь).

При этом по своей верхней поверхности все элементы перекрытия соединены листовыми накладками с ригелями, а также друг с другом в отдельных точках, причём последние расположены вдоль линий действия максимальных крутящих моментов (рис. 8). Данное расположение продиктовано соображениями рационального выбора количества и топологии связей в плане диска перекрытия [13].

Перекрытие ячейки состоит из нечётного количества плит балочного типа, причём в соседних ячейках плиты перекрытия укладываются с поворотом на 90° , то есть во взаимно перпендикулярных направлениях (рис. 7–9). Крайние (в ячейке) элементы перекрытия за счет имеющейся на их боковой продольной грани подрезки опираются на ригель одного направления, а за счёт подрезки на боковой грани короткой стороны – на ригели второго направления. Средний элемент перекрытия опирается по коротким сторонам на ригели, а по продольным – на крайние элементы перекрытия.

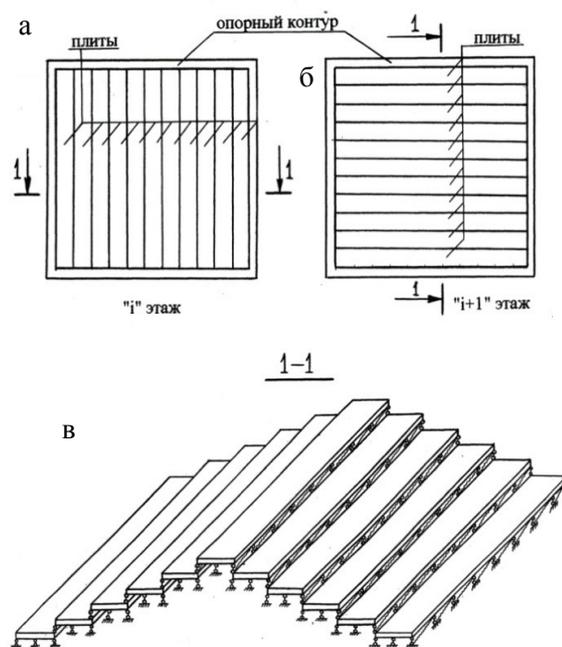


Рис. 7. Расчётная схема диска перекрытия: а, б – компоновка диска перекрытия; в – этажная схема

Плиты перекрытия укладываются в ячейку, начиная от ее краёв, а последней укладывается центральная плита. Это связано с требуемой последовательностью полноценного включения в работу всех элементов перекрытия. Заведение плит перекрытия продольной стороной на опору, а также объединение плит между собой в отдельных точках обеспечивает совместность вертикальных перемещений в них и позволяет представить диск перекрытия в виде некоторой пластинчато-шарнирной системы.

Дополнительным требованием к составному пластинчато-шарнирному диску, кроме перечисленных, является необходимость восприятия элементами перекрытия значительных крутящих моментов, что обеспечивается их коробчатым поперечным сечением, наличием торцевых диафрагм в плитах, а также объединением плит между собой и с ригелями листовыми накладками. Трансформация сборного балочного диска в составной пластинчато-шарнирный диск позволяет повысить жёсткость диска и, соответственно, перекрывать большие пролёты, не используя предварительное напряжение арматуры, как в балочных системах [13].

Предлагаемый здесь подход позволил сформулировать требования к конструкции, включающие применение предварительного

натяжения арматуры в плитах для пролетов 6,0 м, 7,2 м и 8,4 м, а также минимизировать стоимость их объединения. Отдельные плиты (третий элемент) изготавливаются двух типов для ячеек 4,2×4,2 м, 6,0×6,0 м и трех типов – для ячейки 8,4×8,4 м. При этом введены понятия крайних и средних плит. Крайних плит в одной ячейке 4,2×4,2 м должно быть чётное количество, а средняя плита находится там же в одном экземпляре.

В ячейке 8,4×8,4 м, кроме перечисленных, уложена средняя плита второго типа, расположенная в центре (рис. 9). Она имеет обратные, по отношению к средней плите первого типа, подрезки и практически опирается на консоли колонн своими короткими сторонами. Последнее приводит к ее меньшей деформативности, по сравнению с плитами, опёртыми на ригели.

