

относительных деформациях арматуры и бетона свидетельствует о проскальзывании стержня относительно бетона по всей длине его заделки.

Заключение. На основании выполненных выше испытаний можно сделать выводы о том, что предлагаемая экспериментальная методика:

- позволяет еще на стадии выполнения измерений получить представление о реальном напряженно-деформированном состоянии растянутого элемента при различных уровнях прикладываемой нагрузки;
- дает возможность создать реальные условия взаимодействия арматурного стержня с бетоном;
- обеспечивает возможность варьирования параметрами экспериментальных образцов (размеры, форма, коэффициент армирования, число арматурных стержней, прочность бетона и т.д.);

DRAGAN A. Method of experimental study of cracking in RC- tension-elements

In this paper, a method of researching of cracking in RC- tension-elements, as well as detailed description of specimen's characteristics and measuring equipment are proposed. Results of realized tests are presented.

УДК 624.012

Щербач А.В.

К РАСЧЕТУ ПРОГИБОВ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ, РАБОТАЮЩИХ В ДВУХ НАПРАВЛЕНИЯХ, С УЧЕТОМ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН

Введение. Особенностью плитных конструкций является то, что их длина (пролет) значительно превышает толщину, в силу чего наблюдается их значительная деформативность. Большинство нормативных документов [8,11] и известных методик расчета, регламентирующих проектирование данного типа конструкций, учитывают лишь ситуации при действии равномерно распределенной нагрузки. На практике же нередко встречаются и другие варианты нагружения плиты, что в результате существенным образом изменяет схему усилий, действующих в рассматриваемой конструкции.

При проектировании зданий и сооружений применяют железобетонные плиты (покрытия и перекрытия) различного очертания в плане, для которых имеют место разные схемы опирания (от опирания по сторонам до точечного опирания). Отечественные и зарубежные нормы проектирования [8,11] предусматривают расчет плитных конструкций по двум группам предельных состояний. В связи с возрастающими требованиями к уменьшению строительной высоты перекрытий и покрытий особую роль приобретает расчет данных типов конструкций по второй группе предельных состояний, а в частности по прогибам. Известные методики определения перемещений основаны на приближенном расчете при действии равномерно распределенной нагрузки. Использование этих методов для расчета плит на действие нагрузки, отличающейся от равномерно распределенной по площади, не может отражать реальную работу конструкции при фактическом уровне нагружения.

Особые сложности возникают для расчетных ситуаций, когда рассматриваются плиты с отверстиями. Перечисленные факты свидетельствуют о необходимости разработки методики расчета прогибов плитных конструкций, работающих в двух направлениях, в случае действия нагрузки, отличающейся от равномерно распределенной.

1. Существующие подходы к определению деформативности плит, работающих в двух направлениях. В соответствии с традиционными представлениями проектирование железобетонной плитной конструкции начинается с назначения толщины плиты. Основным требованием, определяющим толщину плиты, является обеспечение ее жесткости. В соответствии с [7], толщина плиты принимается в пределах от $\frac{1}{35}l$ до $\frac{1}{40}l$ в зависимости от условий опирания. В настоящее время основным документом, определяющим расчет плитных конструкций, работающих в двух направ-

- позволяет точно зафиксировать местоположение и момент образования трещины;
- дает возможность производить испытания образцов на статические и динамические нагрузки.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Beeby A.W. The influence on the parameter ϕ/ρ_{eff} on crack widths. // Structural Concrete. – 2004. – №5.– p.71-83.
2. Tammo K., Thelandersson S. Crack opening near reinforcement bars in concrete structures. // Structural Concrete. – 2006. – №4.– p.137-143.
3. Guo Z., Zhang X. Investigation of complete stress-deformation curves for concrete in tension. // ACI Materials Journal. – 1987. – v.37, №1. – p.278-285.

Материал поступил в редакцию 11.01.08

лениях, по прогибам, является Руководство [7], разработанное в 1985 г. Нормативный документ [7] предлагает производить расчет по деформациям приближенно, с использованием интерполяционной зависимости, устанавливающей связь между прогибом в момент образования первых трещин и прогибом в момент исчерпания несущей способности конструкции. Наглядно данная зависимость представлена на рис. 1.

