

## РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ БЕЗБАЛОЧНЫХ БЕСКАПИТЕЛЬНЫХ МОНОЛИТНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

Дорофеев В.С., Заволока Ю.В., Кобринец В.М., Заволока М.В.  
(Одесская государственная академия строительства и архитектуры,  
г. Одесса)

**Объект исследования – безбалочные бескапитальные монолитные перекрытия в составе эффективных каркасных монолитных многоэтажных жилых зданий. Приведены обзор и обобщения исследований по расчету и конструированию таких перекрытий.**

В настоящее время в Украине интенсивно развивается монолитное домостроение, которое наиболее полно отвечает современным функциональным и архитектурным требованиям. Достоинства монолитного домостроения – широкое разнообразие объемно-планировочных решений и внешнего облика зданий, а также высокие эксплуатационные качества зданий.

Для монолитных многоэтажных зданий, широко применяемых в современном строительстве, наиболее целесообразно использование каркасно-стеновой конструктивной системы, которая дает возможность осуществлять свободную планировку внутренних помещений и отвечает конструктивным требованиям по обеспечению жесткости и устойчивости зданий. Эта конструктивная система состоит из вертикальных несущих элементов-колонн, стен и горизонтальных несущих элементов, в данном случае, рассматривается вариант часто применяемый в современном строительстве, – с плоскими безбалочными бескапитальными монолитными перекрытиями. Однако при их проектировании и возведении возникают большие проблемы, связанные с отсутствием достаточных нормативных документов по расчету, конструированию и технологии бетонных работ.

Руководство по проектированию железобетонных конструкций на основе монолитного каркаса с монолитными безбалочными бескапитальными перекрытиями в Украине до сих пор не разработано.

Безбалочные перекрытия (с капителями) появились 100 лет назад. Впервые такие перекрытия были предложены Рунером (США) в 1906 году и инж. Торнером. В Европе первое безбалочное перекрытие было рассчитано, сконструировано и построено в 1908 году в России, благодаря работам профессора А.Ф. Лолейта.

Основные преимущества безбалочных бескапитальных перекрытий



перед другими видами перекрытий заключаются: в простоте изготовления и меньшем расходе материалов (благодаря плоской форме и минимальной площади поверхности из-за отсутствия балок), в меньшей площади подлежащей отделке, в улучшении освещения помещений, в упрощении устройства теплоизоляции, в лучшем использовании объема помещений из-за отсутствия выступающих ребер, облегчении устройства различных проводок и коммуникаций. Благодаря сравнительно небольшой конструктивной высоте безбалочного бескапитального перекрытия уменьшается общая кубатура и высота многоэтажного здания и сокращается расход материалов. С технологической точки зрения эти перекрытия весьма просты благодаря простой конструкции опалубки. Наличие консольной части по периметру перекрытия дает возможность удобно решать наружные ограждающие конструкции, а также температурно-осадочные швы и примыкания к другим зданиям.

Монолитные безбалочные бескапитальные перекрытия рациональны при пролетах до 6 м, максимум до 7,2 м, поскольку при больших пролетах собственный вес плиты будет составлять более половины всей вертикальной нагрузки.

Такие перекрытия считаются нерациональными, если нагрузка от собственного веса плиты перекрытия превышает  $500 \text{ кг/м}^2$ . По расходу материалов перекрытие с прямоугольной ячейкой колонн менее экономично чем с квадратной, так как в этом случае не полностью используется рабочая высота сечения плиты.

При опирании плиты перекрытия непосредственно на колонны повышаются требования к обеспечению жесткости к самому ответственному в этой конструкции узлу сопряжения плиты с колонной, от его конструктивного решения зависит расчетная схема всего здания, а также гарантия прочности плиты в зоне ее продавливания по периметру колонны. В связи с этим для увеличения площади опоры плиты, вводили в ее опорную зону, более прочный чем плита вкладыш, который выполнял конструктивные функции капители. Наибольшее распространение получили конструкции безбалочных бескапитальных перекрытий с применением так называемых воротников в зданиях, возводимых методом подъема этажей. Но их нельзя рекомендовать для массового применения, так как они металлоемки и частично исключают работу бетона в пределах воротников. Также, эти конструкции не дают рамного узла, тем самым уменьшая жесткость каркаса, что экономически нецелесообразно.