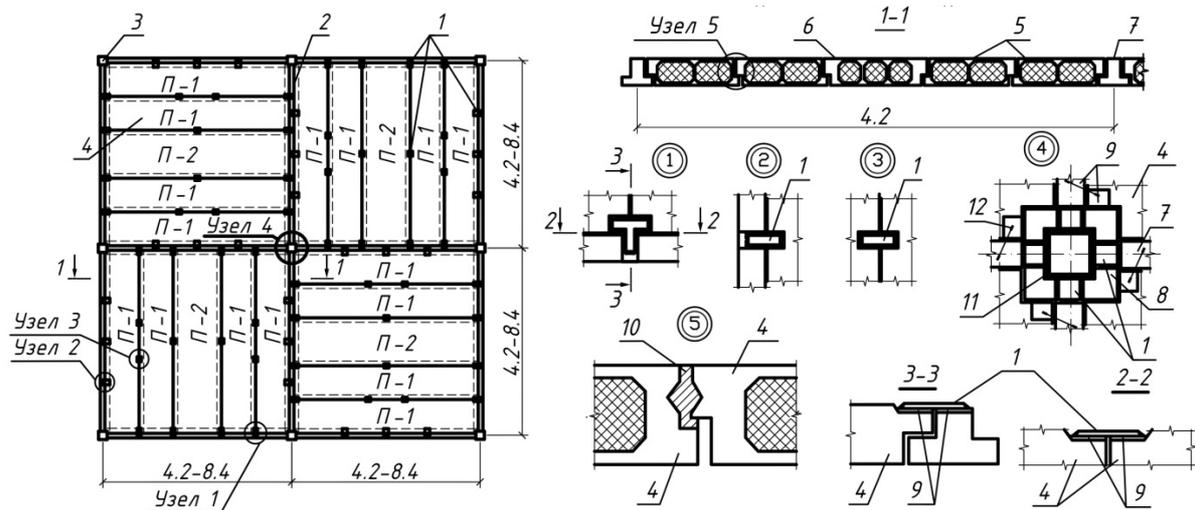


Рис. 8. Компонка диска перекрытия системы «ИКАР»: 1 – листовая накладка; 2 – листовая накладка; 3 – колонна; 4 – плита; 5 – крайняя плита; 6 – средняя плита; 7 – ригель; 8 – консоль колонны; 9 – закладные детали; 10 – бетонная шпонка; 11 – узловой элемент; 12 – коротыш

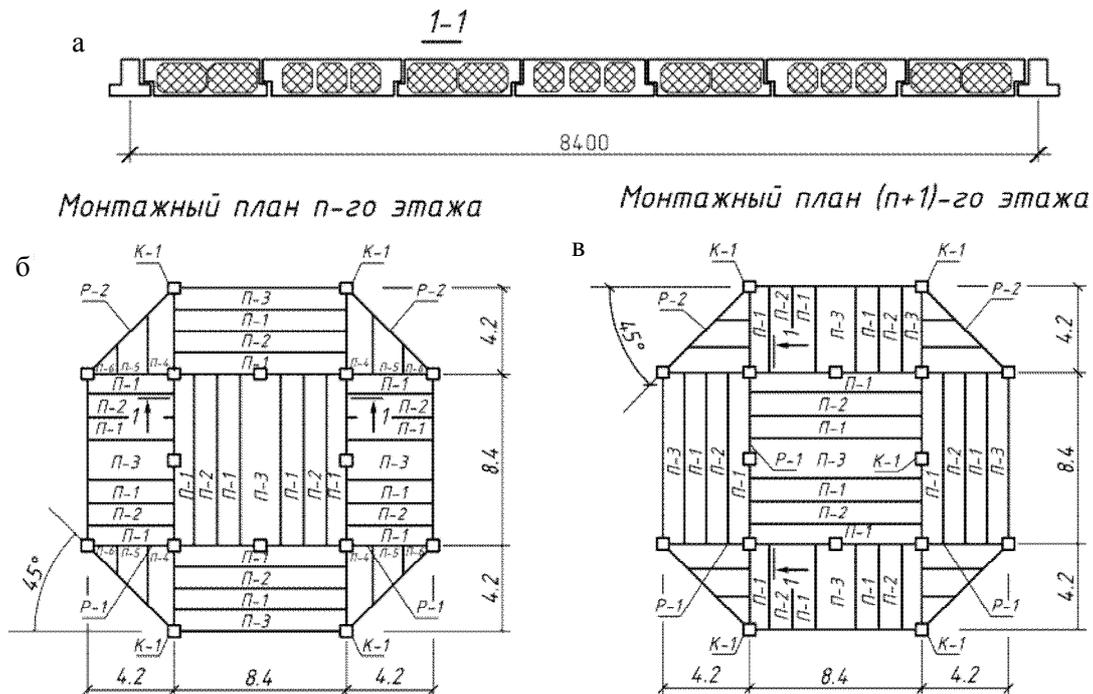


Рис. 9. Компонка ячеек 8,4×8,4 м в системе «ИКАР»

Такая компоновка обеспечивает сдвигку точки с максимальным вертикальным прогибом от действия равномерно распределённой нагрузки с середины диска к его четверти, причём с одновременным уменьшением абсолютных значений перемещений. Эпюра прогибов, построенная поперек плит в ячейке, имеет в этом случае две экстремальные точки типа максимум. Подобная эпюра характерна для пологих оболочек двойкой кривизны, являющихся, как известно, более рациональными конструкциями, чем плиты. Крайние плиты оперты на три канта, а средние – на четыре.

Внутренние полости панелей образованы и заполнены вкладышами, изготовленными из эффективных материалов. Применение вкладышей даёт возможность создать внутренние двухмерные полости в панели, чего нельзя достичь при использовании традиционных технологий (в частности, пуансонных) производства облегчённых панелей перекрытия. Использование пенополистирола, пустотных облегчённых блоков с небольшой объёмной массой или других эффективных материалов в качестве внутреннего слоя панели позволяет существенно улучшить её тепло- и звукоизоляционные свойства.