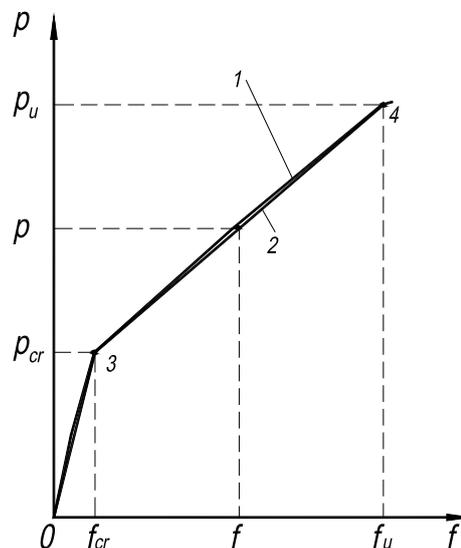


Рис. 1. График прогибов перекрытия [7]
1 – опытная кривая; 2 – теоретическая прямая; 3 – точка, соответствующая образованию первых трещин; 4 – точка, соответствующая началу текучести арматуры по всем линиям излома

В нормативном документе [11] показано, что деформативность плит допускается контролировать с помощью коэффициента жесткости. Согласно [11] вышеупомянутый коэффициент равен отношению эффективной длины пролета плиты к ее рабочей высоте. Данная проверка согласно [11] выполняется по следующей зависимости:

Щербач Александр Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии бетона и строительных материалов Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

$$l_{eff}/d \leq \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot \delta_3 \cdot \left(l_{eff}/d \right)_{lim} \quad (1)$$

где $\left(l_{eff}/d \right)_{lim}$ – предельное допустимое значение l_{eff}/d ,

принимается по табл. 11.2 [1] в зависимости от вида конструкции. Согласно [7] оценка жесткости плиты производится по зависимости:

$$\frac{l}{d} = K \left[11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2 \sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right], \quad (2)$$

если $\rho \leq \rho_0$;

$$\frac{l}{d} = K \left[11 + 1,5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right], \quad (3)$$

если $\rho > \rho_0$,

где $\frac{l}{d}$ – отношение длины пролета к рабочей высоте;

K – условный коэффициент, принимаемый по табл. 7.4 [11] в зависимости от вида конструкции;

ρ_0 – коэффициент армирования, равный $\sqrt{f_{ck}} \cdot 10^{-3}$;

ρ – требуемый коэффициент армирования для растянутой арматуры;

ρ' – требуемый коэффициент армирования для сжатой арматуры.

При выполнении условий (1), (2), (3) определять величину прогиба не требуется. Считается, что жесткость перекрытия является достаточной. Если же данные условия не выполняются, то прогиб плиты определяют в зависимости от наличия или отсутствия трещин.

Существующие методы определения прогибов плит, работающих в двух направлениях, подробно изложены в отечественной литературе [3,6] и Руководстве [7].

Основные зависимости, используемые в рамках этих методов, подробно представлены в работе [1].

Проанализировав методы определения прогибов с помощью формул, представленных в работе [1], легко сделать вывод, что они справедливы только при действии равномерно распределенной нагрузки. Для любой расчетной схемы плиты с учетом условий опирания (шарнирное опирание, жесткая заделка, опирание в точках) составляющая часть полного прогиба a_{cr} есть величина, зависящая от значения равномерно распределенной нагрузки и цилиндрической жесткости плиты. Следует отметить, что до образования трещин плита рассматривается как упругая пластинка. Предельный прогиб a_u для различных плит есть величина, зависящая от кривизны и от нормативных характеристик материалов. Однако в процессе нагружения происходит перераспределение усилий не только в предельной стадии, но и в более ранние периоды, что связано с образованием и раскрытием трещин в растянутой зоне бетона. Кроме того, как было указано выше, существующие зависимости не принимают в расчет возможность действия нагрузки, отличной от равномерно распределенной.

В последние годы при расчетах плоских плит перекрытий интенсивно применяются различные программные комплексы, использующие в своем ядре метод конечного элемента (МКЭ).

Следует отметить, что применение метода конечных элементов для расчета напряженно-деформированного состояния монолитного перекрытия связано с решением проблемы корректного описания конечно-элементных фрагментов расчетной схемы с учетом образующихся трещин.

На основании выполненного анализа доступных источников информации о способах расчета монолитных плитных элементов с использованием МКЭ, можно выделить несколько подходов:

- в работе [14] описан способ описания элементов с трещинами в расчетной схеме путем введения, так называемого конечного элемента «разрыва». Этот способ доступен пользователям программного комплекса «NASTRAN». Конечный элемент «разрыва» представляет из себя линейный элемент, обладающий всеми свойствами, необходимыми для имитации трещины: он является замкнутым и имеет высокую осевую жесткость, благодаря чему в конечном элементе могут возникать значительные сжимающие и сдвигающие усилия.

Перечисленные особенности конечного элемента «разрыва» очень схожи с поведением участка конструкции с трещиной – предполагается, что бетон с трещиной передает сжимающие напряжения аналогично участку бетона без трещин характеризуется пониженным значением сдвигающих напряжений за счет известных эффектов, однако вовсе не способен воспринимать растягивающие напряжения.

Следует отметить, что применение описанного выше подхода для описания элементов с трещинами не может быть применено в расчетных схемах перекрытия значительных размеров, формы, отличающейся от прямоугольной, либо при нерегулярной сетке колонн. Причиной тому является значительная трудоемкость работ по корректировке исходной расчетной схемы.

