

*Зулпуев А.М., Насиров М.Т.*

## МЕТОД СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В РАСЧЕТАХ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

*A.M. Zulpuev, M.T. Nasirov*

## METHOD OF CONCENTRATED DEFORMATION IN THE CALCULATIONS OF STRUCTURAL SYSTEMS MULTI-STOREY BUILDINGS

УДК: 624.012.45

*Бул статьяда төмөнкү конструктивтүү системанын, имараттардагы көпчүлүк элементтердин бир-бири менен болгон байланышы, жүк берүү аракеттерин мүнөздөгөн жана негизги конструктивтүү элементтердин чечимдерин аныктоосунун негизин түзгөн маселелер каралган.*

*В статье рассмотрен вопрос конструктивной системы как совокупности взаимосвязанных элементов здания, характеризующейся способом передачи нагрузок и решением главных конструктивных элементов.*

*This article deals with constructive system as a complex of interdependent constructive elements of a building, which is characterized by the way of passing loadings and choice of the main constructive elements.*

Под конструктивной системой понимается, совокупность взаимосвязанных конструктивных элементов здания, характеризующаяся способом передачи нагрузок и решением главных конструктивных элементов.

Более общим с точки зрения расчетов является термин «несущая система» [3], широко употребляемый в современной технической литературе. Существуют различные классификации конструктивных систем многоэтажных зданий [1].

В настоящей работе в соответствии с ее направленностью рассматриваются основные, наиболее распространенные конструктивные системы: стержневые (каркасные), плоскостные (панельные) и комбинированные (рис. 1).

Развиваемый в настоящей работе расчетный метод сосредоточенных деформаций [2] построен таким образом, что в нем нет обычно распространенного различия между стержневыми и плоскостными элементами и системами из них.

Железобетонная изгибаемая плита как элемент

МСД с шестью степенями свободы может рассматриваться как элемент общего типа, на основе которого строятся как частные случаи, так и все другие железобетонные стержни (колонны, ригели, перемычки и др.), плосконапряженные элементы (стеновые панели, диафрагмы жесткости, монолитные стены и др.), изгибаемые плитные элементы с поперечной нагрузкой (перекрытия, фундаменты, стеновые панели с эксцентриситетами из их плоскости и др.).

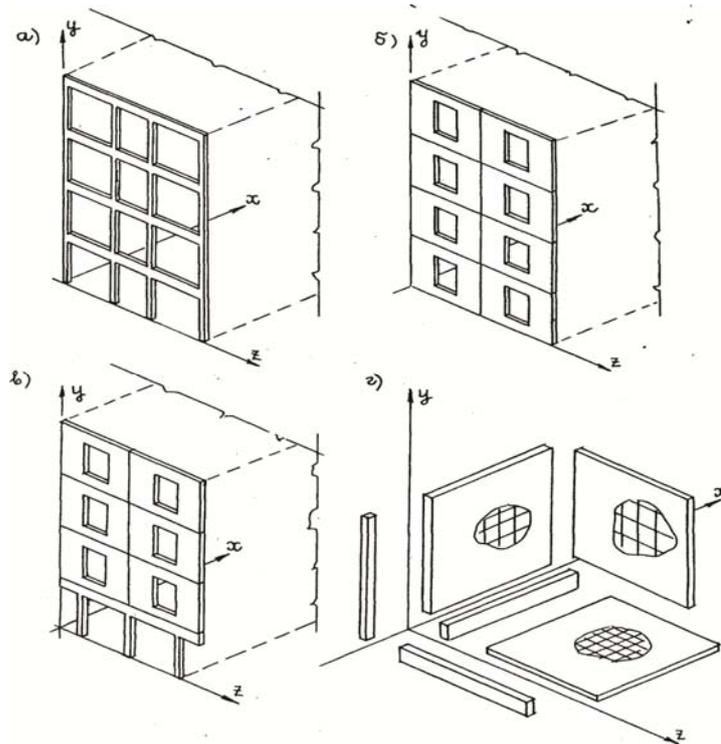
Каркасные системы обладают рядом преимуществ, а именно:

- минимальным весом конструкций в единице общего объема сооружения;
- большим многообразием объемно-планировочных решений при ограниченной номенклатуре изделий;
- возможностью создания крупных помещений и трансформации их в процессе эксплуатации;
- использованием высокопрочных бетонов и арматурных сталей, составляющих основу в перспективном строительстве.

