

Шалобыта Н.Н., канд. техн. наук, доц.;

Шалобыта Т.П., канд. техн. наук, доц.; Деркач Е.А.

(БрГТУ, г. Брест)

## ПЛОСКОЕ МНОГОПУСТОТНОЕ БЕЗБАЛОЧНОЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЕ ПЕРЕКРЫТИЕ

Наиболее важными и актуальными в современном строительстве являются проблемы ресурсо- и материалосбережения. В последнее десятилетие как в Республике Беларусь, так и других странах постсоветского пространства одним из путей повышения качественного уровня строительства, его эффективности, повышения архитектурного разнообразия и выразительности застройки является расширение применения монолитного железобетона. Монолитные и сборные железобетонные конструкции не следует противопоставлять друг другу.

Так, области рационального применения данных конструкций принципиально отличаются.

Сборные железобетонные конструкции за прошедшие десятилетия в основном нашли широкое применение в массовом строительстве жилых, общественных и промышленных зданий, где основной являлось максимальное повышение индустриальности строительства, полное заводское производство изделий и их поточный монтаж на строительной площадке.

Монолитные конструкции применяются гораздо реже, несмотря на то, что они обладают преимуществами как в конструктивном, так и в технологическом плане, для них характерна значительно лучшая эксплуатационная пригодность. Известна широкая область гражданского и промышленного строительства, где рационально применение монолитного железобетона [1]. Это – цельномонолитные гражданские и производственные здания, которые по своему назначению, градостроительному акцентному положению не могут быть выполнены из стандартных сборных железобетонных конструкций; сборно-монолитные конструкции многоэтажных зданий – каркасных или панельных с монолитными ядрами жесткости; монолитные плоские безбалочные перекрытия под тяжелые нагрузки, традиционно применяемые в зданиях холодильников, овоще-, фруктохранилищ, мясокомбинатов и т.д.; отдельные нестандартные элементы общественных и производственных зданий – опорные конструкции, порталы, перекрытия и амфитеатры, балконы и др.; большепролетные конструкции; элементы реконструкции существующих зданий – жилых, общественных и производственных.

Начавшееся интенсивное применение в республике монолитных зданий, в первую очередь жилых и общественных, определяет, что они будут возводиться и возводятся как с несущими стенами, так и с каркасными конструкциями в зависимости от архитектурных, технологических и функциональных требований. Отличительной особенностью таких решений для гражданских зданий является четкость и простота конструктивных форм, определяющая простоту и индустриальность возведения: колонны – круглого или прямоугольного сечения; перекрытия – в основном безбалочные, обеспечивающие свободу в расстановке перегородок, т.е. свободу планировочных решений; вертикальные диафрагмы жесткости в таких зданиях упрощают конструкцию узлов сопряжения перекрытий с колоннами, работающими в этом случае только на вертикальные нагрузки; в перекрытиях укладываются все разводки труб для электро- и слаботочных устройств, что исключает необходимость устройства подвесных потолков или подсыпок под полы, в которых обычно размещают трубы. Кроме этого, при заданных пролетах между колоннами в зависимости от величины полезной нагрузки в безбалочных перекрытиях изменяются только толщина плиты и масса арматуры, в то время как в ребристых перекрытиях изменяются как расстояния между ребрами, так и размеры их поперечного сечения.

Если в ребристых перекрытиях сохранить стандартные размеры элементов, то в этом случае нередко приходится пренебрегать экономической стороной вопроса при подборе сечений. Если же придерживаться наиболее экономичных по расходу материалов размеров железобетонных сечений, то приходится нередко применять разные размеры элементов перекрытий, а следовательно, вводить и разнообразные типы опалубки.

К недостаткам безбалочных перекрытий следует отнести следующее: размеры пролетов безбалочных перекрытий ограничены; прямоугольные панели безбалочных перекрытий менее экономичны, чем квадратные; безбалочные перекрытия, как правило, должны иметь в каждом направлении не менее трех пролетов, и, наконец, не во всех случаях применение безбалочных перекрытий дешевле ребристых. Так, принято считать экономически выгодным применение безбалочных перекрытий при пролетах до 5 – 6 м и величине полезной нагрузки  $500 \text{ кг/м}^2$  и более.