Американские исследователи Розенталь, Хогнестада, Эльстера, немецкие – Бах и Граф, впервые проводили испытания железобетонных плит, опорная зона которых была усилена арматурой для восприятия



поперечной силы.

В период возникновения и первоначального развития безбалочных перекрытий пользовались грубо приближенными методами расчета. Затем было сделано немало попыток рассчитывать безбалочные перекрытия как пластинки, опирающиеся на капители, с помощью бигармонического уравнения:

$$\frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} = \frac{q(xy)}{D} \quad (1)$$

где  $\omega$  – прогиб пластинки;

$x, y$  – координаты в прямоугольной системе осей;

$q(x, y)$  – равномерно распределенная нагрузка;

$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$  – цилиндрическая жесткость;

$h$  – толщина плиты;

$\nu$  – коэффициент Пуассона.

Исследования Никольса, Вестергарда, Леве, Маркуса, Гершгорна, Галеркина, проведенные на этой основе, много содействовали выяснению работы безбалочных перекрытий. В результате проведенных исследований появились так называемые точные методы расчета. К ним относятся: метод Леве с использованием тригонометрических рядов, метод упругих сеток Маркуса. Все эти методы весьма сложны для практического применения. В связи с этим практика реального проектирования потребовала упрощенных способов расчета. Исследования показали, что расчет безбалочного перекрытия методом заменяющих рам, разработанный Маркусом, М.Я. Штаерманом, дает результаты с достаточной для практики точностью. В методе заменяющих рам, предложенном М.Я. Штаерманом, ригель заменяющей рамы рассматривается как неразрезная балка переменной жесткости на упругоподатливых опорах. Для такой балки получены уравнения упругой линии и изгибающих моментов. Этот метод доступен для расчета связевых каркасов, где горизонтальные усилия воспринимаются диафрагмами.

Метод заменяющих рам Маркуса в 1925 году комиссией по железобетону был введен в строительные нормы Германии для расчета безбалочных перекрытий.

По методу Маркуса расчет безбалочного перекрытия и колонн сводится к расчету двух взаимно перпендикулярных заменяющих рам, условными ригелями которых являются полосы плиты, по ширине равные полусумме двух смежных пролетов прилегающих к соответствующему ряду колонн (рис. 1). Каждая из заменяющих рам