По способу восприятия нагрузок каркасные системы делятся на рамные, рамно-связевые и связевые.

Сравнение стального и железобетонного каркасов в проектах торговых зданий показывает, что железобетонные каркасы обеспечивают экономию металла в 2,5 раза, снижение трудоемкости до 60%, стоимости сооружения до 25% [5].

В Москве на проспекте Калинина при строительстве административных зданий, гостиниц «Националь» и «Белград» в сборном железобетоне достигнуто снижение расхода стали в 2 раза, трудозатрат в 1,5 раза, стоимости на 20% по сравнению с вариантами при стальном каркасе.



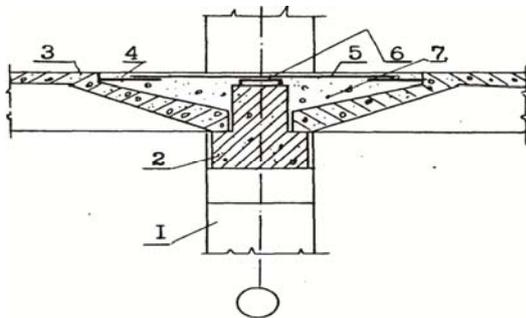
**Рис. 1.** Конструктивные системы многоэтажных зданий: а) – каркасная, б) – панельная, в) – комбинированная, г) – стержневые и плоскостные элементы в несущих системах.

При одинаковой стоимости в многоэтажных промышленных зданиях из стальных каркасов расход металла в 2–2,5 раза больше, чем при применении железобетонных конструкций.

Сборные каркасные конструкции из железобетона широко применяются за рубежом: в США, Германии, Японии, Франции, Италии, Чехии, Словакии, Венгрии, Польши, Болгарии и др., хотя объем сборных железобетонных конструкций за рубежом не превышает 25% общего объема бетонных и железобетонных конструкций.

В зарубежных странах конструктивные системы не унифицируются, в странах СНГ внедряются унифицированные каркасные системы.

В Болгарии распространена рамная система с большепролетными перекрытиями (рис. 2), при сетках 6x12, 9x12 и 12x12м.



**Рис. 2.** Каркасная система в Болгарии: 1 – колонна, 2 – ригель, 3 – настил 2Т, 4 – арматурные выпуски, 5 – дополнительная сетка, 6 – хомуты-выпуски из ригеля, 7 – монолитный бетон.

Настилы перекрытий – типа 2Т с выпусками арматуры на массивных торцах; ригели таврового сечения, из верхней части которых выпущены замкнутые хомуты для образования с арматурой настилов и дополнительно укладываемой верхней арматурой неразрезности перекрытий. На стадии монтажа каркас является шарнирным и требует временных инвентарных связей, в стадии эксплуатации он работает по рамной схеме с жесткими узлами; при необходимости эта система применяется в промышленных и общественных зданиях, обеспечивает разнообразие архитектурных решений, достигается хорошая освещенность при малой строительной высоте перекрытия, применима в сейсмических районах.

В Чехии и Словакии разработана каркасная система STU трех типов (рис. 3), состоящая из сборных железобетонных колонн, прогонов (плоских, с полками вниз и вверх), многопустотных панелей и типа 2Т. Характерно во всех этих сериях системы STU стремление к снижению строительной высоты перекрытия путем опирания панелей на нижние полки ригелей или подрезкой панелей на опорах.

