

**Эффективность и надежность – главные особенности  
каркасных зданий АРКОС**

Тихоничев А.А.

Научный руководитель – Даниленко И.В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

В настоящее время жилье представляет собой весьма дорогостоящий товар, непосредственная оплата за который потребителем вызывает не только резкое ужесточение требований к нему по качеству, но также по стоимости возведения и эксплуатации. Известно, что из общих прямых затрат на возведение здания до 60% и выше составляет стоимость строительных материалов, 14...30% приходится на заработную плату. Снижение материалоемкости многоэтажных зданий и обеспечение современных потребительских качеств (свободная планировка помещений, комфорт, эффективная тепловая защита и др.) достигается применением в них железобетонных каркасов с плоскими перекрытиями и ограждающими конструкциями в виде поэтажно опертых перегородок и наружных стен.

Ниже представлена конструктивная система многоэтажных жилых и общественных зданий АРКОС, имеющая существенные отличия от других применяемых каркасных систем зданий. Эти отличия приведены ниже при описании конструкций. Аббревиатура АРКОС означает «архитектурно-конструктивная открытая система». Разработка этой системы зданий была начата в 1992 году в институте БЕЛНИИС (г. Минск, РБ) в рамках серии Б1.020.1-7, а с 2007 года продолжена в ООО «БЭСтинжиниринг» (г. Минск). Здания системы АРКОС (серии Б1.020.1-7) построены и/или строятся в гг. Москве, С.Петербурге, Минске, Орле, Омске, Волгограде, Киеве, Перми, Белгороде, Гомеле, Бресте и др., а так же в др. различных регионах России, Украины и Белоруссии. Они успешно эксплуатируются уже на протяжении свыше 15 лет без каких-либо претензий со стороны потребителя. Представленные конструктивно-технологические решения зданий АРКОС являются новыми. Они

защищены евразийскими патентами №№ 010209, 010210, 010212, 010213, 010214 с приоритетом от 23.05.2007 года и др.

Конструкции зданий системы АРКОС разработаны на основе собственных технических решений и исследований, с учетом анализа научно-технического опыта разработок дальнего зарубежья, а также результатов обширных исследований, проведенных в НИИЖБ, ЦНИИСК, МИСИ-МГСУ, ЦНИЭП жилища и др.

Рассматриваемая система зданий включает сборно-монолитный каркас с плоскими дисками перекрытий, поэтажно опертые перегородки и наружные стены.

Диски перекрытий в каркасе (рис.1) образованы сборными многопустотными плитами, монолитными несущими и связевыми ригелями, выполненными сквозными на всю длину и ширину здания.

Сборные многопустотные плиты, как правило, с высотой сечения 220мм размещены в ячейках перекрытий группами и каждая плита опирается по торцам на несущие ригели посредством бетонных шпонок. Шпонки выполнены заодно с этими ригелями на их боковых гранях и размещены в открытых полостях плит на глубину  $100\pm 10$ мм. В дисках перекрытий могут быть применены многопустотные плиты и с большей высотой сечения (260, 300мм). В зависимости от местных условий строительства в перекрытиях могут быть использованы как типовые плиты, но с открытыми по торцам пустотами, так и плиты безопалубочного формования. Вдоль наружной боковой стороны крайних плит расположены имеющие с ними зацепление связевые ригели. Несущие и связевые ригели, объединенные между собой в плоскости перекрытия в единую многопролетную перекрестную раму, защемлены в колоннах.

Сетка колонн может иметь нерегулярную структуру в плане с пролетами различной длины при плоских перекрытиях до 7,2м включительно. Также в зависимости от наличия производственной базы подрядной организации, в каркасе могут быть применены монолитные или сборные колонны. Вертикальные диафрагмы жесткости могут быть выполнены сборными, монолитными или сборно-монолитными. Особенность их конструкции заключается в том, что в них полностью исключены сварные соединения с колоннами. Это позволило по сравнению с типовыми диафрагмами связевых каркасов на 30...35% уменьшить их металлоемкость и полностью исключить энергозатраты на выполнение сварочных работ.