Применение пенополистирола, а также других аналогичных материалов, допустимо и с экологической точки зрения, так как конструкция панели реализует его полную изоляцию основным материалом. По периметру панели перекрытия выполнены торцевые диафрагмы, благодаря которым её контур становится практически недеформируемым, что повышает жёсткость свободного кручения. Дополнительным преимуществом торцевых диафрагм является то, что они изолируют материал вкладышей от внешней среды, не допуская при этом выхода полостей на торцы панели, а следовательно, не требуя операции по их заделке в процессе монтажа перекрытия. Достаточно развитое сечение торцевой диафрагмы обеспечивает надёжную анкеровку в ней закладных деталей.

Следующим этапом развития каркасных систем является усовершенствование послонной технологии устройства облегченных перекрытий с вкладышами из монолитного железобетона [14]. Данная технология широко применялась как для реконструкции, так и для вновь возводимых зданий. Примерами

применения в Украине (г. Харьков) облегченных железобетонных конструкций перекрытий являются реконструкция офисного здания на пл. Конституции (рис. 10, а) и строительство второй очереди развлекательного комплекса «Місто» на ул. Клочковской (рис. 10, б).

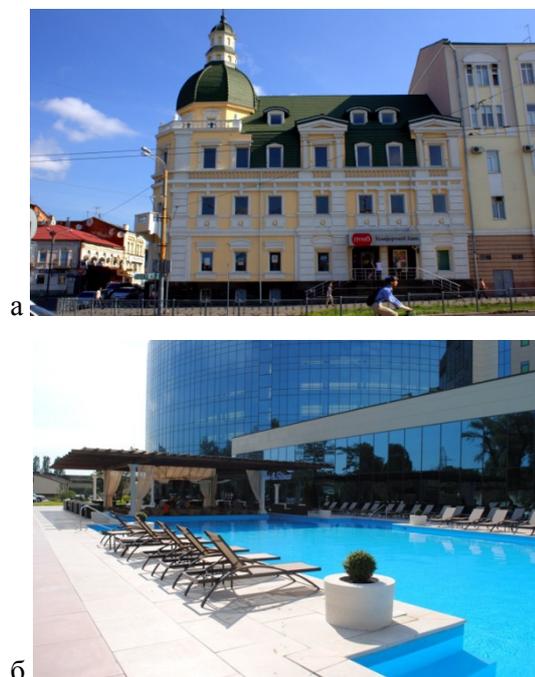


Рис. 10. Здания с применением облегченных железобетонных перекрытий: а – офисное здание на пл. Конституции; б – развлекательный комплекс «Місто»

Предложенную технологию двухстадийного бетонирования облегченных железобетонных перекрытий рассмотрим на примере возведения второй очереди развлекательного комплекса «Місто» на ул. Клочковской. После возведения колонн каркаса или несущих наружных и внутренних стен устанавливают опалубку, на которую в проектное положение монтируют нижнюю арматурную сетку и арматурные каркасы продольных ребер и выполняют бетонирование нижней обшивки облегченного железобетонного перекрытия (рис. 11, а).

Установка заранее изготовленных вкладышей-пустотообразователей из пенополистирола осуществляется непосредственно на свежий бетон нижней обшивки перекрытия (рис. 11, б). Затем устанавливают верхнюю арматурную сетку и производят во вторую стадию бетонирование верхней части перекрытия (рис. 11, в–е).



Рис. 11. Устройство облегченного железобетонного перекрытия: а и б – подача и укладка бетона; в – установка вкладышей на свежий бетон; г – переноска вкладышей; д – укладка бетона верхней части перекрытия; е – установка опалубки на второй захватке

Для фиксации вкладышей при двухстадийном бетонировании облегченного перекрытия предложены два способа пригрузки за счет веса укладываемой бетонной смеси. По первому способу установку заранее изготовленных вкладышей из пенополистирола осуществляют непосредственно на свежий бетон нижней обшивки перекрытия (рис. 12). При этом фиксация вкладышей осуществляется за счет сил сцепления бетона нижней обшивки и поверхности вкладышей. После установки вкладышей ожидают набор прочности бетона не менее 1,5 МПа – для восприятия технологических нагрузок при бетонировании верхней части перекрытия. Затем устанавливают

верхнюю арматурную сетку и производят во вторую стадию бетонирование верхней части перекрытия, причем для дополнительной фиксации вкладыша необходимо подавать бетонную смесь сначала на вкладыши, а затем в пространства между вкладышами. По второму способу перерыв между бетонированием нижней и верхней частей перекрытия составляет 2 часа за счет порядка бетонирования верхней части перекрытия (рис. 13).

Устройство железобетонного перекрытия облегченного типа такими способами позволяет осуществлять наименее материалоемкое (ввиду отсутствия фиксирующих приспособлений)

крепление вкладышей за счет сил сцепления бетона нижней полки с поверхностью вкладыша, а также за счет нагружения вкладыша бетонной смесью при бетонировании верхней части перекрытия.