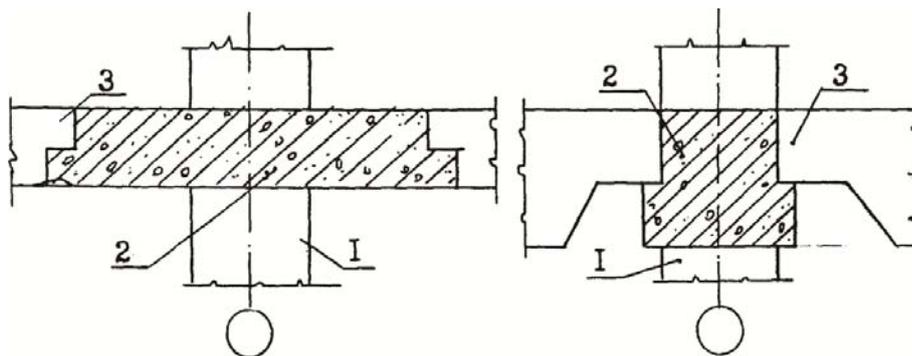


Рис. 3. Каркасная система STU (Словакия): 1 – колонна, 2 – ригель, 3 – настил.

Каркасная связевая система SKBS-75 (Германия) состоит из сборных железобетонных колонн высотой один-три этажа, одинарных или спаренных балок прямоугольного сечения и многопустотных предварительно напряженных плит; в отличие от всех других типов каркасных систем здесь опирание ригеля на колонну принято бесконсольным (рис. 4).

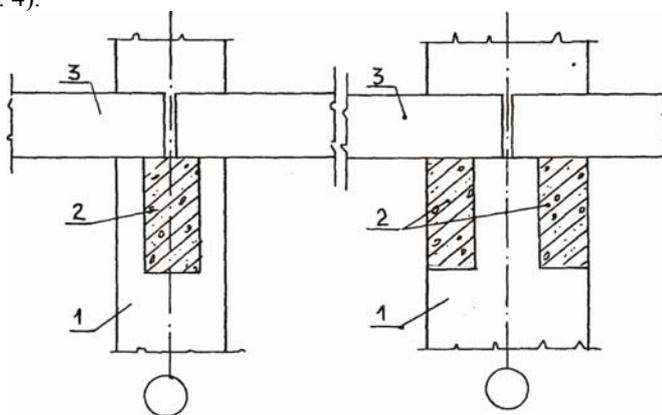


Рис. 4. Каркасная система SKBS-75 (Германия): 1 – колонна, 2 – ригель, 3 – настил.

Анализ зарубежного опыта каркасного строительства показал, что:

- этажность каркасных зданий определяется несущей способностью колонн, сечения которых должны быть минимальными;
- наблюдается тенденция к укрупнению пролетов и росту временных нагрузок;
- чаще всего каркасы решаются по связевой схеме;
- имеется стремление к укрупнению элементов;
- в перекрытиях применяются чаще всего предварительно напряженные плиты.

В странах СНГ каркасные системы многоэтажных зданий начали внедряться с 1950 г., но широкое распространение получили только при строительстве многоэтажных общественных и промышленных зданий.

В 1958–1959 гг. был разработан железобетонный каркас серии ИИ-60, усовершенствованный и замененный затем в 1964 г. серией ИИ-20 (рис. 5).

Конструкции серии ИИ-20(1.420) предназначены для промышленных зданий с тяжелыми нагрузками. Колонны сечением 40х40 и 40х60 см выполняются из бетона класса В20-В40 и арматуры класса А-III, стык колонн – жесткий, с приваркой стыковых стержней к стальным оголовкам и последующим замоноличиванием. Ригели – из бетона класса В25; арматура при пролетах до 6 м из класса А-III, для пролетов 9 м – предварительно напряженная класса А-IV. Плиты перекрытий предварительно напряженные.

В поперечном направлении каркасы – рамный, в продольном – связевой, с установкой стальных связей.