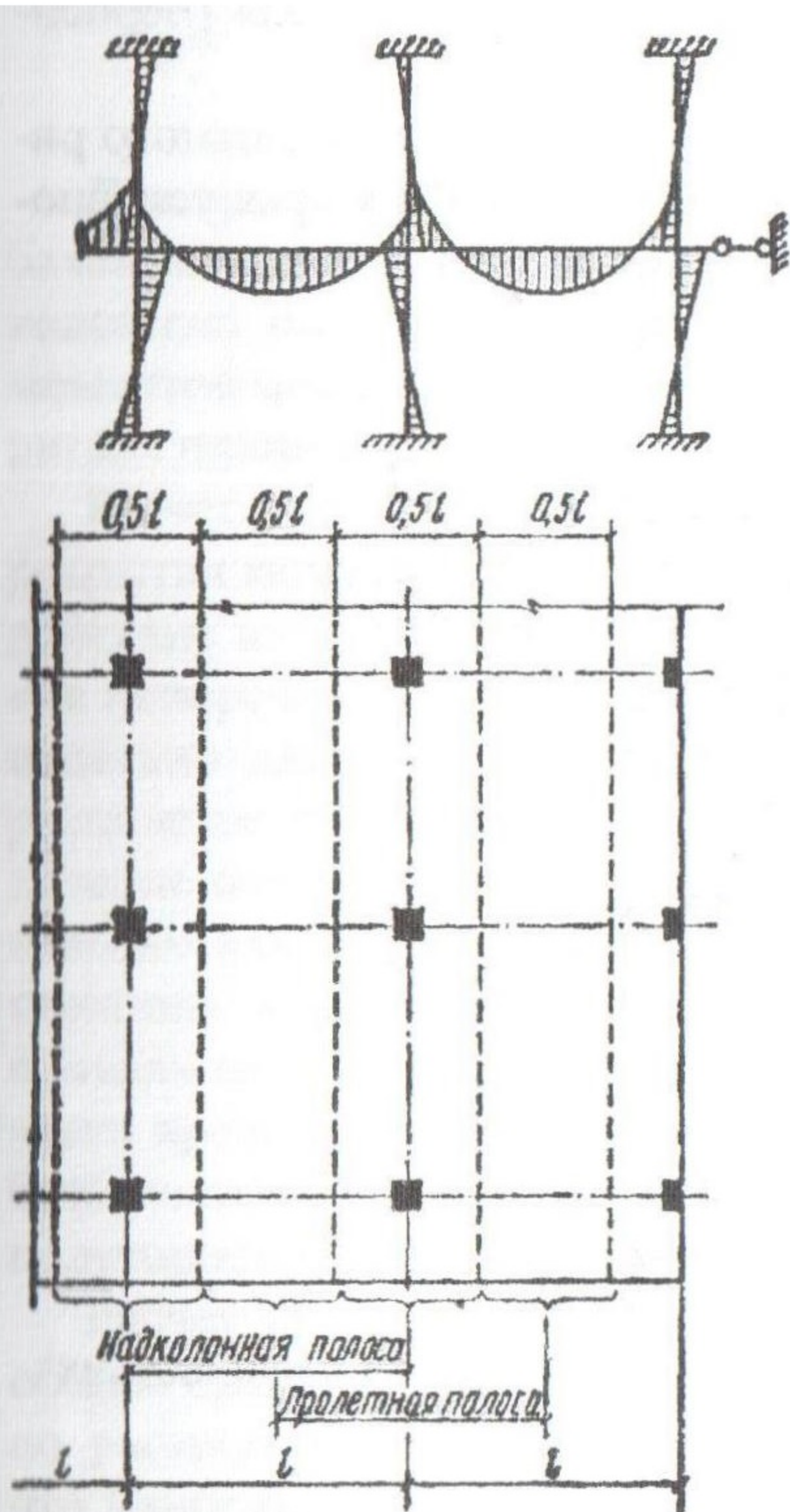


Рис. 1. Расчетная схема рамы для расчета методом заменяющих рам.

на вертикальные и горизонтальные нагрузки производят как систем с жесткими узлами в местах соединения колонн с условными ригелями.

При рамно-связевой конструктивной схеме горизонтальная нагрузка передается на диафрагмы и ядра жесткости. Вертикальные диафрагмы, входящие в общую систему жесткости здания, рекомендуется размещать с таким расчетом, чтобы общий центр изгиба диафрагм жесткости совпал с общим центром масс здания и с точкой приложения равнодействующих горизонтальных ветровых нагрузок обоих направлений. Вертикальная нагрузка располагается в пределах площади условного ригеля.

Найденные расчетные значения моментов ригелей рамы распределяются между надколонными и пролетными полосами.

рассчитывается по правилам строительной механики, как упругая система. В целях упрощения расчет заменяющих рам в двух взаимно перпендикулярных направлениях производят на полную расчетную нагрузку, загружающую все пролеты каждой отдельной рамы без распределения ее невыгоднейшим образом. Такой расчет, в известной степени компенсирует отсутствие расчета условного ригеля на действие крутящих моментов, которые присутствуют в плоских плитах перекрытий.

За расчетную схему принимается двухъярусная рама с ригелями посередине, при этом способ закрепления верхнего конца верхней стойки и нижнего конца нижней стойки особого значения не имеет, так как в основу уравнения положено предположение об отсутствии горизонтального смещения узлов. Для каркасно-монолитных зданий расчет заменяющих рам



Изгибающие моменты по всей ширине условного ригеля (перпендикулярно к оси рамы) распределяются неравномерно.

Как видно из рис. 2 изгибающие моменты в середине условного ригеля (по оси колонн) имеют максимальные значения, а у края условного ригеля (между колоннами) они имеют минимальные значения.