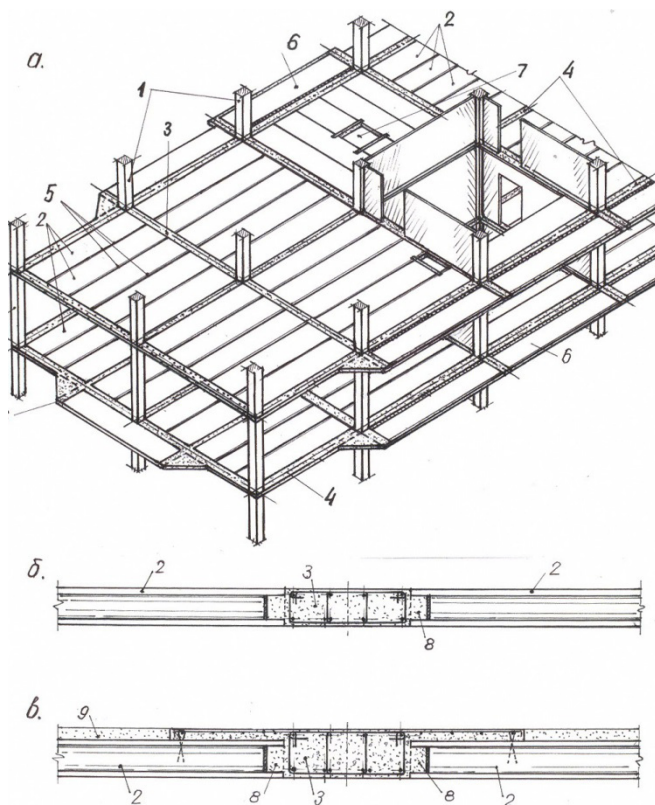


Рис. 1. Конструкция сборно-монолитного каркаса зданий системы АРКОС:  
 а – общий вид каркаса; б, в – разрезы перекрытия при применении типовых пустотных плит и плит безопалубочного формования. 1 – железобетонные колонны; 2 – многопустотные плиты; 3 – несущие ригели; 4 – связевые ригели; 5, 6 – консоли для устройства эркеров и балконов; 7 – монолитные участки перекрытий; 8 – вертикальные диафрагмы жесткости, 9 – стяжка пола.

Особенностью каркаса также является то, что при действии вертикальной нагрузки при изгибе многопустотных плит в стесненных условиях, в плоскости каждого перекрытия в каждой ячейке по обеим осям возникают реактивные распорные усилия. В частности, вследствие взаимного поворота плит при изгибе в ячейках перекрытия возникает поперечный распор, который существенно уменьшает усилия в несущих ригелях. Учет этих особенностей позволяет на

25...30% сократить расход арматуры в перекрытиях, увеличить размеры сетки колонн.

Здания с каркасом АРКОС обеспечивают примерно такие же потребительские качества как и здания с железобетонным монолитным каркасом. Вместе с тем сопоставляя их можно отметить, что для рассматриваемого диапазона шага колонн приведенная толщина перекрытия зданий АРКОС составляет около 15 см, а для каркаса из монолитного железобетона 20...26см. Это означает не только сокращение расхода бетона в перекрытиях примерно в 1,5 раза, но и снижение постоянной нагрузки на конструкции здания, дополнительное сокращение их материалоемкости. Реальная достигнутая величина расхода арматуры в перекрытиях на 1м<sup>2</sup> общей площади составила 11,8 кг. Сопоставление стоимости рассматриваемых перекрытий, выполненное в 2008 году в ОАО «Орелстройинвест», показало, что для зданий примерно одной архитектуры, объема и высотности стоимость возведения одной ячейки обычного монолитного перекрытия размером 7,2х7,2м составляет 188857 руб.(RUR), стоимость такой же ячейки сборно-монолитного перекрытия составляет 96981 руб. В сентябре 2007 г. в г.Пушкин (Ленинградская обл.) введен поселок из 18-ти 5-ти этажных жилых домов для семей военнослужащих. Эти здания были реализованы заказчиком для Минобороны России по цене 643 долл. США за 1 м<sup>2</sup>.

Завершившееся 2013г. строительство трех 14 этажных жилых домов по ул.Солтыса в г.Минске показало (по данным подрядчика – ООО «Стройтехоснова»), что сокращение трудозатрат на выполнение работ по сравнению с монолитным каркасом составило 50%, а темп возведения вырос на 25%. Такие же результаты были достигнуты в 2012г. при строительстве 9 этажного здания в г.Киеве.