- известен подход, согласно [13], при котором применяют модель, способную автоматически генерировать трещинообразование без модификации расчетной схемы. Эта модель описывает влияние появления множества мелких трещин, «размазанных» вдоль всего конечного элемента в направлении, перпендикулярном действию главных растягивающих напряжений.

Согласно [13], авторами Scanlon и Murray был разработан метод, согласно которому корректировка жесткости в конечных элементах осуществляется путем модификации диаграммы деформирования для бетона при растяжении. На основании информации, представленной в [13], можно утверждать, что этот метод несколько переоценивал усилия трещинообразования, однако давал результаты, наилучшим образом соотносящиеся с экспериментальными данными.

- подход, реализованный авторами программного комплекса «ABAQUS» [13], предполагает формирование расчетной схемы плитной конструкции с помощью объемных прямоугольных элементов. При этом используются основные положения теории пластичности для бетона, благодаря которой в конечно-элементной модели симулируются образование трещин, ужесточение при растяжении (т.н. англ. "tension-stiffening effect"), прочность на действие сдвигающих усилий и разрушение при сжатии.

Предлагаемый способ учета трещин является довольно простым по сравнению с ранее перечисленными, что позволяет автоматизировать расчет и свести до минимума вмешательство проектировщика в процесс вычисления деформативности перекрытия.

Сущность предлагаемого нами подхода заключается в следующем: реализован метод, позволяющий использовать плоские конечные элементы, применяемые при расчете плоских плит (например, КЭ 11 – конечный элемент прямоугольной плиты в ПК "Лири") для задания элементов с трещинами в расчетной схеме плитной конструкции. Это достигается благодаря модификации жесткостных параметров конечного элемента, в котором образовалась трещина, в частности модуля упругости "E", участвующего в описании плитного элемента.

Такой подход позволяет исключить различные манипуляции при расчетах конструкции, связанные с изменением расчетной схемы – например, введением конечных элементов "разрыва" (программный комплекс «NASTRAN»), обозначающих положение трещины в плите.

2. Цель и назначение методики и расчета "модифицированных жесткостей". Предлагаемая методика предназначена для расчета прогибов монолитных железобетонных перекрытий произвольной формы с рабочей ненапрягаемой арматурой, выполненных по различной конструктивной схеме (безбалочных, ребристых, кессонных и т.д.).

Использование предлагаемой методики расчета не ограничивается расчетом деформативности перекрытий. Примененный подход к построению методики расчета позволяет оценить напряженно-деформированное состояние в каждой точке железобетонного перекрытия.

В отличие от известных методик расчета деформативности железобетонных перекрытий, предлагаемая методика позволяет заполнить расчет при действии произвольной схемы нагружения.

2.1. Предпосылки и допущения метода модифицированных жесткостей

При разработке методики "модифицированных жесткостей" приняты следующие предпосылки и допущения:

- при расчете напряженно-деформированного состояния конечного элемента рассматривается, так называемое, "главное сечение".

Под "главным сечением" понимают некоторое сечение (рис. 2), проходящее через конечный элемент расчетной схемы плиты, в котором действует главный изгибающий момент. Для рассматриваемого "главного сечения" определяют соответствующие характеристики: ширину $b_{\alpha,i}$, слой нижнего армирования $A_{s\alpha,i}$, слой верхнего армирования $A_{s1\alpha,i}$. С использованием "главного сечения" появляется возможность оценить напряженно-деформированное состояние конечного элемента расчетной схемы плиты, основываясь на результатах расчета напряженно-деформированного состояния только одного нормального "главного сечения".

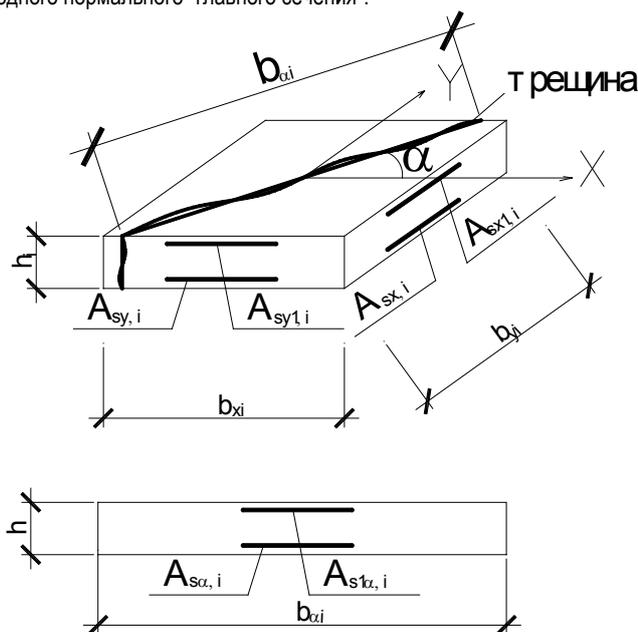


Рис. 2. Положение "главного нормального сечения"

- диаграммы деформирования, связывающие напряжения и деформации для материалов главного сечения, могут быть приняты согласно [8, 11] либо иного нормативного документа в зависимости от установленных требований к процедуре расчета;
- в результате расчета НДС i -го конечного элемента выявляють элементы частично либо полностью пересеченные трещиной.