В последние годы в нашей стране значительную долю в жилищном строительстве стали составлять монолитные железобетонные здания с безбалочным каркасом. Это обусловлено тем, что данное решение обеспечивает возможность строительства зданий любой конфигурации в плане, с различными объемно-планировочными решениями, а также ведет к снижению трудозатрат, капитальных вложений и расхода стали. Возведение зданий из монолитного железобетона позволяет избежать монтажных стыков в несущих конструкциях и повысить их жесткость.

Рассматривая конструктивные особенности строящихся монолитных гражданских зданий, следует отметить, что основная масса монолитного железобетона в основном сосредоточена в перекрытиях, проектируемых по безбалочной конструктивной схеме. Поэтому наиболее рациональной областью материало- и ресурсосбережения является применения эффективных типов данного перекрытия.

*Особенности расчета и конструирования.* Первые безбалочные перекрытия применялись над колоннами, имевшими расширяющуюся вверх часть (типа капители). Патент на такую конструкцию впервые был зарегистрирован в США Орландо Норкросом в 1902 году. Увеличение размеров оголовков колонн было характерной чертой данного решения конструкций и поэтому оно было также известно под термином «грибовидные перекрытия». В 1908 году в Москве под руководством А.Ф. Лолейта было запроектировано и построено четырехэтажное здание склада молочных продуктов с безбалочными перекрытиями.

Конструкция безбалочных перекрытий затрагивает вопросы расчета и конструирования в основном четырех основных элементов: колонн, непосредственно плиты перекрытия, капителей, обвязочных балок (рис. 1).

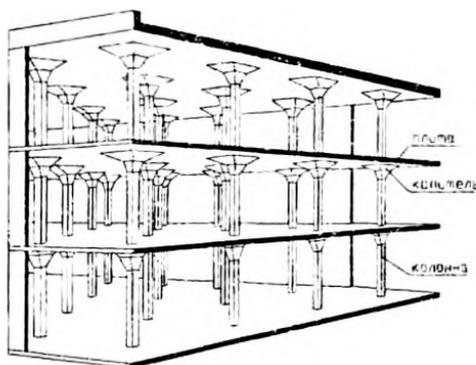


Рис. 1. Общий вид безбалочного перекрытия

По форме сечения колонны проектируются круглыми, квадратными, прямоугольными или многогранными. Если средние колонны перекрытия имеют сверху капитель, крайние колонны при этом могут устраиваться как с полукапителью, так и вовсе без нее (при отсутствии обвязочных балок устройство пристенных капителей обязательно). Как правило, капители бывают трех типов: с надкапительной плитой, с изломом и без надкапительной плиты. На практике по соображениям статической работы и по условиям архитектурной выразительности предпочтение отдается капителям

второго типа – с изломом. По результатам испытаний при прочих равных условиях капители данного типа на 10 % прочнее капителей с надкапительной плитой. Капители же третьего типа (без надкапительной плиты) применяются редко и при сравнительно небольших нагрузках. Кроме того, в строительстве нашли применение филленчатые безбалочные перекрытия – перекрытия, у которых средняя часть тоньше, чем опорная.

Существуют конструктивные решения безбалочных перекрытий без устройства капителей, а также без устройства обвязочных балок по крайним колоннам. Расширенные оголовки колонн впервые были исключены из конструкции безбалочных перекрытий Джозефом Ди Стасио в 1940 г. Это уменьшило площадь перекрытия, воспринимающую реакцию колонн, и поэтому потребовалось ввести дополнительную поперечную арматуру для восприятия перерезывающих сил или увеличивать размеры колонн, а также толщину перекрытий больше, чем требовалось. Для того чтобы отличить плиты перекрытий с безкапительными колоннами от плит с капительными колоннами (*flat slab*), им было дано специальное название – *flute plate* (плоское перекрытие).