Все достигнутые показатели обеспечены применением наиболее совершенных конструктивно-технологических решений, которые обоснованы результатами экспериментальных исследований (см., например [1]), продолжающимися и в настоящее время, натурными испытаниями усовершенствованных конструкций до их разрушения (рис. 2), огневыми испытаниями (рис.3), а также результатами опытного строительства. Многократные испытания до разрушения натуральных фрагментов каркасов, проведенные в соответствии с методикой ГОСТ 8829-94, показали что, конструкции перекрытий удовлетворяют требованиям этого стандарта и действующих нор-

мативных документов по прочности, жесткости и трещиностойкости. Огневые испытания, выполненные НИИ Пожарной безопасности и ЧС (г. Минск) с участием разработчиков, показали, что предел огнестойкости перекрытий и, соответственно каркасов АРКОС составляет REI 90. Огнестойкость перекрытий при необходимости может быть повышена без переработки их конструкций.



Рис. 2. Общий вид испытаний фрагмента каркаса при максимальной нагрузке (г. Гатчина)



Рис. 3. Общий вид огневых испытаний фрагмента каркаса на стандартную пожарную нагрузку.

Для пролетов длиной свыше 7,2 м, требуемых для общественных зданий, включая и гаражи-паркинги, сечения несущих ригелей при плитах высотой 220 мм могут быть развиты по высоте сечения и выпущены из перекрытия книзу. Их выполняют монолитными, либо сборно-монолитными с расположенным понизу сборным элементом (Рис. 4).

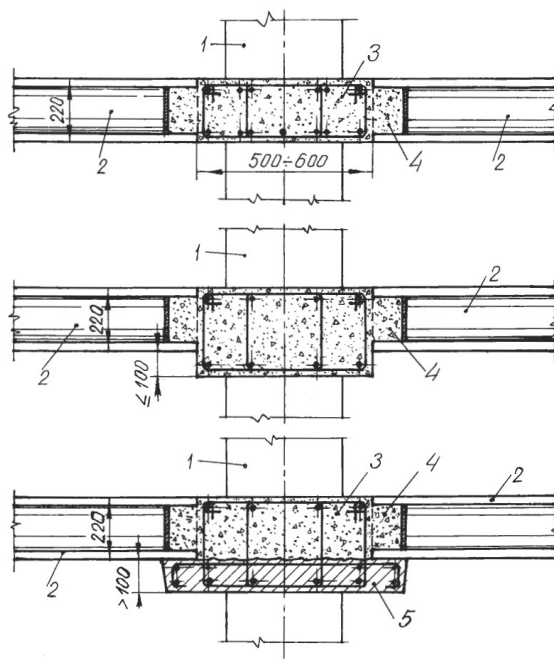


Рис. 4. Конструкция несущих ригелей. а – монолитный ригель с высотой сечения на толщину пустотных плит (плоские перекрытия), б и в – соответственно, монолитный и сборно-монолитный ригели, выступающие книзу;  
 1 – колонна, 2 – многоспустотная плита, 3 – монолитный несущий ригель, 4 – бетонные шпонки, 5 – сборный элемент несущего ригеля. Размеры в мм

Из условия производства работ при необходимости увеличить высоту сечения книзу на их величину до 100мм можно применять ригель целиком из монолитного железобетона. При большей высоте сечения ригеля его устраивают сборно-монолитным с нижним сборным элементом, используемым в качестве несъемной опалубки. Величина перекрываемых пролетов в случае ригелей с увеличенной высотой сечения может достигать 15 м.

Сборные железобетонные колонны по сравнению с монолитными обладают существенными преимуществами. Важнейшими из них является гарантированная прочность бетона и исключение нагружения бетона в раннем возрасте. В результате создается возможность существенно нарастить темп возведения здания. Вместе с тем, сборные колонны требуется стыковать. До настоящего времени наиболее широкое применение имеют сварные стыки. Выпуски продольной арматуры, размещенные в таких стыках в подрезках, предусмотрено соединять встык полуавтоматической ванной сваркой в медных или графитовых формах с заплавлением зазоров между стыкуемыми стержнями.