2.2. Этапы расчета деформативности железобетонной монолитной плиты

Расчет по разработанной методике следует выполнять в соответствии с блок-схемой, представленной на рис. 2.

Разработанный метод расчета предполагает использование пакета прикладных компьютерных программ. Это объясняется необходимостью выполнения нескольких итерационных процедур на различных этапах расчета.

На первом этапе определения деформативности железобетонной плитной конструкции следует произвести её "упругий" расчет с помощью программного комплекса "Ли́ра". При этом, в процессе создания расчетной схемы рассматриваемой конструкции в ПК "Ли́ра" следует использовать соответствующие конечные элементы с заданием их фактических жесткостных характеристик, а именно: толщины плиты h_p и модуля упругости бетона E_c .

В процессе задания нагрузок, действующих на плитную конструкцию, может быть указано их фактическое положение, величина и тип нагрузки (сосредоточенная сила, равномерно распределенная, трапециевидная и т.п.). Этот пункт является одним из основных преимуществ разработанной методики.

Результаты расчета, полученные с помощью ПК "Ли́ра" (усилия в конечных элементах расчетной схемы плиты: m_x, m_y, m_{xy}), являются исходными данными для второго этапа расчета.

Вторым этапом расчета деформативности перекрытия является определение расчетных значений усилий, действующих в элементах плиты: $m_{x,ed}, m_{y,ed}$ либо $m'_{x,ed}, m'_{y,ed}$ – погонных усилий, соответственно растягивающие нижнюю либо верхнюю грань плиты. Расчетные значения усилий определяем согласно блок-схеме [9], представленной на рис. 4.

Третий этап расчета – определение положения "главного нормального сечения" – угол наклона α "главного сечения" к оси "X" (рис. 2).

Угол наклона главного сечения " α " следует вычислять с использованием итерационной процедуры, алгоритм которой приведен на рис. 3.

Вычисление угла наклона "главного сечения" α' на i -ой итерации производится по зависимости, предложенной Н.И. Карпенко в работе [2]:

$$\tan(\alpha') = \frac{m_{sd\alpha,i} - m_{y,ed}}{m_{xy}}, \quad (4)$$

где $m_{sd\alpha,i}$ – значение "главного момента", действующего в "главном сечении";

$m_{y,ed}$ – значение расчетного изгибающего момента, действующего вдоль оси ординат.

Эта зависимость получена в результате переноса теории ядровых моментов трещинообразования стержневых систем, предложенной А.А. Гвоздевым и С.М. Дмитриевым [2] на более сложные железобетонные конструкции плит и оболочек. Подробное описание вывода зависимости (4) приведено в работе [4].

Четвертым этапом расчета деформативности плиты является расчет "главного сечения", расположенного под углом " α " к оси "X". Расчет "главного сечения" производится на действие "главного момента". При этом в расчете используются характеристики "главного сечения": ширину сечения $b_{\alpha,i}$, слой нижнего армирования $A_{s\alpha,i}$, слой верхнего армирования $A_{s1\alpha,i}$, определяемые с использованием зависимостей (5):

$$\begin{aligned} b_{\alpha,i} &= b_{x,i} \cdot \cos^2 \alpha + b_{y,i} \cdot \sin^2 \alpha, \\ A_{s\alpha,i} &= A_{sx,i} \cdot \cos^2 \alpha + A_{sy,i} \cdot \sin^2 \alpha \\ A_{s1\alpha,i} &= A_{s1x,i} \cdot \cos^2 \alpha + A_{s1y,i} \cdot \sin^2 \alpha, \end{aligned} \quad (5)$$

где $b_{x,i}, b_{y,i}$ – размеры i -го элемента вдоль соответствующих осей;

$A_{sx,i}, A_{sy,i}$ – армирование нижнего слоя i -го элемента по направлениям, перпендикулярным соответствующим осям;

$A_{s1x,i}, A_{s1y,i}$ – армирование верхнего слоя i -го элемента по направлениям, перпендикулярным соответствующим осям.

Расчет сечения плиты, расположенного под углом " α ", выполняют согласно положений общего деформационного метода расчета нормального сечения изгибаемого элемента согласно [8].