Для гражданских и административно-бытовых зданий разработаны и введены в действие в 1964 г. типовые сборные железобетонные конструкции унифицированного каркаса серии ИИ-04. К этой серии разрабатывались отдельные выпуски и дополнения в 1966 и 1967 гг. и 1972–1973 гг.

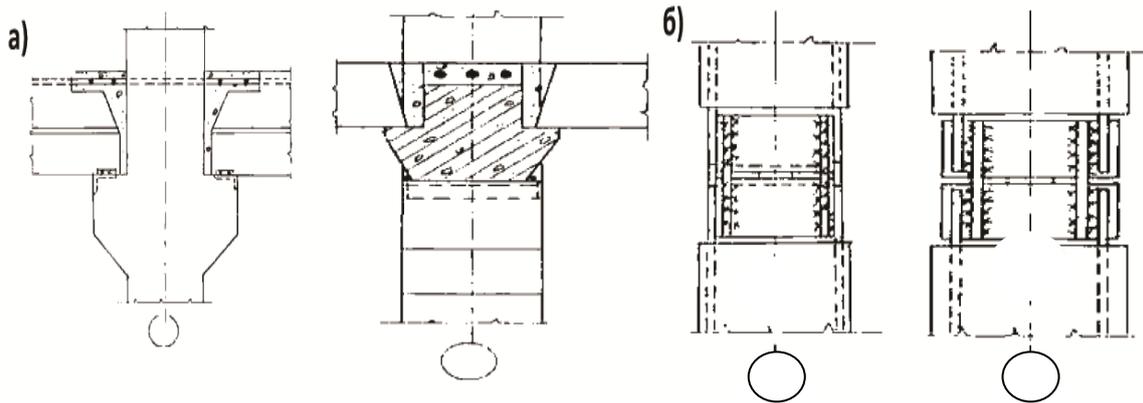


Рис. 5. Узлы каркаса серии ИГ-20 (1.420): а – стык ригеля на средней колонне, б – стык колонн.

Последний вариант каркаса серии ИИ-04 (рис. 6) в странах СНГ учитывает передовой опыт заводского изготовления и монтажа сборных каркасных зданий. В этом связевом каркасе упрощена конструкция и сокращены металлоемкость и объем сварочных работ в узлах примыкания ригеля к колонне за счет снижения опорного момента со 176 до 55 кН м; существенный недостаток предыдущих

вариантов – стальные оголовки колонн исключены; стык колонн решается с плоскими торцами и полуавтоматической ванной сваркой выпусков арматурных стержней; сейчас предложены, исследованы и осваиваются еще более простые стыки колонн, до предела снижающие его металлоемкость и трудоемкость на монтаже.

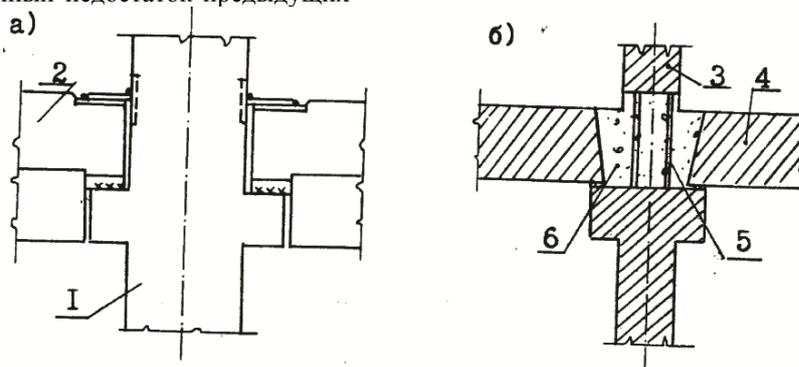


Рис. 6. Каркас серии ИИ-04: а) – опирание ригелей на средней колонне, б) – стык диафрагм жёсткости, 1 – колонна, 2 – ригель, 3 – диафрагма, 4 – настил перекрытия, 5 – арматурные выпуски, 6 – бетон замоноличивания.