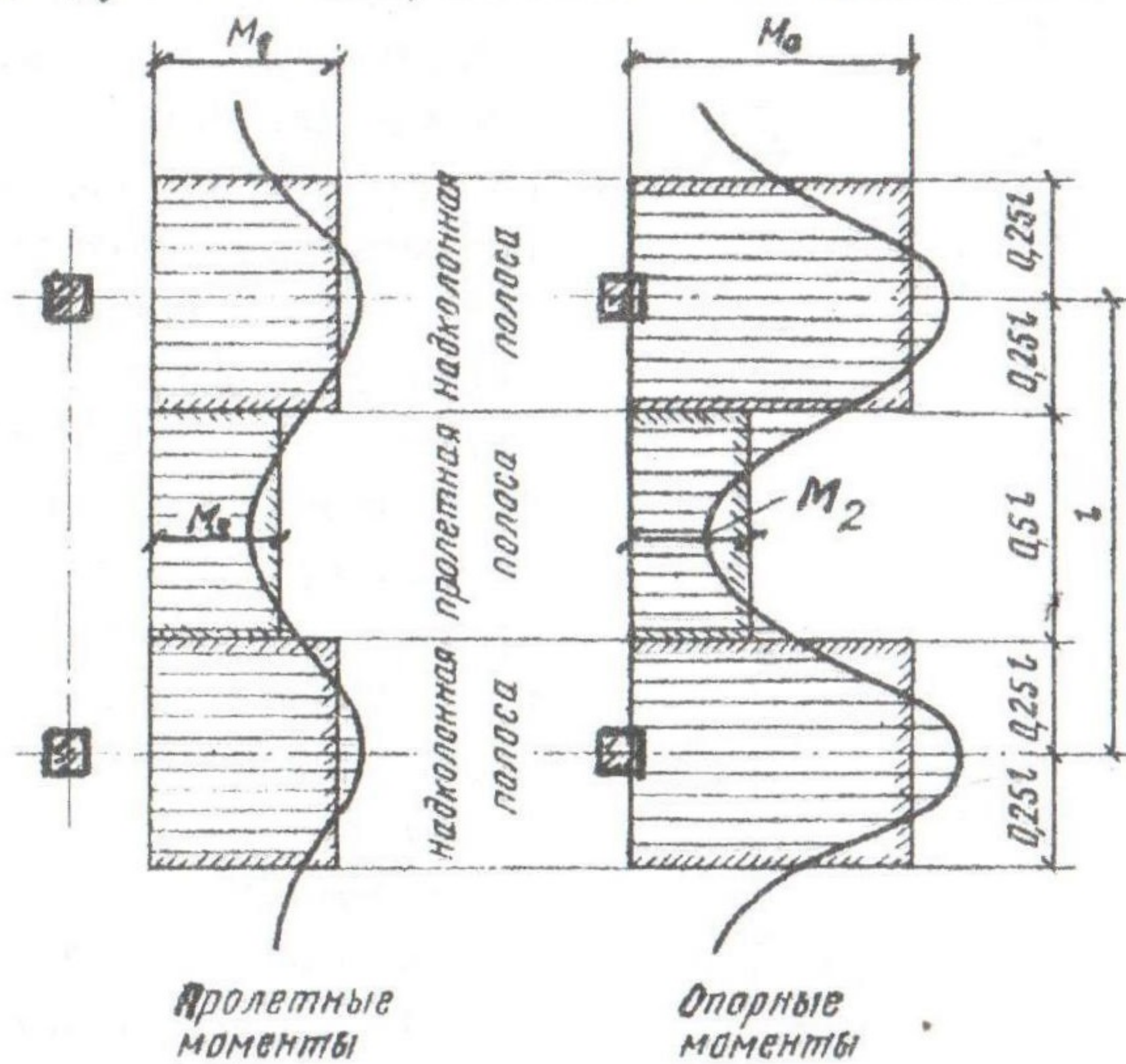


Рис. 2. Фактическая и расчетная эпюры распределения изгибающих моментов по ширине условного ригеля.

В соответствии с результатами точного решения по теории упругости сеток, можно распределить найденные изгибающие моменты, действующие в направлении оси рамы, по ширине условного ригеля, примерно по закону косинуса. Затем, исходя из общего распределения изгибающих моментов по ширине условного ригеля, для надколонной и пролетной полос принимают средние значения моментов, действующих в этих полосах.