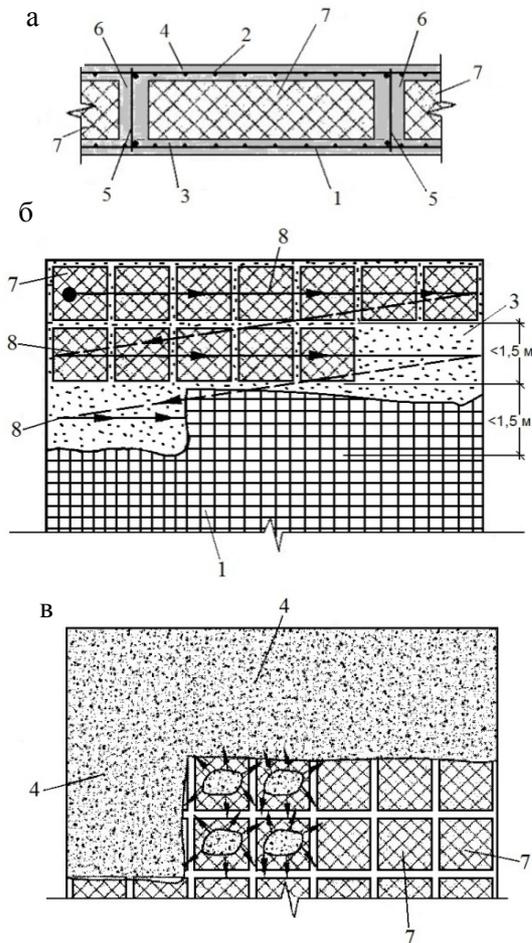


Рис. 12. Способ устройства облегченного железобетонного перекрытия: а – поперечное сечение перекрытия; б и в – последовательность бетонирования перекрытия; 1 и 2 – арматура нижней и верхней сетки; 3 и 4 – нижняя и верхняя обшивка; 5 – арматурные каркасы; 6 – ребра перекрытия; 7 – вкладыши; 8 – направление бетонирования нижней обшивки перекрытия

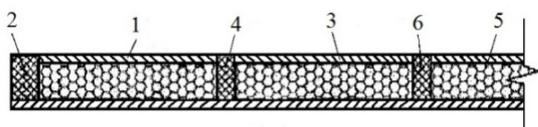


Рис. 13. Схема бетонирования верхней части перекрытия: 1–6 – порядок бетонирования

Дальнейшим развитием технологии бетонирования облегченных железобетонных перекрытий является создание системы «МОНОФАНТ» [15], в которой вкладыши используются для уменьшения веса не только железобетонных перекрытий, но и всех основных элементов каркасного здания.

Перечисленные особенности упомянутых архитектурно-строительных систем получили развитие в новом монолитном железобетонном каркасе многоэтажного здания (архитектурно-строительная система «МОНОФАНТ»), обладающем такими характеристиками:

- произвольной (нерегулярной) сеткой колонн;
- применением различных материалов для неизвлекаемых вкладышей-пустотообразователей с целью значительного уменьшения собственного веса конструкции, а также имеющих стоимость на порядок ниже, чем стоимость железобетона;
- сложной конфигурацией в плане и неоднородностью дисков перекрытия;
- возможностью расположения диска перекрытия не в одной плоскости;
- наличием плоских полов и потолков;
- рациональной топологией ребер внутри диска перекрытия, обеспечивающей выравнивание усилий в плите перекрытия;
- созданием сложной конфигурации пустотелых колонн.

Характерными достоинствами предложенной архитектурно-строительной системы являются: создаваемые конструкции с произвольной геометрией, практически неограниченная комбинаторика объемно-планировочных решений, свободная внутренняя планировка, использование заданного расхода материалов, высокая несущая способность элементов, ограниченная деформативность, небольшой собственный вес, эффективная технология возведения и многое другое (рис. 14–16).

Укладка бетонной смеси «мокрым» торкретированием с неметаллической фиброй позволяет значительно ускорить процесс возведения монолитного железобетонного каркаса за счет уменьшения отскока и получить композит с высокой прочностью на растяжение, что препятствует образованию трещин в растянутых зонах.

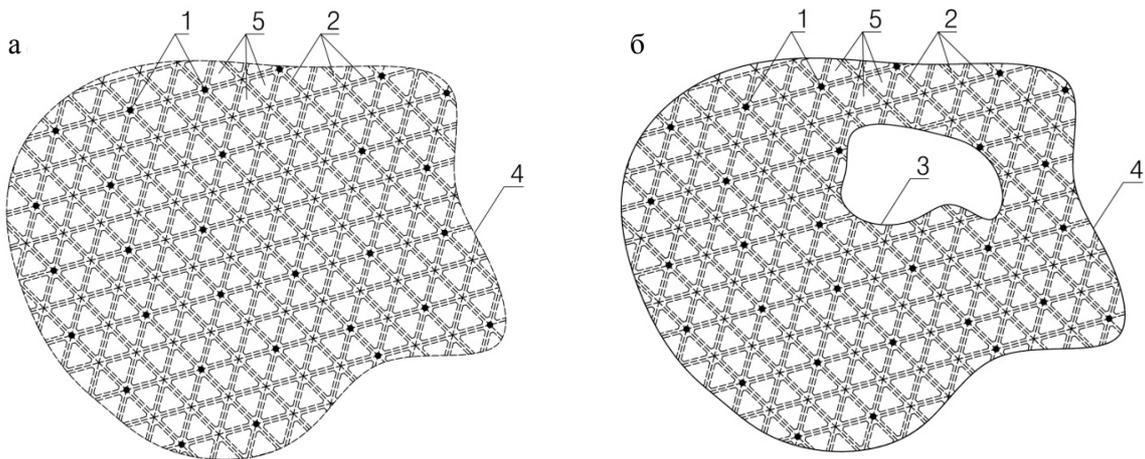


Рис. 14. Конструкция фундаментной плиты и плиты перекрытия: а – фундаментная плита; б – плита перекрытия; 1 – колонны; 2 – внутренние ребра жесткости плиты перекрытия; 3 – внутренняя окантовка ребром жесткости; 4 – внешняя окантовка ребром жесткости; 5 – вкладыши