В этой серии предусматривается вариант сборных железобетонных диафрагм, в частности обладающих повышенной жесткостью, но требующих замоноличивания горизонтальных стыков (рис. 6); в дальнейшем разработаны конструкции диафрагм, лишенные этого недостатка.

В Москве для строительства используются конструкции унифицированного каркаса серии КМС, который применяли также в Ленинграде, Алма-Ате, Ташкенте и на объектах БАМ.

В состав единого каталога входят также и панельные конструкции.

Основная идея этого каталога – при минимальном наборе сборных конструкций обеспечить максимальную вариабельность проектных решений; принцип «от проектов – к изделиям» заменен принципом «от изделий – к проектам»; типовыми стали изделия, а не здания.

Унифицированный каркас КМС является связевым, горизонтальные нагрузки воспринимаются диафрагмами и ядрами жесткости (рис. 7).

Колонны этого каркаса приняты с единым сечением 400x400 мм и высотой на один-два этажа; бетон применяется класса В15-В45; арматура – класса А-III; увеличение их несущей способности идет в направлении повышения класса бетона до В60 и арматурных сталей класса Ат-V.

Важными элементами сборных колонн являются их стыки по высоте, которые должны иметь несущую способность не меньшую, чем по сечению в стволе колонны, и в то же время быть малометаллоемкими, нетрудоемкими и технологичными.

Основным типом стыка колонн является плоский замоноличенный с подрезками бетона и ванной сваркой продольной арматуры.

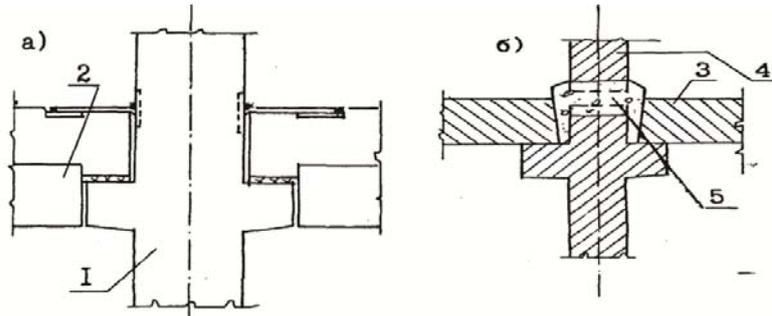


Рис. 7. Каркас серии КМС: 1 – колонна, 2 – ригель, 3 – настил, 4 – диафрагма, 5 – бетон замоноличивания; а) – опирание ригелей на средней колонне, б) – стык диафрагм жесткости.

В колоннах под большие нагрузки, при большом числе продольных арматурных стержней (до 16 $\phi$ 40) используются торцевые листы, к которым приваривается половина продольных стержней, остальные с точно обрезанными концами обрываются в зоне стыка, передача усилий в них идет через тонкий контактный растворный слой и сцепление по боковой поверхности с бетоном, усиленным косвенной арматурой.

Ригели в каркасе КМС – с полкой внизу для опирания плит, что снижает строительную высоту перекрытия; ригель имеет подрезки на опорах для опирания на скрытые консоли колонн, к которым они привариваются в двух уровнях, обеспечивая восприятие изгибающего момента с заданной величиной. Бетон в ригелях принимается классов В25-В40, арматура – в виде сварных каркасов.

Диафрагмы жесткости в унифицированном каркасе обычно выполняются сборными, реже монолитными в форме замкнутых ядер жесткости, плоских стен, швеллеров и более сложных форм. Бетон сборных диафрагм жесткости – класса В9-В25, арматура – двухслойная сетка и контурный арматурный блок.

Каркас серии I.020-1 решен по связевой схеме с подчеркнuto шарнирным соединением ригелей с колоннами; восприятие горизонтальных нагрузок обеспечивается железобетонными диафрагмами жесткости или стальными связями, объединенными сборными перекрытиями как горизонтальными дисками (рис. 8).