Безбалочные перекрытия с безкапительными колоннами представляют собой предельно простые конструкции, состоящие из железобетонных плит одинаковой толщины и колонн постоянного сечения. Это упрощает опалубочные работы, а также арматурные работы и бетонирование. В связи с тем, что при безкапительных конструкциях колонны имеют постоянное сечение, их легко сопрягать со стенами и перегородками между колоннами. Поэтому они удобны для административных зданий и жилых домов. Но в данном случае возникает необходимость компенсировать отсутствие капителей более жестким сопряжением плиты с колоннами, которое обеспечивается с помощью так называемых стальных воротников в виде обоймы или балочной крестовины либо скрытых капителей, представляющих собой сборные предварительно напряженные плиты, которые замоноличивают в перекрытие, либо другими конструктивными мероприятиями.

Не вдаваясь в подробности и методологию расчетов плоских монолитных безбалочных перекрытий, отметим некоторые характерные особенности их расчетов и конструирования. При этом, несмотря на то, что в отечественной литературе и нормативных документах [6: 7] конструкция плоских перекрытий отсутствует как класс, действующие нормы все же не дают проектировщикам ответов на многие вопросы.

Толщина плиты безбалочного перекрытия назначается по расчетам, основанным на статико-экономических соображениях и допустимых прогибах плиты. При капителях с изломом и при капителях с надкапительными плитами принято подбирать толщину плиты по максимальному положительному моменту, а при капителях без надкапительной плиты – по максимальному отрицательному моменту.

Согласно требованиям норм [6; 7], толщина монолитного безбалочного перекрытия определяется исходя из условий жесткости. При этом основным условием, определяющим толщину плиты, все же является расчет плиты на продавливание.

В связи со сложным напряженно-деформированным состоянием безбалочных перекрытий все современные методы расчета, предлагаемые в учебной и нормативной литературе [6 – 8], подразделяют на три основные группы: точные, приближенные и расчет по готовым формулам.

Точные методы расчета плит безбалочных перекрытий как упругих пластинок с подкреплениями впервые были предложены Б.Г. Галеркиным, Г. Маркусом и Д. Лева [8]. Они весьма громоздки и имеют ограничения, связанные с величиной пролетов плит (в основном при равнопролетных системах).

Расчеты по готовым формулам, приведенные в различных инструкциях к нормативным документам и зарубежных нормах, разработаны в основном для проектирования перекрытий с разницей в величинах пролетов до 20 %, поэтому также на практике не получили столь широкого распространения.

В практике проектирования наибольшее распространение получили приближенные методы расчета, первыми из которых являлись приближенный способ А.Ф. Лолейта, метод заменяющих рам (для систем с различной величиной пролетов), метод расчета по предельному равновесию, а также реализация метода конечно-элементного расчета в современных программных комплексах (I.Ira, STARK, Robot Millennium, Мономах, SAP-2000).

В нормативах [6; 7] расчет плиты безбалочного перекрытия рекомендуется производить по методу предельного равновесия. При этом плиту рассматривают как систему звеньев, соединенных между собой по линиям пластических шарниров, которые в свою очередь проходят по линиям излома плиты. Для расчетов применяют две схемы загрузки (рис. 2):

- схема 1 предусматривает равномерное нагружение плиты полосовой нагрузкой через один пролет. В данном случае образуются три пластических шарнира: два на опорах и один в пролете;

- схема 2 – равномерно-распределенная нагрузка рассматривается по всей площади перекрытия. При данной схеме загрузки в стадии предельного равновесия образуется система пластических шарниров, которая в пролетах средних панелей проходит по взаимно перпендикулярным направлениям по центру панелей, а в надколонной зоне по осям колонн. При этом образуются четыре звена, которые будут испытывать вращательный момент вокруг опорных линейных пластических шарниров, оси которых обычно располагаются под углом  $45^\circ$  к рядам колонн.