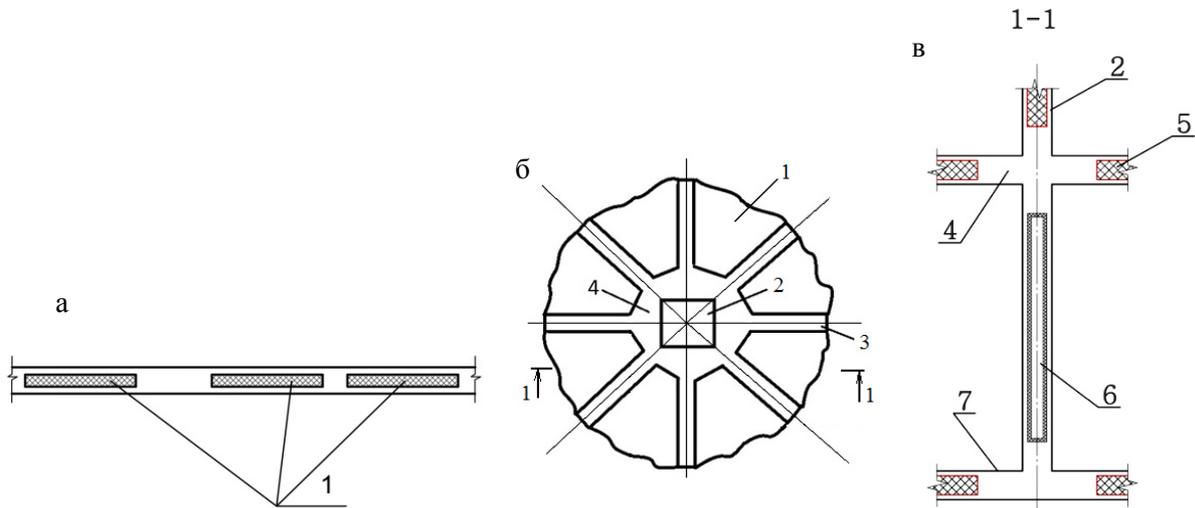


Рис. 15. Особенности конструкции каркаса «МОНОФАНТ»: а – разрез плиты перекрытия; б – устройство капители каркасного здания; в – размещение вкладышей в элементах каркасного здания; 1 – вкладыш; 2 – колонна; 3 – внутренние ребра жесткости плиты; 4 – капитель; 5 – вкладыш сплошного сечения; 6 – вкладыш с пустотами внутри; 7 – фундамент

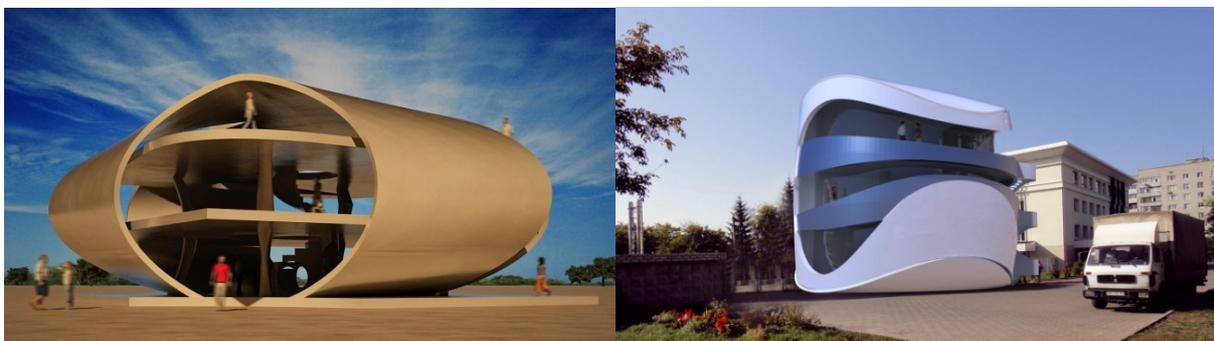


Рис. 16. Варианты проекта гостиницы для отдыха летчиков в аэропорту г. Харьков

Предложенная технология «мокрого» торкретирования позволяет уплотнять бетонную смесь без вибрации и применять для бетонирования конструкции только опалубочный «стол» с набором инвентарных гибких элементов и направляющих. Эти атрибуты технологии необходимы для получения различных по конфигурации элементов конструкции.

Для возведения конструкций с преобладанием горизонтальных и вертикальных форм наиболее рационально применение самоуплотняющихся бетонов для устройства облегченных конструкций, т.к. это позволяет значительно ускорить процесс бетонирования за счет отсутствия технологических перерывов, характерных для традиционного бетонирования.

Одним из наиболее важных достоинств является отказ от уплотнения бетонной смеси за счет высокой подвижности, что обеспечивает ее растекание и уплотнение под действием собственного веса, а также заполнение бетонной смесью всего объема пространства под неизвлекаемыми вкладышами. Как следствие, снижаются затраты времени на формирование верхней поверхности перекрытия в связи со способностью СУБ к самовыравниванию.