Колонны серии I.020-1 одно- и многоэтажные (до 4 этажей), что исключает устройство трудоемких и ответственных стыков; сечение колонн 300x300 и 400x400 мм, бетон – классов В25-В45, арматура – класса А-Ш.

Стыки колонн (при этажности более 4) выполняются безметалльным, с ванной сваркой рабочих стержней с последующим замоноличиванием; несущая способность колонн – до 5800 кН.

Ригели в серии I.020-1 рассчитаны на опирание на нижние полки плит перекрытий различных типов (пустотных, ребристых, Т 2 и др.);

- пролеты ригелей – до 9 м;

- при пролетах 6 и 9 м арматура предварительно напряженная, стержневая, термически упрочненная класса Ат-V.

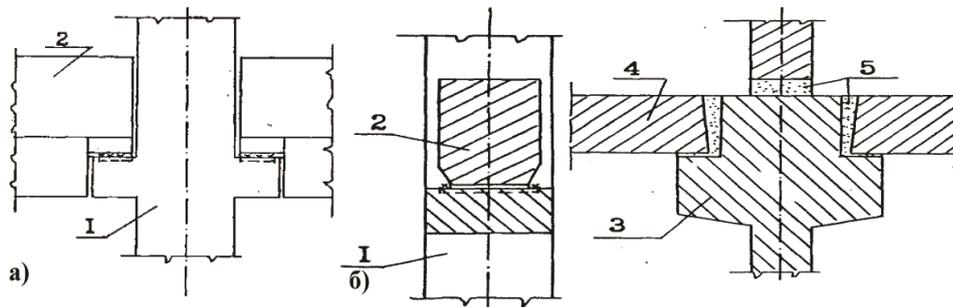


Рис. 8. Каркас серии I.020-1: а) – опирание ригелей на средней колонне, б) – стык диафрагм жёсткости; 1 – колонна, 2 – ригель, 3 – диафрагма жёсткости, 4 – перекрытие, 5 – раствор замоноличивания.

Диафрагмы жесткости в серии I.020-1 предусмотрены с поэтажной разрезкой и плоскими горизонтальными контактными стыками; в отличие от известных решений в этих диафрагмах существенно упрощена схема армирования и общий расход стали.

Из краткого анализа опыта проектирования

зарубежья и стран СНГ, изготовления и строительства каркасных систем многоэтажных зданий можно сделать такие выводы:

1. При наличии мощной производственной базы по производству сборных железобетонных конструкций в странах СНГ развивается типизация строительной продукции, причем типизация

открытая, при которой из ограниченного набора готовых изделий можно возводить самые разнообразные объекты.

2. Типизация изделий требует унификации конструктивных решений, узлов, нагрузок, объемно-планировочных решений при неограниченном многообразии зданий и сооружений.

3. В этих условиях возрастают требования к точности расчетов несущих систем многоэтажных зданий, становится все более экономически целесообразным применение современной вычислительной техники, так как массовая повторяемость железобетонных элементов, их расчетных схем и нагрузок соответственно многократно умножает экономию в расходе арматуры и бетона, достигаемую вследствие уточнения расчетных моделей с их реализацией на вычислительной технике.

Плоскостные (панельные) конструктивные системы образуются из вертикальных и горизонтальных пластин (панелей) – стен и перекрытий, причем эти конструкции могут выполняться из различных материалов и разными способами. Предложены и более подробные классификации плоскостных конструктивных систем, однако с точки зрения развиваемой в настоящей работе расчетной модели МСД детальная классификация не требуется.

Плоскостные (панельные) конструктивные системы по сравнению со стержневыми (каркасными) обладают рядом преимуществ, а именно: повышаются темпы возведения зданий, сокращаются сроки строительства и уменьшается расход металла на  $1 \text{ м}^2$  общей площади.

Эта конструктивная система целесообразна в зданиях с небольшими помещениями (жилые дома, гостиницы, дома отдыха, общественные здания).