Этот стык имеет невысокую металлоемкость и технология его отработана на практике. Однако для его устройства требуется достаточно сложное технологическое оборудование и обученный персонал. Главным недостатком стыка является возникновение значительных по величине паразитических напряжений сжатия в бетоне и растяжения в арматуре из-за разогрева стержней при сварке [2]. В результате частично или полностью погашается прочность сечений колонны в стыке. Вследствие неравномерных сварочных напряжений в стержнях положение установленных колонн также может существенно отличаться от проектного, вызывая появление дополнительных не учитываемых расчетом усилий в элементах каркаса. По сравнению со сварными стыками, предложенные в НИИЖБ контактные стыки с плоскими торцами колонн являются более эффективными по энерго- и трудозатратам, в них полностью исключены сварные напряжения. Однако при практическом их применении прочность стыков может заметно снижаться из-за высоких контактных напряжений, возникающих вследствие перекосов торцов стыкуемых колонн, образующихся при их изготовлении [2].

После анализа всех основных типов известных стыков колонн, включающих и опыт дальнего зарубежья (PIEKKO, HALFEN и др.), в качестве основного нами была принята конструкция контактных стыков колонн с плоскими торцами, объединяемых между собой винтовыми соединениями. Общий вид винтового стыка в сборе в условиях стройплощадки представлен на рис. 5.

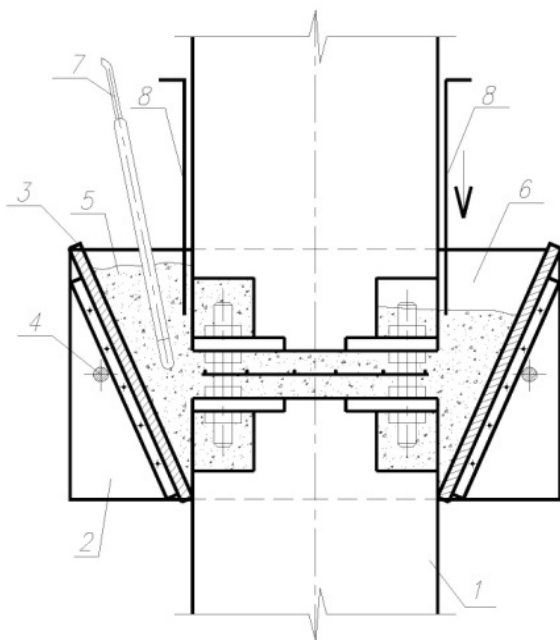


Рис. 5. Винтовой стык сборных колонн (а), общий вид стыка в сборе, б – опалубка и технология бетонирования, в – устройство стыка при отрицательной температуре воздуха. 1 – колонна, 2 – боковые щиты опалубки, 3 – опалубочные вставки, 4 – опалубочные стяжные болты, 5 – приемный бункер с подаваемой бетонной смесью, 6 – выходной бункер, 7 – вибратор, 8 – шибберные заслонки-отсекки

Элементы колонн в стыке объединяют металлическими шпильками, прикрепляемыми в угловых нишах к торцовым закладным деталям. При этом при монтаже верхнюю колонну сначала выстав-



ляют в требуемое проектное положение посредством юстировочных гаек, размещенных снизу в межторцовом зазоре на шпильках, а затем фиксируют гайками, наворачиваемыми на шпильки в ее угловых нишах. В межторцовом зазоре толщиной  $100\pm 5$  мм размещена сварная сетка и его заполняют бетоном не выше класса В30, (С25/30). Технология устройства стыка проста и ясна из рисунка. После фиксации положения верхней колонны шпильками, по двум сторонам стыка размещают опалубочные щиты и прижимают к боковым поверхностям колонны опалубочными стяжными болтами. На наклонные направляющие, прикрепленные к опалубочным щитам, устанавливают с каждой стороны по опалубочной вставке, в результате чего образуются приемный и выходной бункеры. Подачу бетонной смеси производят с вибрацией в приемный бункер, а контроль заполнения стыка производят по заполнению выходного бункера. Сразу же после заполнения стыкового зазора и угловых ниш бетонной смесью вдоль боковых граней колонн под воздействием вибрации погружают заслонки, выполненные из стального листа толщиной 2...3 мм. Бетонирование стыков колонн, расположенных в пределах секции дома на одной отметке, производят из одной партии бетонной смеси с отбором контрольных образцов примененного бетона. Стык апробирован в производстве при положительных и отрицательных температурах. При отрицательных температурах производят предварительный прогрев концевых участков стыкуемых колонн, (см.рис. 5в).