Возможно комбинированное применение приведенных технологий, когда криволинейные конструкции каркасного здания возводят торкретированием бетона, а горизонтальные перекрытия – бетонированием самоуплотняющегося бетона в опалубке.

Для эффективного возведения элементов здания криволинейной формы по технологии «мокрого» торкретирования предложен самонесущий остов, обеспечивающий создание конструкций с произвольной геометрией, а также нанесение на него торкрет-фибробетона с последующим набором им необходимой прочности.

Самонесущий остов, состоящий из пространственного криволинейного арматурного каркаса и неизвлекаемых вкладышей-пустотообразователей, формирует заданную кривизну элемента здания. Фундамент изготавливают с выпусками арматуры, к которым прикрепляют самонесущий остов. Остов собирается из внешней и внутренней криволи-

нейных арматурных сеток с прямоугольной или квадратной ячейкой, между которыми размещаются криволинейные (по форме остова) вкладыши из пенополистирола или минеральной ваты, а соединение внешней и внутренней сеток между собой выполняется криволинейными плоскими каркасами с треугольной ячейкой.

Для отработки технологии были запроектированы четыре криволинейные оболочки, представляющие фрагменты цилиндра, сферы, нодоида и гипара. Конструкции имеют в плане размеры $2,2 \times 2,2$ м и высоту от 1,1 до 1,6 м. Толщина стенок оболочки составляла 26 см, из которых 16 см приходилось на толщину неизвлекаемых вкладышей-пустотообразователей и по 5 см с внешней и внутренней сторон – на железобетонные обшивки. К криволинейным плоским каркасам в плоскости внутренней криволинейной арматурной сетки прикрепляются полосы сетки типа «рабица» или просечно-вытяжной лист, которые вместе с вкладышами формируют сплошной экран для нанесения торкрет-фибробетона. Размер просвета ячеек просечно-вытяжного листа зависит от максимальной фракции заполнителя в составе торкрет-фибробетона.

Для фракций 0–5 и 5–10 мм размер просвета ячейки – 7×50 или 8×49 мм. Бетонная смесь сначала торкретируется с внешней стороны в зазор между вкладышами до тех пор, пока уровень уложенной бетонной смеси не превысит уровень вкладышей, а затем выполняется бетонирование верхней и нижней частей элемента криволинейной формы.

За счет правильного подбора состава торкрет-фибробетона и использования сопла с кольцевым насадком достигнут нулевой отскок бетонной смеси при ее нанесении на самонесущий остов, что значительно повысило технологичность процесса торкретирования.

Кривизна полученной формы элемента здания после окончания торкретирования контролируется заранее изготовленными лекалами. Для обеспечения гладкой поверхности конструкции железобетонных оболочек под затирку наносили дополнительный слой торкрет-фибробетона толщиной 5–7 мм до начала схватывания цемента (рис. 17).



Рис. 17. Криволинейные железобетонные оболочки: а – установка оболочек для проведения их испытания; б – испытание оболочек нагружением столбом воды

Для апробации технологии возведения конструкций прямолинейной формы все исследования проводились в лаборатории, функционирующей на базе участка железобетонных изделий ОДО «Жилстрой-2» в г. Харьков. Полученная самоуплотняющаяся бетонная смесь характеризуется следующими параметрами: удобоукладываемость – $PK = 690$ мм (SF2), удобоукладываемость (с блокировочным кольцом) – $PK_{\text{кольцо}} = 670$ мм, вязкость – $T_{500} = 2$ с (VS2) и $t_{\text{воронки}} = 6,2$ с (VF1), способность преодолевать препятствие (с тремя арматурными стержнями) – 0,80 (PA2), устойчивость к расслаиванию – 12 % (SR2), прочность на сжатие, определенная на образцах-кубах $100 \times 100 \times 100$ мм – $f_{cm, cube} = 35,9$ МПа (C20/25). После этого осуществлялось бетонирование горизонтального (размер в плане – $145 \text{ см} \times 145 \text{ см}$ и высота – 34 см) и вертикального (в плане $145 \text{ см} \times 34 \text{ см}$ и высотой 145 см) элемента облегченных конструкций с применением самоуплотняющегося бетона (рис. 18).

Для фиксации вкладыша в горизонтальном элементе предложено изменение армирования нижней и верхней горизонтальной сеток путем добавления по 4 стержня диаметром

10 мм. Они расположены в плоскости сеток таким образом, чтобы создать жесткость арматурного каркаса для удержания вкладыша в процессе бетонирования элемента. Такая конструкция обеспечивает возможность перемещения рабочих по арматурному каркасу при бетонировании элемента и не позволяет повреждать вкладыш из пенополистирола.