Вертикальными плоскостными конструкциями в сборных системах являются наружные и внутренние стеновые панели, образующие панельные столбы. Наружные стеновые панели выполняются однослойными или многослойными, и они представляют собой елочные конструктивные

элементы, призванные обеспечивать восприятие вертикальных и горизонтальных нагрузок, переносить влияние температурно-влажностных деформаций, будучи основными элементами в формировании архитектурного облика здания. Панели внутренних стен выполняются, как правило, из тяжелого бетона (железобетона), и их толщина определяется требованиями несущей способности и звукоизоляции.

В плоскостных (панельных) конструктивных системах решающую роль в обеспечении прочности и устойчивости здания играют горизонтальные (рис. 9) и вертикальные стыки. Для многих типов стыков установлены экспериментально-расчетным путем основные характеристики податливости (жесткости), которые естественным образом вписываются в расчетную модель МСД. Однако эти характеристики стыков часто оказываются недостаточно полными; они должны задаваться не в виде однозначных соотношений «усилие-перемещение», а в форме многомерных (матричных) нелинейных зависимостей.

В настоящее время постановка и решение этой весьма непростой задачи находится пока в начальной стадии. Комбинированные (или пластинчато-стержневые) конструктивные системы согласно принятой здесь обобщенной классификации – это такие, несущими элементами которых являются стержни и пластины (плиты). Под комбинированными конструктивными системами чаще всего понимается сочетание в одном здании каркасной (стержневой) системы в первых этажах и плоскостной (панельной) системы – в верхних.

В настоящее время конструктивных систем в многоэтажных зданиях рассчитываются с линейной схемой опирания. Для анализа работы плит перекрытий в предельном состоянии влияние распора может оказаться существенным, и поэтому ниже анализируются исследования схожих конструкций.

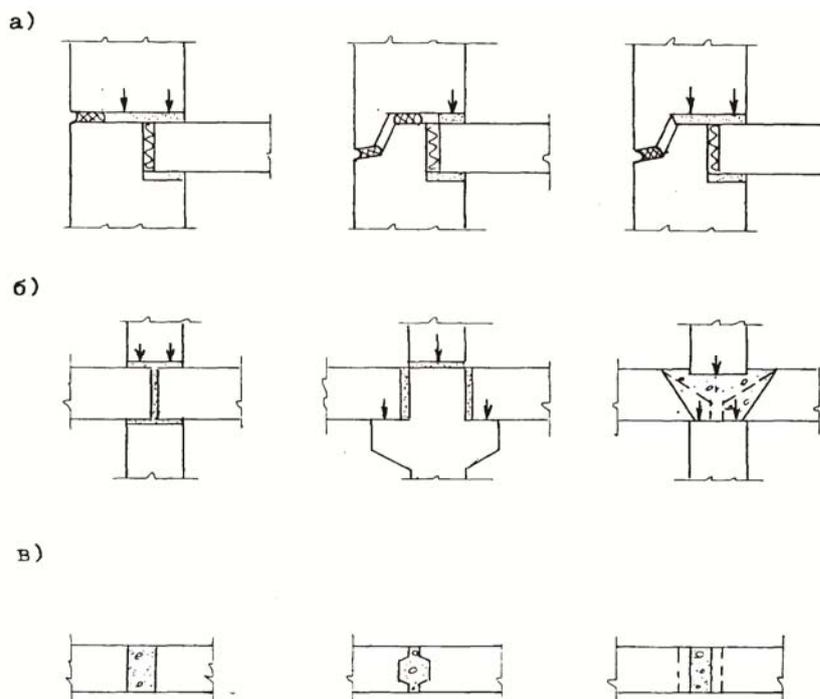


Рис. 9. Горизонтальные и вертикальные стыки в панельных зданиях: а) – горизонтальные и вертикальные стыки в панельных зданиях; б) – то же, внутренних, в) – вертикальные стыки.