Распределение изгибающих моментов производится с помощью рекомендуемых коэффициентов [7] в следующих соотношениях, согласно принятому обозначению на рис. 2.

$$M_0 = 0,75M_x^{on} \text{ и } M_2 = 0,25M_x^{on}$$

$$M_1 = 0,6M_x^{np} \text{ и } M_3 = 0,4M_x^{np}$$

где  $M_x^{on}$  – опорный изгибающий момент на всей ширине условного ригеля;



$M_x^{np}$  – пролетный изгибающий момент на всей ширине условного ригеля.

Для крайних опор заменяющей рамы, при отсутствии поперечных балок, весь изгибающий момент условного ригеля передается на надколонную полосу и значения коэффициента распределения опорных моментов между надколонными и межколонными полосами условного ригеля принимают соответственно равными 1,0 и 0 [7].

Расчет прочности безбалочного бескапительного монолитного перекрытия каркасного здания по методу заменяющих рам производят на действие изгибающих моментов по нормальным сечениям и на действие поперечных сил по наклонным сечениям. Эти расчеты производят отдельно для надколонной и межколонной полос заменяющих рам, расположенных во взаимно перпендикулярных направлениях. Распределение поперечных сил на надколонную и межколонную полосы производят аналогично распределению изгибающих моментов. Обычно трещины в безбалочных бескапительных монолитных перекрытиях появляются в местах сопряжения колонны с плитой и в центральной части пролетов. На рис. 3 показана схема трещин в опытном фрагменте безбалочного бескапительного сборно-монолитного перекрытия при полуторной расчетной нагрузке [3].

Расчет прогибов и раскрытия нормальных трещин производят по общим правилам расчета железобетонных линейных элементов. Расчет по раскрытию наклонных трещин можно не производить, учитывая, что наибольшее их раскрытие (определяемое расчетом) происходит в переделах толщины плиты и не выходит на боковые грани [7].

Кроме расчета прочности плит безбалочных бескапительных перекрытий каркасных зданий методом заменяющих рам, расчет таких плит с квадратными или прямоугольными равными пролетами можно было выполнить по инструкции ЦНИПС (1933 г.). Расчет производится на полную нагрузку в обоих направлениях без учета невыгодного нагружения пролетов полезной нагрузкой. При расчете по этому способу приходится применять целый ряд эмпирических коэффициентов, снижающих расход арматуры.

По инструкции ЦНИПС расчет безбалочного бескапительного перекрытия выполняют по расчетным формулам обычных безбалочных перекрытий, принимая в них  $c = 0$ . Где  $c$  – расчетная ширина капители.

При этом, плиту необходимо проверять на поперечную силу по грани колонны и если необходимо уменьшить величину наклонных растягивающих напряжений, устраивая стальную капитель ограниченных размеров, забетонированную в плиту [9]. Более обоснованным способом расчета безбалочных перекрытий является расчет по методу



предельного равновесия. Этот метод разработан проф. А.А. Гвоздевым и к.т.н. А.С. Щепотьевым, к.т.н. В.С. Булгаковым, которые в 1949 г. предложили проект «Инструкции по расчету и проектированию безбалочных перекрытий» по методу предельного равновесия с применением кинематического способа расчета. Экспериментально установлено, что для безбалочного перекрытия опасными (расчетными) нагрузками являются: полосовая нагрузка через пролет и сплошная по всей площади.