Следует отметить, что применение общего деформационного метода расчета изгибаемых элементов, расширяет круг решаемых задач с помощью разработанной методики. В частности, использование в процессе расчета "главных сечений" диаграмм деформирования бетона " σ - ϵ " для бетона в раннем возрасте, позволяет определить деформативность перекрытия на стадии возведения в случае действия на него нагрузки от опалубки и бетона возводимого вышерасположенного перекрытия.

Результатом описываемого этапа расчета деформативности плиты становятся фактические жесткостные характеристики элементов расчетной схемы плиты для ПК "Ли́ра", а именно: модифицированный модуль упругости элемента плиты E_{ci} .

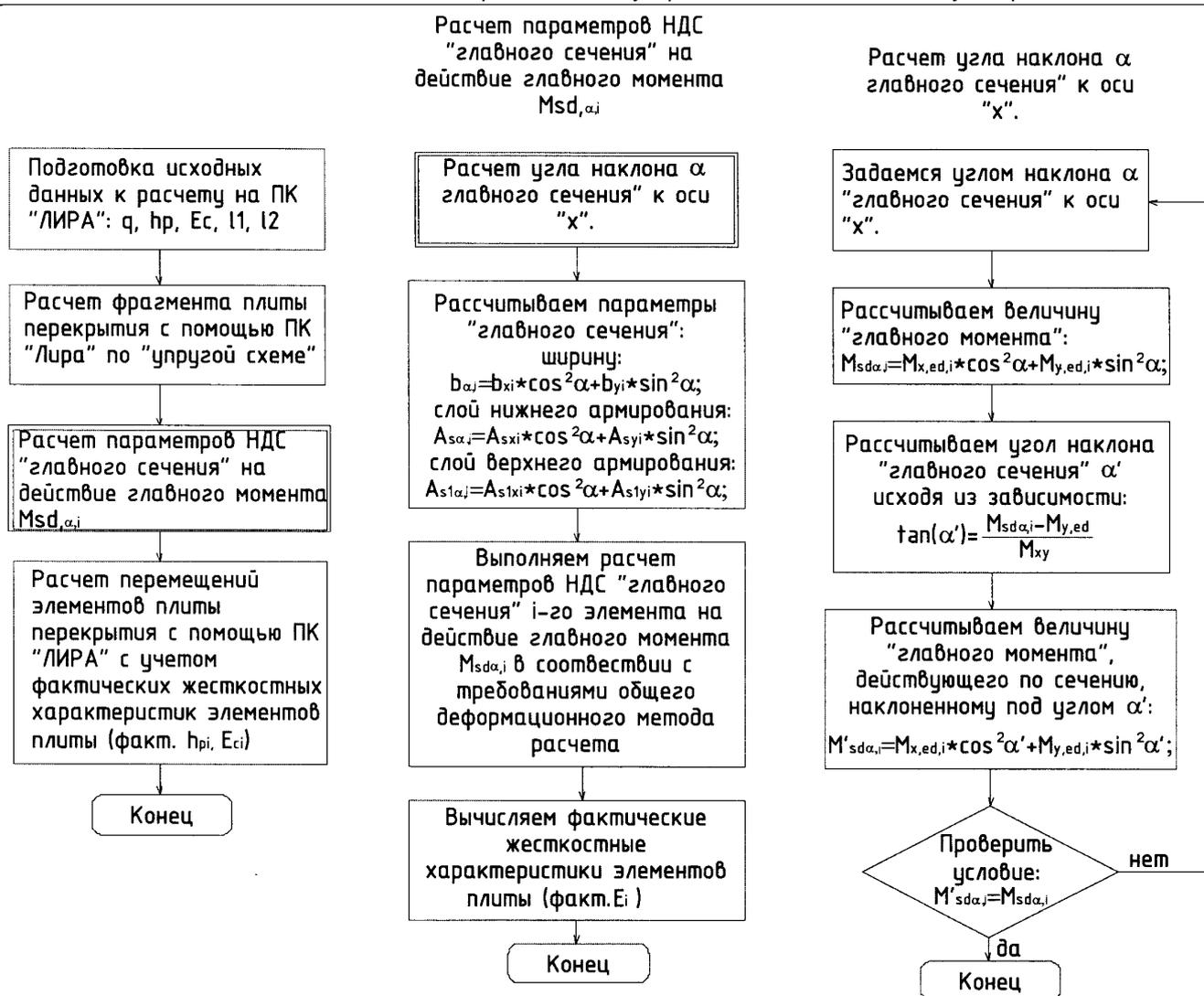


Рис. 3. Блок-схема метода расчета деформативности монолитного перекрытия

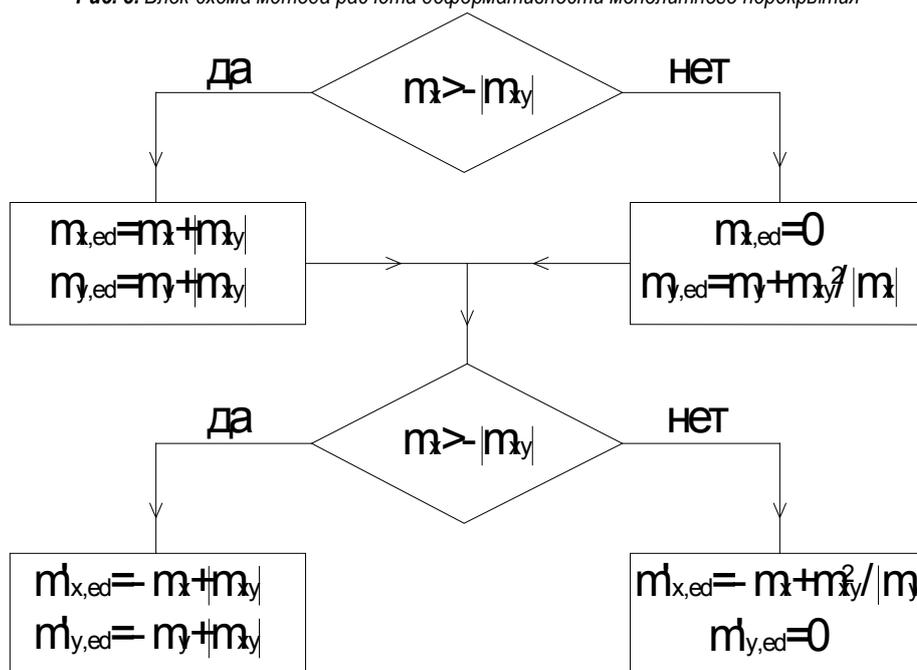


Рис. 4. Блок-схема для определения расчетных усилий, действующих в элементах плиты [12]

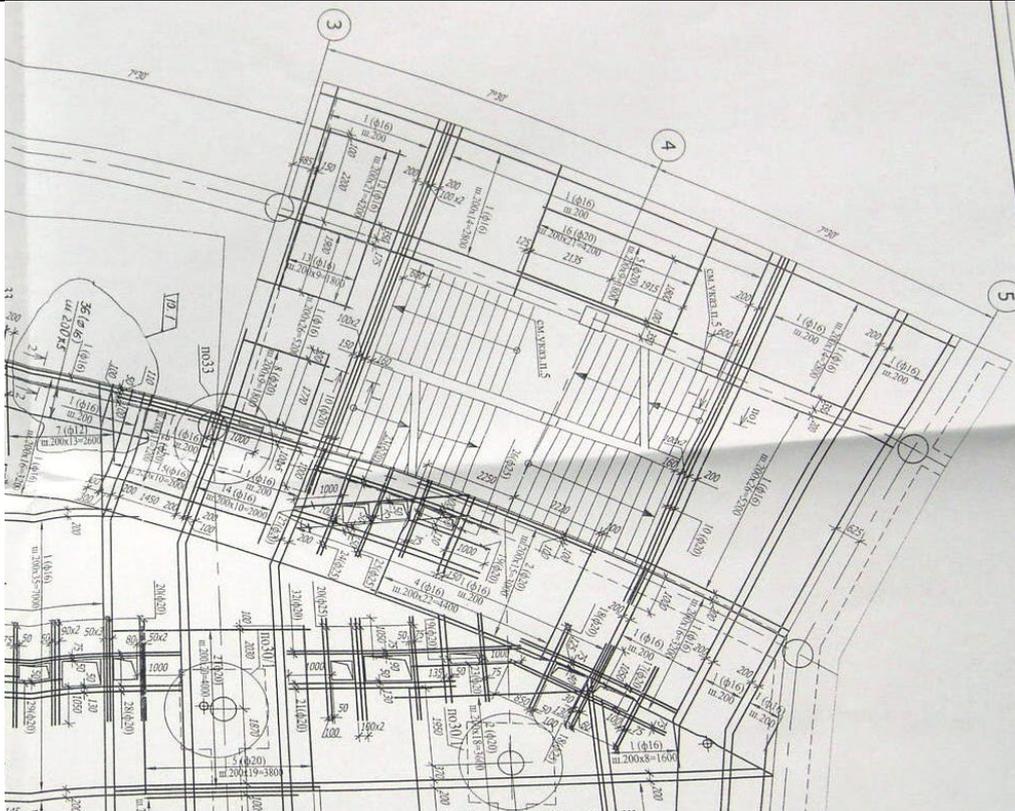


Рис. 5. Схема армирования рассматриваемого участка перекрытия

Последний этап расчета заключается в непосредственном определении перемещений узлов расчетной схемы плиты с помощью ПК "Лири". При этом, расчет деформативности предваряет модификация файла исходных данных ПК "Лири" – в файл подставляем модифицированное значение E_{ci} для каждого i -го элемента расчетной схемы плиты.