Крылов С.М. на основе анализа результатов испытаний опытных перекрытий многоэтажных каркасных зданий предложил расчетную схему учета распора при определении несущей способности плит. Величина распора определяется для момента разрушения в зависимости от сопротивления окружающих конструкций смещению опорных шарниров. Считается, что вращение звеньев происходит относительно нижней грани сжатой зоны сечения. Руководство для плит, работающих в двух направлениях и окаймленных по контуру балками, предлагает определять влияние распора на несущую способность расчетом, который учитывает жесткость контурных связей, прогибы конструкции и базируется на исследованиях.

Янкелевич М.А. предложил методику расчета плит, работающих с распором, по методу предельного равновесия с последовательным уточнением геометрии конструкции и распорных усилий. Положение пластических шарниров в расчетной схеме предполагается по физической оси сечения. Прогибы плиты определяются по формуле Мора как для шарнирно-пластинчатого свода. Для симметричных балочных и квадратных плит методика реализована в программе для вычислительной техники. Рассматриваемая методика, уточняя учет распорного эффекта, существенно усложняет расчеты и требует применения вычислительной техники.

Ягодкин В.Н. разработал инженерную методику расчета прочности, при совместном действии продольных осевых сжимающих сил и крутящих моментов, на основе которой возможно решение за-

дач по проверке несущей способности элементов. Для приближенной оценки прогибов плит до настоящего времени широко применяется способ, предложенный Королевым А.Н. и Крыловым С.М., которой затем неоднократно уточнялся и конкретизировался для различных условий закрепления.

Фролов П.Г., учитывая взаимосвязь распоров, изгибных и осевых жесткостей, эксцентриситетов и прогибов, расчет конструктивных систем выполняет с помощью вычислительной техники шагово-итерационным методом. Результаты расчета и испытания модели пустотной плиты по прогибам и прочности имеют удовлетворительную сходимость. Проведенный анализ показывает, что расчетные схемы и методы, применяемые в настоящее время для конструктивных систем, весьма приближенно учитывают реальную работу железобетона и условия закрепления по контуру. Расчет конструктивных систем в многоэтажных зданиях, объединенных податливыми связями, может выполняться методом сосредоточенных деформаций. Простота учета податливых соединений между элементами или в опорных устройствах при расчете сборно-монолитных конструктивных систем в многоэтажных зданиях является одним из достоинств этого метода.

Основные положения метода сосредоточенных деформаций применительно к конструктивным систем в многоэтажных зданий разработаны в следующих работах [4].

#### Выводы

В этих условиях возрастают требования к точности расчетов несущих конструктивных систем

многоэтажных зданий, становится все более экономически целесообразным с применением современной вычислительной техники, так как массовая повторяемость железобетонных элементов т.е. конструктивных систем многоэтажных зданий, их расчетных схем и нагрузок соответственно многократно умножает экономию в расходе арматуры и бетона, достигаемую вследствие уточнения расчетных моделей с их реализацией на вычислительной технике на основе метода сосредоточенных деформаций.

**Список использованной литературы**

1. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. Учебник для вузов. - 4-е изд., перераб. - М.: Стройиздат. - 1985. - 728 с.
2. Додонов М.И. Расчет изгибаемых пластин методом сосредоточенных деформаций. //Строительная механика и расчет сооружений. -1986. - № 2. - С. 22-25.
3. Дроздов П.Ф. Конструирование и расчет несущих систем многоэтажных зданий и их элементов. - М.: Стройиздат. – 1977. - 223 с.
4. Зулпуев А.М. Расчет изгибаемых плитных элементов и систем из них с учетом нелинейной работы по методу сосредоточенных деформаций. //Научно-технический и производственный журнал «Бетон и железобетон». № 2, 2005. - Москва. - 2005 – С. 14-17.
4. Лепский В.И., Паньшин Л.Л., Кац Г.Л. Полносборные конструкции общественных зданий. - М.: Стройиздат. – 1986. - 233 с.

**Рецензент: д.т.н., профессор Маруфий А.Т.**

---