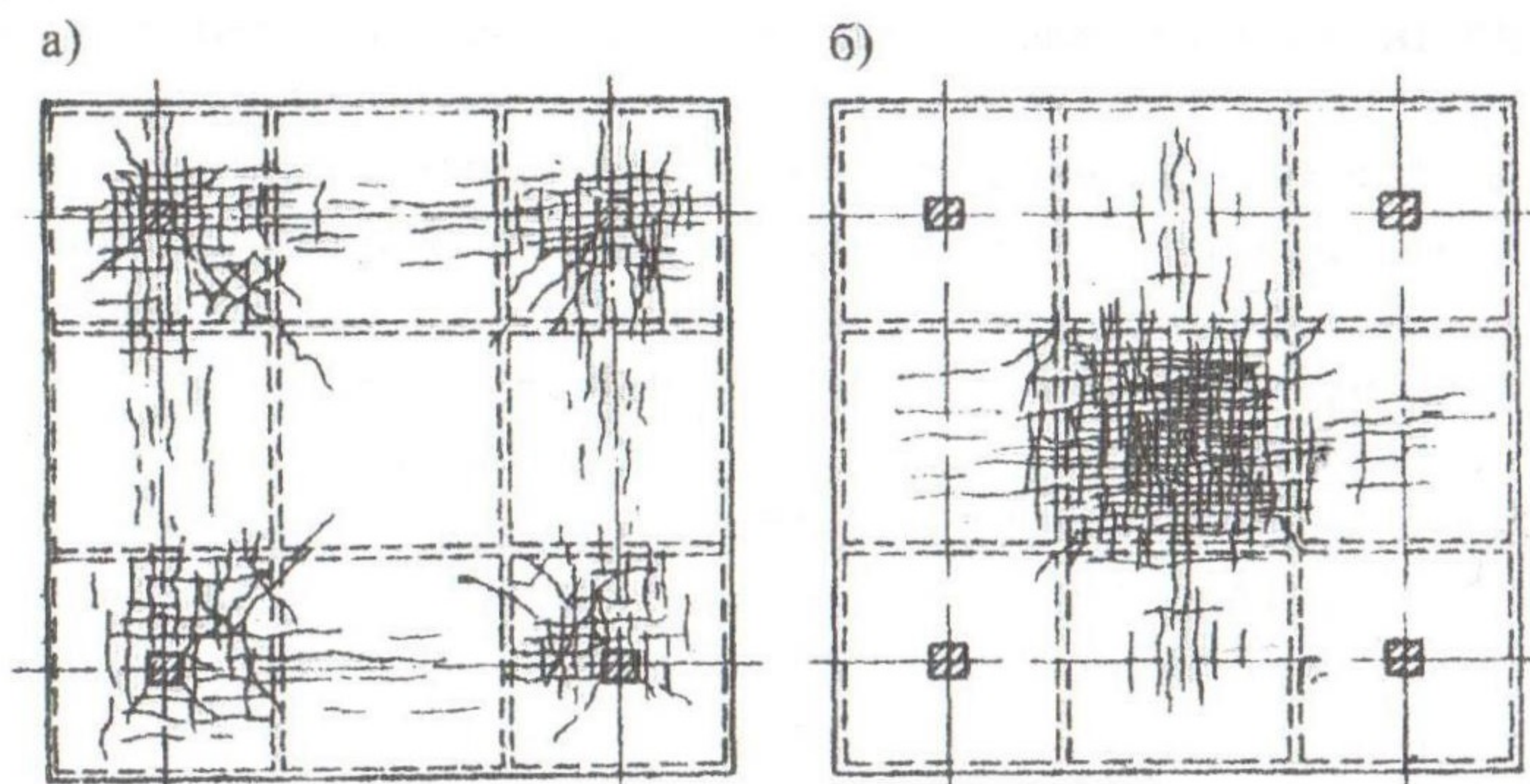


Рис. 3. Схема трещин в плите перекрытия фрагмента

- а) – трещины на верхней поверхности плиты;
- б) – трещины на нижней поверхности плиты.

Для практического применения целесообразно произвести сравнительный анализ методов расчета плоских безбалочных бескапитальных монолитных перекрытий методом заменяющих рам и методом предельного равновесия и установить области их рационального использования.

В настоящее время основным направлением в разработке методов статического расчета каркасно-стеновых многоэтажных зданий с плоскими безбалочными бескапитальными монолитными перекрытиями является пространственный расчет зданий методом конечных элементов. В Украине, в частности, нашла достаточно широкое применение в проектных организациях программа SCAD OFFICE.

При статическом расчете монолитных каркасных зданий большое значение имеет учет физической нелинейности (учет неупругих деформаций и наличие трещин в элементах).

В ОГАСА, на кафедре железобетонных и каменных конструкций, под руководством д.т.н., проф. Дорофеева В.С. была проведена научно-исследовательская работа на тему: «Эффективные каркасные здания с монолитными безбалочными перекрытиями». Объект исследования –



каркасные здания с монолитными безбалочными бескапитальными перекрытиями. Работа посвящена выбору наиболее экономичных, долговечных и менее материалоемких конструктивных решений. С этой целью были проведены численные исследования данной перспективной конструктивной схемы зданий при варьировании шага колонн с использованием плоских конструкций перекрытий.