После вычисления усилий в элементах плиты с учетом модификации жесткостных характеристик расчет повторяется, начиная от второго этапа.

Итерационная процедура считается завершенной, если разница в прогибах (перемещениях) на смежных итерациях не превосходит некоторого заданного критерия (например, не более 5%).

Пример расчета

С помощью разработанной методики был произведен расчет фрагмента монолитного перекрытия возводимого многопрофильного спортивного комплекса "Минск-Арена". На рис. 5 представлена схема армирования (верхняя арматура) фрагмента перекрытия на отметке 11.700, блок "В" в осях "3-5".

Следует отметить, что расчет деформативности приведенного участка перекрытия с помощью ранее известных методик вызовет значительные затруднения из-за своей формы и наличия проема.

На рис. 6 приведена схема расположения опор в пределах анализируемого участка перекрытия.

Цель выполнения расчета – определить деформативность рассматриваемого консольного участка перекрытия в процессе возведения на момент достижения бетоном 70% прочности от проектного значения.

На рис. 7 представлена расчетная схема анализируемого перекрытия, составленная с применением ПК "Лири".

Толщина перекрытия составляет 250 мм. Нагрузка, действующая на перекрытие, равномерно распределенная по площади и составляет 8.4 кН/м^2 (без учета собственного веса плиты). Отметим, что суммарная нормативная нагрузка, действующая на перекрытие в момент возведения перекрытия вышерасположенного этажа, складывается из нормативной нагрузки от веса опалубки, веса плиты перекрытия и технологической нагрузки, возникающей при бетонировании перекрытия.

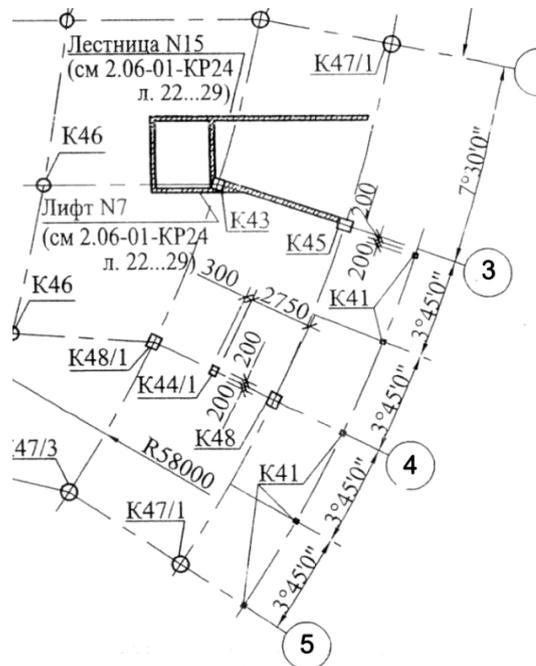


Рис. 6. Схема расположения опор на рассматриваемом участке

Разработанная методика расчета деформативности перекрытия позволяет установить участки образования трещин на перекрытии – на рис. 7 они обозначены затемненными прямоугольниками.

В результате выполненного расчета, с применением аналитического описания диаграмм "σ-" для бетона **проектного** возраста, установлено, что максимальное перемещение претерпел узел № 335 – 4,20 мм, при величине максимального прогиба (исходя из большего пролета плиты) $a_{lim} = \frac{1}{207} \cdot 8,9 = 0,043 \text{ м} = 43 \text{ мм}$. Деформированная схема рассматриваемого участка перекрытия представлена на рис. 8.

При расчете по упругой схеме участка перекрытия в осях наибольшего перемещения было зафиксировано для узла № 335 – 3,82 мм.

Ниже приведена деформированная схема участка перекрытия, полученная в результате "упругого" расчета с помощью ПК "Лира" (рис. 9).

В результате использования в расчетных процедурах описания диафрагмы деформирования для бетона в раннем возрасте согласно [10] был вычислен максимальный прогиб перекрытия - максимальное перемещение узлов расчетной схемы (узел №335) в этом случае составило 4.48 мм.

Заключение. Предложенная комбинированная методика расчета прогибов плоских плит, в отличие от ранее известных, обладает существенными преимуществами – возможностью оценивать не только деформативность но и НДС участков перекрытия произвольной формы при действии произвольной системы нагрузок. Структура разработанной методики расчета позволяет проектировщику использовать зависимости " σ - ε " для бетона и арматуры в зависимости от характера решаемой задачи. В частности, использование диаграммы деформирования для бетона в раннем возрасте позволяет решить проблему расчет прогибов перекрытия от нагрузки, передаваемой опалубочными системами, в процессе возведения здания.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гарах О.Г., Щербач А.В. Деформативность плит, работающих в двух направлениях // Вестник БГТУ. – 2006. - №1: Строительство и архитектура.
2. Гвоздев А.А., Дмитриев С.А. К расчету предварительно напряженных, обычных железобетонных и бетонных сечений по образованию трещин. // Бетон и железобетон, 1975.- №5.