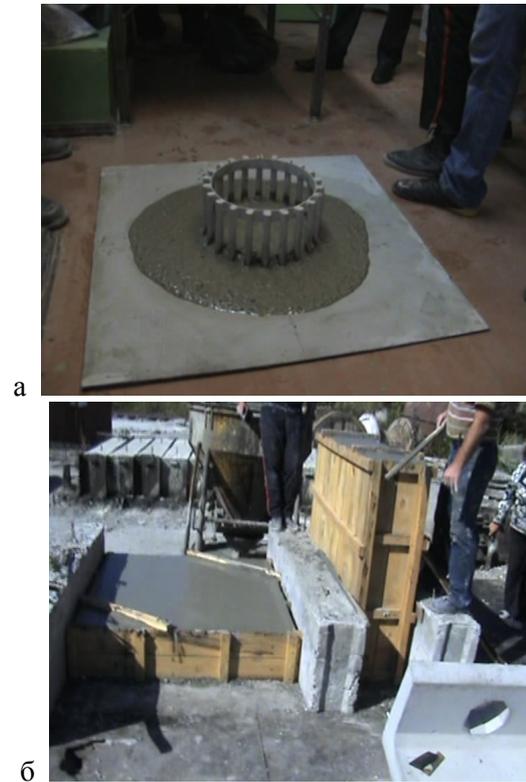


Рис. 18. Бетонирование облегченных конструкций с применением СУБ: а – лабораторные испытания бетонной смеси; б – бетонирование горизонтального и вертикального элементов

В нижней сетке на пересечении стержней дополнительно вертикально приварены обрезки стержней длиной 10 см, на которые надевается фиксатор, обеспечивающий расположение вкладыша относительно горизонтальной нижней сетки. Установка вкладыша во внутрь арматурного каркаса осуществляется путем надевания на вертикальные обрезки стержней. В местах пересечения арматурных стержней диаметром 10 мм в верхней сетке во вкладыш вертикально вставляют обрезки стержней длиной 10 см таким образом, чтобы можно было их закрепить вязальной проволокой и поставить фиксатор между вкладышем и верхней горизонтальной сеткой. Для фиксации вкладыша в вертикальном элементе предложено по тому же принципу изменение армирования

вертикальных боковых сеток путем добавления по 4 стержня диаметром 10 мм. Для размещения вкладыша в вертикальной плоскости его пронизывают четырьмя стержнями длиной, достаточной для закрепления вязальной проволокой по краям, и устанавливают фиксатор между вкладышем и вертикальными боковыми сетками.

При укладке первого слоя его толщина составила величину, при которой низ вкладыша был погружен в бетонную смесь на 1,0–1,5 см. Для обеспечения удержания арматурного каркаса с вкладышем при бетонировании горизонтального элемента необходимо обеспечить технологический перерыв не менее 30–45 мин между бетонированием нижней обшивки плиты под вкладышем и остальной части. Бетонная смесь за это время потеряет свою подвижность и будет удерживать арматурный каркас от всплытия за счет силы Архимеда. Для вертикального элемента необходимо обеспечить жесткое закрепление арматурного каркаса с вкладышем с выпусками арматурных элементов ниже лежащих забетонированных конструкций (рис. 19).

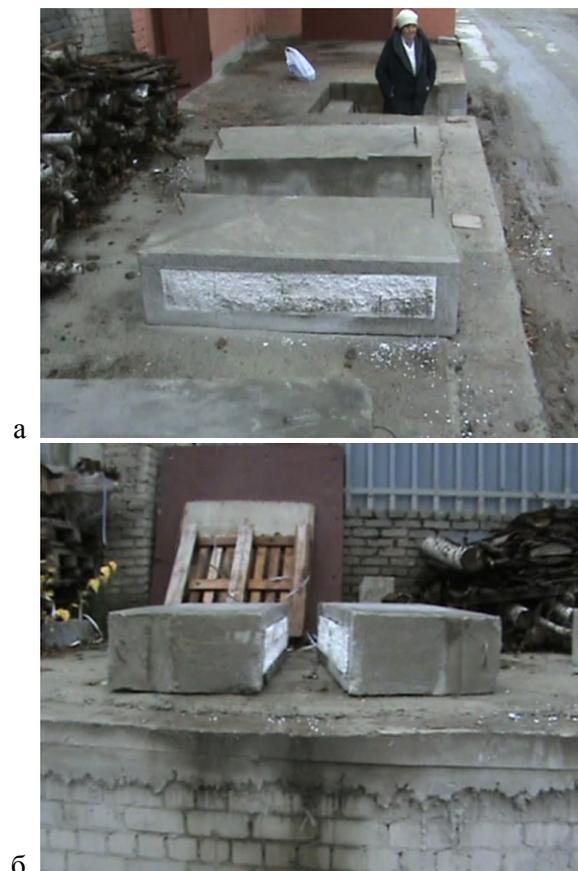


Рис. 19. Облегченные конструкции: а и б – разрезка горизонтального и вертикального элементов

После изготовления железобетонных элементов они были разрезаны на две части для контроля заполнения самоуплотняющейся бетонной смесью пространства под вкладышем.

Выводы

Технология бетонирования с применением торкрет-фибробетона позволяет возводить монолитные одно- и многоэтажные гражданские и промышленные здания, имеющие стены, перекрытия или другие элементы криволинейной формы.

Конструкция самонесущего остова, состоящего из пространственного криволинейного арматурного каркаса и неизвлекаемых вкладышей-пустотообразователей, образует жесткую конструкцию с минимальными затратами на ее изготовление и усовершенствует технологические возможности применения торкрет-фибробетона для безопалубочного бетонирования.