Как уже отмечалось ранее, наиболее ответственным местом конструкции безбалочного бескапитального монолитного перекрытия является зона опирания плиты на колонну, требующая расчета таких плит в этой зоне на продавливание.

Согласно СНиП 2.03.01-84\* для ограничения толщины плит безбалочных бескапитальных монолитных перекрытий полученных расчетом на продавливание, является установка в зоне продавливания поперечной арматуры. Следовательно, расчет на продавливания не исключает расчета плит по наклонному сечению на действие поперечной силы. Тем самым в плите рассматриваются две возможные формы разрушения.

К поперечной арматуре, учитываемой при расчете на продавливание, предъявляются специальные конструктивные требования. Эта арматура, должна иметь надежную анкеровку по концам путем приварки к продольной арматуре или ее охвата. Расстояние между поперечными

стержнями принимается не более  $\frac{1}{3}h$  и не более 200 мм, где  $h$  – высота

рассматриваемого сечения плиты. Ширина зоны постановки поперечной арматуры должна быть не менее  $1,5h$ . На рис. 4 показан узел сопряжения безбалочного бескапитального монолитного перекрытия с колонной в составе каркасного монолитного многоэтажного жилого здания выполненный согласно требованиям СНиП 2.03.01-84\*.

А. Иванов, канд. техн. наук (НИИЖБ) предлагает, для сохранения расчетной стержневой системы, вместо определения несущей способности безбалочных бескапитальных плит перекрытий на продавливание, рассчитывать их на действие изгибающих моментов и поперечных сил приходящихся на дополнительно выделенную надколонную полосу в плите вдоль оси заменяющей рамы. Границы такой полосы должны располагаться на расстоянии, равном рабочей высоте плиты  $h_0$  в каждую сторону от соответствующих граней колонны. Следовательно, ширина дополнительной полосы равна  $a + 2h_0$ , где  $a$  – ширина сечения колонны. Считать, что на эту полосу действуют изгибающие моменты и поперечные силы составляющие около 30% от величины изгибающих моментов и поперечных сил, приходящихся на надколонную полосу при расчете заменяющей рамы [7].







Вопросы связанные с определением несущей способности безбалочных бескапитальных монолитных плит перекрытий на продавливание изучены недостаточно. В настоящее время нет единого мнения о работе плиты при продавливании и механизме ее разрушения. Экспериментальные исследования по продавливанию плит показали, что характер их разрушения изменяется от хрупкого (мгновенного) до пластического. Обычно хрупкий характер разрушения отмечается у плит с невысоким процентом армирования, а также при высокой прочности бетона плиты. В тоже время пластический характер разрушений происходит в плитах имеющих средний и высокий процент армирования или среднюю прочность бетона. Форма колонны, наличие отверстия и его расположение вблизи узла опирания плиты на колонну, также оказывают влияние на характер разрушения и величину силы продавливания.

В настоящее время существуют два основных представления о механизме продавливания. Одни исследователи считают, что плиты сопротивляются продавливанию за счет прочности бетона на растяжение. Продавливание – пространственная форма скалывания – происходит в виде выкалывания из тела плиты бетонной усеченной пирамиды, боковые стороны которой наклонены под углом  $45^\circ$  к горизонтали, а высота равна рабочей высоте плиты ( $h_0$ ). Этот механизм продавливания принят в СНиП 2.03.01-84\*. Другой подход основывается на предположении, что плита сопротивляется продавливанию за счет работы сжатой зоны вблизи колонны, которая находится в условиях сложного напряженного состояния сжатия. Каждый из двух подходов требуют определения поправочных эмпирических коэффициентов.

Профессор В.А. Клевцов и инж. А.Н. Болгов (НИИЖБ) считают, что механизм разрушения плиты при продавливании имеет переходные формы, поэтому работу плиты на продавливание нельзя определить ни одной из перечисленных механических моделей.

До сих пор не было изучено влияние на несущую способность при продавливании сжимающего усилия со стороны верхней колонны, что в полной мере учитывает фактическую работу перекрытия на продавливание. Такие экспериментальные исследования были проведены в лаборатории железобетонных конструкций и контроля качества НИИЖБ. В результате было установлено, что величина усилия на верхней колонне повышает несущую способность плиты на продавливание, а также оказывает положительное влияние на жесткость плиты [8].