Винтовой стык сборных колонн в представленном виде обладает высокой несущей способностью, что подтверждено испытанием до разрушения натуральных фрагментов колонн с этими стыками. Его прочность превышает прочность сечений ствола колонны. Стык обеспечивает высокую точность установки колонн, не достижимую при применении других видов стыков. Существенно возрастает темп возведения здания с винтовыми стыками при снижении трудозатрат на 35...40% по сравнению со сварными. Каркасы АРКОС с винтовыми стыками колонн реализованы для зданий до 18 этажей включительно в гг. Н.Новгород, Набережные Челны, Волгоград и др., начато широкое применение их при новом проектировании.

Технология возведения каркаса включает монтаж колонн с устройством стыков, а также поочередное возведение перекрытий с

размещением многопустотных плит на поддерживающих устройствах, снабженных опалубкой для монолитных ригелей (рис. 6).



Рис. 6. Общий вид поддерживающих устройств с опалубкой ригелей до укладки плит

Особенностями технологии является практически полное исключение сварочных работ на стройплощадке, применение композиций бетонных смесей с интенсивным набором прочности. Требуемая прочность монолитного бетона соответствует классу В25, (С20/25). Темп набора прочности бетона должен быть таким, чтобы при положительных температурах воздуха к концу вторых суток, при отрицательных температурах через 5-6 суток после его укладки, можно было начать демонтаж поддерживающих устройств под перекрытием с перестановкой их на это перекрытие.

Ограждающие конструкции зданий выполняют поэтажно опертыми с применением тех материалов и изделий, которые имеются в регионе строительства. Так наружные стены, опертые на кромки перекрытий, можно выполнять в виде кладки из штучных камней, изготовленных из легких поризованных материалов (ячеистый бетон автоклавного или неавтоклавного твердения и др.). Стены в этом случае могут со-

держат легкую наружную штукатурку с покраской. Удельная масса такой стены по фасадной поверхности составляет 200...250 кг/м<sup>2</sup>. С применением штучной кладки возможно выполнение и многослойных наружных стен, содержащих слой эффективного утеплителя. В этом случае масса стены возрастает на 20...40%. поэтажно опертые перегородки можно выполнять на основе тех же материалов, что применяют и для наружных стен. Для трансформируемых перегородок применяют листовые обшивные конструкции.

Для индустриализации и повышения темпов строительства каркасных зданий наружные стены целесообразно выполнять из однослойных или трехслойных панелей. Они могут быть поэтажно опертыми высотой на этаж. Их крепят к нижнему и верхнему перекрытиям в крайних монолитных ригелях. Стеновые панели полосовой разрезки, в т.ч. на основе многопустотных плит, крепят на колоннах. Во всех случаях предусмотрено восприятие нагрузки наружными стенами только в пределах этажа. При этом они выключены из совместной работы с каркасом на восприятие общих нагрузок, приложенных к зданию. Восприятие этих нагрузок обеспечено только каркасом. В целом применение сборных панелей по сравнению с кладочными стенами обеспечивает сокращение трудозатрат в два и более раза. В сочетании с винтовыми стыками сборных колонн темп строительства может достигать до 5 этажей в месяц. Технология возведения зданий системы АРКОС также предполагает, что возведение каркаса выполняют одновременно с возведением наружных стен. При этом крайние ригели на контуре диска перекрытия целесообразно выполнять над верхом готовой стены. Общий вид многоэтажного здания в стадии строительства представлен на рис.7.



Рис. 7. Многоэтажный жилой дом в стадии строительства. Примеры.  
 а) общий вид здания, б) интерьер, гладкие потолки позволяют устанавливать перегородки практически в любом месте перекрытия

Достаточно точный учет усилий, действующих под нагрузкой в каркасе, и совершенные конструктивно-технологические решения позволяют каркасным зданиям АРКОС достичь существенных преимуществ по сравнению с другими известными конструкциями. Ниже в таблице представлены в сопоставлении основные технико-экономические показатели жилых зданий высотой 9 этажей разных конструктивных решений, известные из публикаций и приведенные на м<sup>2</sup> общей площади здания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мордич А.И., Белевич В.Н., Симбиркин В.Н., Навой Д.И. Опыт практического применения и основные результаты натуральных испытаний сборно-монолитного каркаса БелНИИС (АРКОС). Бюллетень строительной техники. М.: 2004, №8, с.6 ...11.
2. Дыховичный Ю.А., Максименко В.А. Сборный железобетонный унифицированный каркас: Опыт московского строительства. М.: Стройиздат, 1985, 296 с. ил.