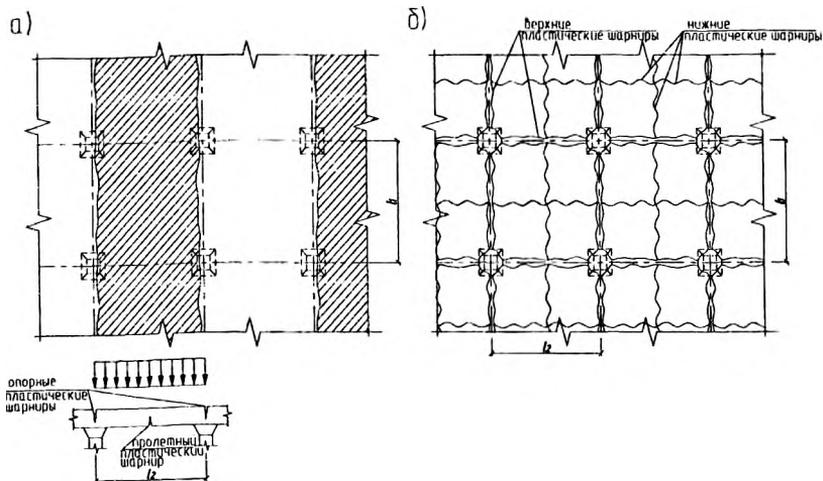


Рис. 2. К расчету безбалочного перекрытия:  
 а – нагрузка через один пролет; б – нагрузка по всей площади перекрытия

За время проектирования и строительства безбалочных монолитных перекрытий применялись три основные схемы их армирования (рис. 3):

- двухпутная (стержни арматуры располагаются по двум взаимно перпендикулярным направлениям параллельно линиям колонн);
- четырехпутная (кроме двух направлений параллельно линиям колонн, стержни также располагаются и по диагонали);
- кольцевая (система армирования из отдельных концентрических колец, укладываемых в разных зонах плиты).

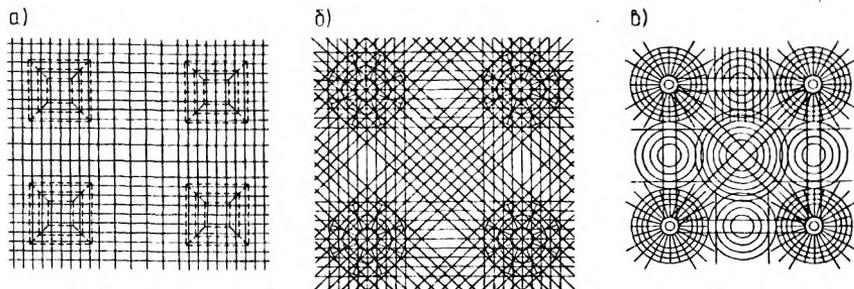


Рис. 3. Системы армирования перекрытий:  
 а – двухпутная; б – четырехпутная; в – кольцевая

Первая из этих схем (двухпутная) является наиболее простой и отвечает напряженному состоянию конструкции. По этой причине остальные две схемы не нашли широкого применения в строительстве.

Общий принцип армирования безбалочных перекрытий практически идентичен принципу армирования балочного перекрытия: в средней частей плиты, где возникают положительные моменты, арматура располагается в нижней зоне, а в надколонной зоне, где момент в плите отрицательный, – в верхней. В надколонных и пролетных полосах необходима установка как нижней, так и верхней рабочей арматуры.

При расчетах по подбору арматуры безбалочного перекрытия, плиту обычно разбивают в каждом направлении на две полосы (надколонную и пролетную) и определяют средние моменты для этих полос в пролете и на опоре, по которым затем подбирают необходимое сечение и количество арматуры.

Армируют безбалочные плиты, как правило, рулонными или плоскими сварными сетками. В прошлом (до организации индустриальной заготовки широких сварных сеток) были успешно разработаны и применены системы армирования отдельными несварными сетками (система А.Ф. Лолейта) или отдельными стержнями (системы армирования отдельными полосами, предложенные трестом Мясохладстрой и ЦНИПС).

#### **Новое конструктивное решение многопустотного безбалочного перекрытия**

Безбалочная железобетонная плита перекрытия представляет собой армированную плоскую монолитную плиту, содержащую в своей толще образованные пустотообразователями полости (рис. 4, а), главное предназначение которых заключается в снижении материалоемкости конструкции. В роли пустотообразователей выступают пластмассовые полые герметичные тела вращения (шар, эллипсоид и т.д.). В нашем случае пустотообразователь представлен в виде шара (рис. 5) [9].