Предложенный способ возведения элементов зданий криволинейной формы позволяет сократить сроки строительства, повысить производительность труда и снизить трудоемкость за счет отсутствия сложной дорогостоящей съемной индивидуальной опалубки и необходимости уплотнения бетонной смеси.

Проведенные исследования технологии бетонирования горизонтального и вертикального элементов облегченных конструкций с применением самоуплотняющихся бетонов позволит применить ее на объектах гражданского и промышленного строительства.

Возможно комбинированное применение приведенных технологий для расширения возможности строительства зданий и сооружений по системе «МОНОФАНТ», обеспечивающей значительное уменьшение собственного веса конструкций (фундаментов, колонн, элементов жесткости, дисков перекрытий и покрытий), рациональную топологию ребер внутри диска перекрытия для выравнивания усилий в плите перекрытия и создание сложной внутренней конфигурации колонн и элементов жесткости.

Литература

1. David B. South and Freda Parker. The Monolithic Dome / В. David // The Monolithic

- Dome Institute, May 8, 2007. (available at <http://www.monolithic.com/plan-design/monolithicdome/index.html>).
2. Hurd M.K. Concrete Homes for Disaster Victims / M.K. Hurd // Inflated forms bring shelter to rural landslide victims. *Concrete international*. – 2009. – Vol. 31, No. 6. – P. 37–40.
 3. Jan Dirk van der Woerd. Finding new forms for bearing structures by use of origamics / Jan Dirk van der Woerd // Proceedings of The 9th fib International PhD Symposium in Civil Engineering. Karlsruhe Institute of Technology (KIT), 22–25 July. Karlsruhe, Germany / Edited by Harald S. Müller, Michael Haist, Fernando Acosta, 2012. – P. 263–268.
 4. Jozef Jasiczak Construction of undulating walls using dry-mix shotcrete / Jasiczak Jozef, Majchrzak Wtodzimierz, Wtodzimierz Czajka // Expansive concrete surface creates the main spatial element inside the Museum of the History of Polish Jews in Warsaw, Poland. *Concrete international*. – 2015. – Vol. 37, No. 6. – P. 31–35.
 5. Sidney Freedman Craftsmanship Award Winners Announced. 2013 marks the second year for the annual competition. *Concrete international*. – 2013. – Vol. 35, No. 10. – P. 34–37.
 6. Benjamin Kromoser. Methods for transforming flat concrete plates into double curved shell structures / Kromoser Benjamin // Proceedings of The 9th fib International PhD Symposium in Civil Engineering. Karlsruhe Institute of Technology (KIT), 22–25 July 2012, Karlsruhe, Germany; Edited by Harald S. Müller, Michael Haist, Fernando Acosta, 2012. – P. 275–280.
 7. Benjamin Kromoser. Bilding free formed concrete surfaces by using the «pneumatic wedge method» / Kromoser Benjamin, Kollegger Johann // The 10th fib International PhD Symposium in Civil Engineering. Universite Laval, 21–23 July 2014, Quebec, Canada; Edited by Josee Bastien, Nicolas Rouleau, Mathieu Fiset, Mathieu Thomassin, 2014. – P. 303–308.
 8. Mike Mota. Voided Slabs / Mota Mike // Then and now. *Concrete international*. – 2010. – Vol. 32, No. 10. – P. 41–45.
 9. Christian Albrecht. Experimental and theoretical analyses of the load-bearing behaviour of slim biaxial hollow core slabs with flattened void formers / Albrecht Christian // Proceedings of The 9th fib International PhD Symposium in Civil Engineering. Karlsruhe Institute of Technology (KIT), 22–25 July 2012, Karlsruhe, Germany; Edited by Harald S. Müller, Michael Haist, Fernando Acosta, 2012. – P. 85–90.
 10. Luis M. Bozzo. The Santa Fe II Tower. A central core, tall, slender building in Mexico / Luis M. Bozzo // *Concrete international*. – 2014. – Vol. 36, No. 9. – P. 51–54.
 11. Self-Consolidating Concrete: A Synthesis of Research Findings and Best Practices. Prepared by: John W. Henault, P.E., February 14, 2014, Research Project: SPR-2255, Final Report, Report No. CT-2255-F-12-4.
 12. Shotcrete or SCC? How to select the right repair material? Jacques Bertrane, Eng. Ambex Concrete Technologies Inc., 2010, Fall Convention, Pittsburgh, PA, October 21, 2010.
 13. Шмуклер В.С. Каркасные системы облегченного типа / В.С. Шмуклер, Ю.А. Климов, Н.П. Буряк. – Х., Золотые страницы, 2008. – 336 с.
 14. Помазан М.Д. Совершенствование технологии устройства облегченных железобетонных перекрытий: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.08 / М.Д. Помазан. – Х., 2013. – 187 с.
 15. Пат. 89464 Україна, МПК E04B 1/18. Каркасна будівля «Монофант» / Шмуклер В.С., Бабаєв В.М., Бугаєвський С.О., Бережна К.В., Карякін І.А., Кондращенко В.І., Сеїрські І.М.; заявник і патенто-власник Шмуклер В.С. – №u201311919; заявл. 10.10.2013; опубл. 25.04.2014, Бюл. №8.

Рецензент: В.П. Кожушко, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 13 ноября 2015 г.