Эксперименты проведенные в НИИЖБ'е дают основания считать, что формулы СНиП 2.03.01-84\* для определения несущей способности



на продавливание плит перекрытия и покрытия из бетона класса В40-В45 завышают фактическую несущую способность при невысоких процентах армирования ( $\mu < 1,0\%$ ) и не учитывают влияния сжатия верхней колонны на величину несущей способности.

В заключении необходимо отметить, что технология возведения каркасных монолитных зданий, принятая опалубочная система, непосредственно определяют сроки и качество их строительства и непосредственно влияют на принятие проектных решений.

Одновременно, технология возведения монолитных зданий создает конструктивные и расчетные проблемы, которые необходимо решать, к ним относятся: 1) разработка метода расчета по образованию технологических трещин для различных монолитных элементов (перекрытий, колонн, стен) и мероприятий по снижению возможности их образования и раскрытия, а также рекомендаций по оценке влияния технологических трещин на последующее сопротивление монолитных конструкций; 2) разработка методов расчета прочности и податливости контактных строительных швов, методов расчета монолитных конструкций с учетом наличия в них строительных швов; 3) разработка правил по установлению допустимой промежуточной прочности бетона при снятии и перестановке опалубки по этажам для различных монолитных конструкций (перекрытий, колонн, стен); 4) контроль прочности бетона в процессе возведения монолитного здания.

### **Выводы**

1. Для практического применения целесообразно произвести сравнительный анализ методов расчета плоских безбалочных бескапительных монолитных перекрытий методом заменяющих рам и методом предельного равновесия и установить области их рационального использования.

2. Совершенствовать пространственный расчет каркасно-стеновых систем здания с плоскими перекрытиями методом конечных элементов с учетом физической нелинейности и с использованием высокопрочных бетонов (классов выше В60) и высокопрочной арматуры.

3. Следует установить четкие критерии по оценке и выбору оптимальных параметров основных несущих элементов конструктивной системы многоэтажных монолитных зданий.

4. Необходимо дальнейшее проведение экспериментальных исследований опорной зоны бескапительной плиты перекрытия для принятия уточненных рекомендаций по их расчету и конструированию.



5. Необходимо создание современных нормативных документов охватывающих весь комплекс расчета, и конструирования до технологии возведения и контроля качества.

### Литература

1. Глуховский А.Д. Железобетонные безбалочные бескапитальные перекрытия для многоэтажных зданий. – М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1956.
2. Дорофеев В.С., Шеховцов И.В., Петраш С.В. К оценке напряженного состояния безбалочного монолитного перекрытия // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Зб. наук. праць. – Рівне, 2003. – вып. 9 – С. 389-393.
3. Дорфман А.Э., Левонтин Л.Н. Проектирование безбалочных бескапитальных перекрытий – М.: Стройиздат, 1975.
4. Залесов А.С., Мухамедиев Т.А. Настоящее и будущее расчета железобетона // Бетон и железобетон – 2005 – № 4 – С. 3-6.
5. Заволока М.В. Монолитное домостроение. – Одесса: Типография ОГАСА, 2002.
6. Иванов А.И. Особенности расчета и конструирования каркасных монолитных многоэтажных зданий // Бетон и железобетон – 2003 – № 3 – С. 14-18.
7. Иванов А.И. Расчет и конструирование систем каркасных монолитных зданий методом заменяющих рам // Бетон и железобетон – 2003 – №4 – С. 12-15.
8. Клевцов В.А., Болгов А.Н. Действительная работа узлов плоской безбалочной бескапитальной плиты перекрытия с колоннами при продавливании // Бетон и железобетон – 2005 – № 3 – С. 17-19.
9. Мурашев В.И., Сигалов Э.Е., Байков В.Н. Железобетонные конструкции. Общий курс. – М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962.
10. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с безбалочными перекрытиями – М.: Стройиздат, 1979.
11. Тетиор А.Н. Расчет на продавливание должен быть отменен. // Труды 1-ой Всероссийской конференции по бетону и железобетону «Бетон на рубеже третьего тысячелетия», проходившей 9-14 сентября 2001 г. В 3-х т. М.: – 2001 – С. 721-732.
12. Штаерман М.Я., Ивянский А.М. Безбалочные перекрытия – М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре 1953.