Такая их форма обеспечивает работу плиты в двух направлениях, в отличие от пустотообразователей в виде картонной, пластмассовой или асбестоцементной трубы [2 – 5], преимущественно располагаемых в одном из направлений. Также преимуществом предлагаемого решения является то, что нет необходимости поштучной установки и фиксации пустотообразователей относительно арматуры, которая возникает в случае с пустотообразователями в виде труб или в виде легкобетонных вкладышей в форме прямоугольной призмы, что очень осложняет процесс установки. Данное преимущество в представленном решении обеспечивается специальной конструкцией пустотообразователей, а именно наличием в них специальных фиксаторов, позволяющих в специальных мастерских или на объекте

соединять блоки, что существенно облегчает их монтаж, снижает трудозатраты на установку и т.п. Блоки при этом формируются таких размеров, которые смогут обеспечить возможность их постановки в опалубку.

Таким образом, отличительной особенностью представленных в данной конструкции плиты пустотообразователей является их конструктивное решение, в котором учтены как геометрия, так и форма рациональной сборки в блоки с использованием специальных фиксаторов.

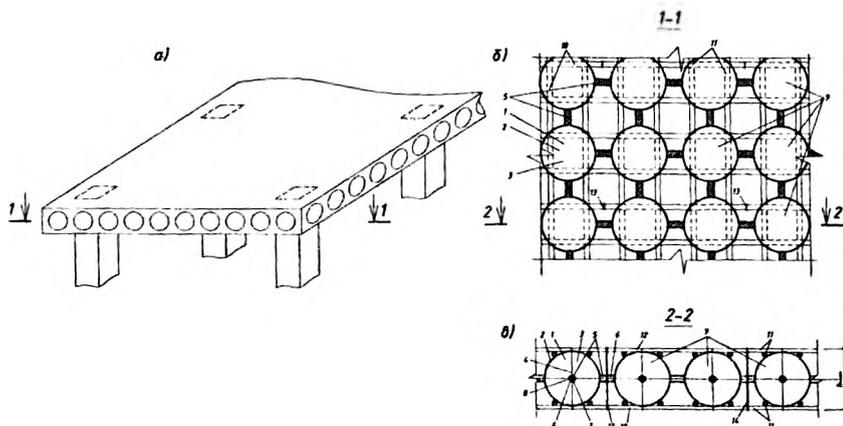


Рис. 5. Конструктивное решение безбалочной плиты перекрытия:  
 а – общий вид плиты перекрытия; б – разрез 1-1; в – разрез 2-2;  
 1 – пустотообразователь; 2 – тело вращения; 3 – шар; 4 – ось вращения;  
 5 – фиксаторы; 6 – втулки; 7 – штыри; 8 – центр тела вращения;  
 9 – блок пустотообразователей; 10 – нижняя арматурная сетка;  
 11 – арматурные стержни; 12 – верхняя арматурная сетка; 13 – хомуты

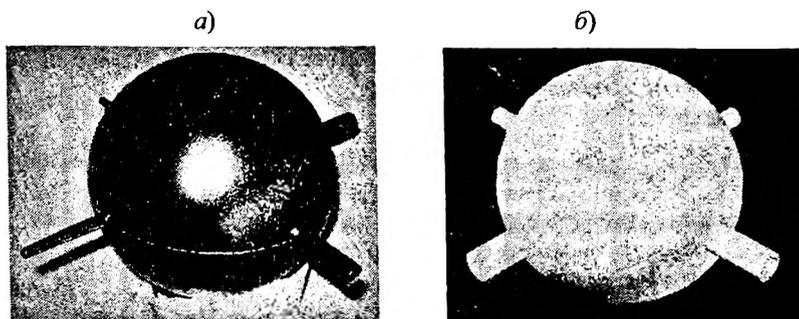


Рис. 5. Пустотообразователь:  
 а – модель пустотообразователя; б – пустотообразователь

Армирование плиты перекрытия выполняется верхней и нижней арматурными сетками, скрепление которых между собой осуществляется хомутами. Укладка блоков пустотообразователей производится после устройства в опалубке нижней арматурной сетки. При этом возможно два варианта их взаимного размещения: опирание пустотообразователя на ячейку нижней арматурной сетки (см. рис. 5, б и 5, в) и опирание на стержни последней [9].