3. Ильин О.Ф., Грановский А.В., Залесов И.А., Карп В.Х., Белогуб С.В. Работа железобетонных плит, опертых по четырем углам.// Бетон и железобетон. – 1992, №8 – с.25-26.
4. Н.И. Карпенко. Теория деформирования железобетона с трещинами – М.: Стройиздат, 1976.
5. Павлова И.П. Прогнозирование собственных деформаций и напряжений напрягающего бетона на основе структурно-механической модели расширяющегося композита: Дис. ... к-та тех. наук: 05.23.05 / Брестский. гос. тех. ун-т. – Брест, 2005. – 159 с.
6. Проектирование железобетонных конструкций. Справоч. пособие/ А.Б. Голышев, В.Я. Бачинский, В.П. Полищук и др.; Под ред. А.Б. Голышева. – К.: Будівельник, 1985. – 496с.
7. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с безбалочными перекрытиями/ НИИЖБ, ЦНИИПромзданий, Урал. Промстройиниипроект. – М.: Стройиздат, 1979. – 62с.
8. СНБ 5.03.01-02 Бетонные и железобетонные конструкции. - Мн.: Типпроект, 2003. - 237с.
9. СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия. - М.: Стройиздат, 1985. -79с.
10. Barbara Klemczak. Zależność σ - ε w młodym betonie w świetle badań doświadczalnych i modeli analitycznych // Inżynieria i Budownictwo, 2007.- №1.
11. EN 1992-2-1. Eurocode 2 "Design of concrete structures. Part 1: General Rules and Rules for Building". – Commission of European Communities. April 2003, p.253.
12. ENV 1992-1-1:1991.
13. R. Michael Biggs, Furman W, Barton. Finite Element Modeling and Analysis of Reinforced-Concrete Bridge Decks. / VTRC 01-R4. 2000.
14. Sreekanta Das, Muhammad N.S. Hadi. Non-linear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Members Using MSC/NASTRAN // Materials of World Users' Conference. - 1996.

Материал поступил в редакцию 14.01.08

SHCHERBACH A.V. To account of deflections of ferro-concrete plates working in two directions in view of education of cracks

Feature of plates of designs is that their length considerably exceeds thickness, that assumes significant deformation last. The majority of the normative documents and known techniques of account regulating designing of the given type of designs, consider only one type of the loading working on a plate - in regular intervals distributed (in regular intervals allocated). In practice quite often there are also other variants loading of a plate, that in result significantly changes the circuit of efforts working in a considered design.

The offered technique is intended for account of a deflection of monolithic ferro-concrete blockings executed on the various constructive circuit and any form.

Use of an offered technique of account is not limited to account of a deflection of blockings. The applied approach to construction of a technique of account allows to estimate is intense - is deformed a condition in each point of ferro-concrete blocking.

As against known techniques of account of a deflection of ferro-concrete blockings the offered technique allows to execute account at action of the any circuit loading.

УДК 624.012.36

Кондратчик А.А.

ВЛИЯНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ, ВЫЗВАННОГО ВНЕШНИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ, НА РАЗВИТИЕ ПРОЦЕССА САМОНАПРЯЖЕНИЯ

Введение. Отличительной особенностью железобетонных конструкций из напрягающего бетона является создание внутреннего напряженного состояния, благодаря деформациям расширения вяжущего. Величина внутренних напряжений, направление их действия зависят от большого количества факторов, которые традиционно делят на технологические (расход вяжущего, характеристики температурно-влажностного режима, условия и продолжительность увлажнения т. д.) и конструктивные (наличие, вид, интенсивность и расположение упругого ограничения и т. д.) [1, 3, 4]. Нет необходимости доказывать, что при расчете реальных конструкций требуется определить числовые параметры напряженного состояния, а, следовательно, учесть влияние различных факторов на развитие процесса самонапряжения. В данной статье остановимся только на конструктивных факторах, а именно на роли упругого ограничения процессу расширения в его пассивной и активной формах проявления.

1. Пассивное противодействие. Примем для анализа следующие положения: энергия материала при расширении расходуется на свободное перемещение (заполнение свободного пространства) и преодоление препятствий (полезная работа); при одинаковых условиях по всем направлениям энергия материала расходуется на работу по ним одинаково; появление препятствия деформациям расширения по одному из направлений приводит к перераспределению объема расходуемой энергии по направлениям.

Прочность бетона. Процесс расширения напрягающего бетона базируется на увеличении объема материала, благодаря росту кристаллов гидросульфата алюмината кальция. Потенциальная энергия процесса зависит от объема участвующих в химической реакции компонентов и условий протекания процесса – температуры и наличия воды. Энергия, получаемая в этом процессе, будет расходу-

Кондратчик Александр Аркадьевич, профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.