При укладке блоков пустотообразователя в ячейки сетки появляется возможность изготовить их с максимально допустимым диаметром, тем самым обеспечивается более эффективное снижение расхода бетона, к тому же укладываемый блок легко самофиксируется в ячейках нижней арматурной сетки. После фиксации и укладки блоков пустотообразователей на них устанавливается верхняя арматурная сетка, скрепляемая с нижней хомутами.

Фиксаторы пустотообразователя выполняют таким образом, чтобы они были расположены снаружи под углом  $90^\circ$  друг к другу в перпендикулярной оси вращения и проходящей через центр плоскости. Диаметрально расположенные пары фиксаторов выполнены в виде штыря и втулки таким образом, что диаметр штыря позволяет осуществить его постановку внутрь втулки рядом с расположенным пустотообразователем. Фиксаторы выполнены длиной не менее минимальной толщины ребер плиты, что обеспечивает несущую способность конструкции по наклонным сечениям от действия поперечной силы. Следует также отметить, что наличие фиксаторов дает возможность дополнительного снижения расхода бетона при возведении плиты перекрытия.

Перечисленные отличительные особенности конструкции и монтажа безбалочной плиты перекрытия обеспечивают эффективную ее работу в двух направлениях, существенно снижают расход бетона при возведении, разрешают проблему, связанную с повышенными трудозатратами при монтаже пустотообразователей.

### **Выводы**

По истечении сотни лет при наличии различных разработанных конструктивных схем зданий и различных усовершенствованных облегченных конструктивных решений безбалочного перекрытия [2 – 4] вопрос снижения материалоемкости перекрытия остается открытым.

Рассматривая перспективы применения монолитного железобетона, необходимо отметить, что речь идет о качественно новом техническом уровне его использования. Этот уровень характеризуется принципиально новым подходом ко всему комплексу вопросов его внедрения: проектиро-

ванию, изготовлению опалубки, оснастки и арматурных изделий, транспортированию бетонной смеси и ее укладки, способам интенсивного твердения бетона. Комплексное решение этих и ряда других организационных вопросов позволит создать индустрию монолитного железобетона.

Безбалочные плоские перекрытия, используемые в настоящее время при строительстве различных видов зданий имеют завышенный расход бетона. Возникает вопрос о переходе к более экономичным системам монолитных безбалочных перекрытий, которые в свою очередь имели бы значительную экономию бетона и не уступали бы традиционным плоским перекрытиям в расходе арматуры и трудоемкости устройства опалубки.

### Литература

1. Сагадеев, Р.А. Современные методы возведения монолитных и сборно-монолитных перекрытий: учеб. пособие / Р.А. Сагадеев. – М., 2008.
2. Мельник, І.В. Конструктивно-технологічні особливості бетонних і залізобетонних конструкцій з ефективними вставками / І.В. Мельник // Міжвідомчий наук.-техн. зб.: Київ: 1999 р. – Вип. 50. – С. 164 – 171.
3. Мельник, І.В. Оптимізація залізобетонних конструкцій з допомогою ефективних вставок / І.В. Мельник// Проблеми теорії і практики будівництва: зб. наук. ст. – Львів, 1997. – Т. IV. – С. 89 – 90.
4. Яловенко, В.И. Цилиндрические пустообразователи для применения в монолитных железобетонных плитах перекрытий / И.В. Санников // Будівельні конструкції. – Київ: НДІБК, 2005 р.
5. Martina Schnellenbach-Held, Biaxial hollow slabs, theory and tests / Markus Aldejohann //Betonwerk Fertigteile-Technik, 10/2005, S. 50 – 59.
6. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с безбалочными перекрытиями. – М., 1979.
7. Руководство по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций. – М., 1975.
8. Леванов, Н.М. Железобетонные конструкции / Н.М. Леванов, Д.Г. Суворкин. – М.: Высш. шк. – 1965.
9. Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций: материалы XVI науч.-метод. конф. ВИТУ, Санкт-Петербург, 22 марта 2012 г. / СПбФВАТТ (ВИТУ); под. ред. Д.В. Курлапов [и др.]. – СПб., 2012. – 225 с.