

3. Предложена методика оценки анизотропии прочности при сжатии каменной кладки на основании исходных данных о прочностных характеристиках кладочных материалов и прочности сцепления раствора с кладочными изделиями, устанавливаемыми при обследовании каменных конструкций.
 5. Деркач, В. Н. Исследование прочности каменной кладки при действии сжимающего усилия параллельно горизонтальным растворным швам / В. Н. Деркач // Вестник БрГТУ: Строительство и архитектура. – 2011. – № 1(67) – С. 43–47.
 6. Галалюк, А. В. Прочность каменной кладки при сжатии под различными углами к горизонтальным растворным швам / А. В. Галалюк // Строительная наука – 2014: теория, образование, практика, инновации (посвящается 55-летию ИСиА САФУ) : сборник трудов Междунар. научно-техн. конф., г. Архангельск, 22–23 мая 2014 г. под ред. Лабудина Б. В. – Архангельск : Изд-во ООО «Типография «ТОЧКА», 2014. – Р. 68–73.
 7. Демчук, И. Е. Прочность и деформативность при сдвиге каменных кладок из керамических кладочных элементов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / И. Е. Демчук // Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие по строительству "Институт БелНИИС". – Брест, 2018. – 31 с.
 8. Рекомендации по обследованию и оценке технического состояния крупнопанельных и каменных зданий. – М.: ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, 1988. – 57 с.
 9. Орлович, Р. Б. Оценка прочности кладочных растворов при обследовании каменных зданий / Р. Б. Орлович, В. Н. Деркач // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 7(25). – С. 3–10.
- СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**
1. Зимин, С. С. Сводчатые конструкции исторических зданий / С. С. Зимин, О. Д. Кокоткова, В. В. Беспалов // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 2(29). – С. 57–62.
 2. Деркач, В. Н. Несущая способность кирпичных сводов исторических зданий / В. Н. Деркач, А. В. Галалюк, В. В. Беспалов // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения: материалы VIII Международной научно-практической конференции. 13 октября 2017 г. – СПб. : Изд-во политехн. ун-та, 2017. – С. 63–70.
 3. Галалюк, А. В. Учет анизотропии прочности каменной кладки при оценке несущей способности исторических распорных конструкций / А. В. Галалюк, В. Н. Деркач // Актуальные проблемы исследований материалов, конструкций, технологий и организации строительства в трансграничном аспекте: сборник статей II Международной научной конференции. – Брест : Издательство БрГТУ. – 2017. – С. 26–31.
 4. Деркач, В. Н. Анизотропия прочности каменной кладки при сжатии / В. Н. Деркач // Научно-технические ведомости СПбГПУ – Наука и образование. – 2011. – № 3(130). – С. 181–186.

Материал поступил в редакцию 15.04.2019

DERKACH V. N. Evaluation of anisotropy of compressive strength of masonry in the inspection of old buildings

The article presents the results of experimental and numerical studies of the anisotropy of the compressive strength of masonry from ceramic solid brick. A satisfactory agreement between the experimental and theoretical values of the masonry strength in compression at different angles to the horizontal mortar joints is shown. It has been established that the minimum compressive strength of masonry from ceramic brick on a standard lime-cement mortar is observed when the direction of the compressive force is at 25–40 degrees to the horizontal mortar joints. A method for determining the strength of the tangential adhesion of masonry mortar and the angle of internal friction based on tests of cylinder specimens drilled from a body of masonry is presented. The method for evaluation of anisotropy of compressive strength of masonry according to the values of compressive characteristics of masonry materials and adhesion strength of mortar observed at inspection of masonry buildings is proposed.

УДК 624.01

Матчан В. А., Лапина А. И.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ВЕРОЯТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ПЛАСТИЧЕСКИХ ШАРНИРОВ ПРИ РАСЧЕТЕ БЕЗБАЛОЧНЫХ ПЛИТ С НЕРЕГУЛЯРНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ОПОР ПО МЕТОДУ ПРЕДЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ

В последнее время при строительстве жилых и общественных зданий все чаще используют безбалочные монолитные железобетонные перекрытия. Рассчитывают такие конструкции обычно по методу конечных элементов без учета пластической стадии работы, что приводит к значительному перерасходу арматурной стали и увеличению трудоемкости [1]. Выполнение расчета безбалочных монолитных железобетонных перекрытий по методу предельного равновесия позволило бы решить эту проблему. Еще одним преимуществом метода предельного равновесия является простой математический аппарат, что дает возможность проводить расчеты без применения дорогостоящих программных комплексов. Так же метод открывает широкие возможности для сравнения вариантов проектных решений и их оптимизации. Наиболее сложным этапом расчета является построение линейных пластических шарниров в особенности для конструкций с нерегулярным расположением опор.

Теория предельного равновесия рассматривает конструкцию в момент, непосредственно предшествующий разрушению, когда пластические шарниры объединяются в непрерывные линии. Эти линии разделяют плиту на отдельные звенья, которые формируют механизм разрушения, называемый схемой излома. Согласно закону

сохранения энергии, перед разрушением работа, затраченная на перемещение нагрузки, равна работе, затраченной на поворот конструкции в линиях пластических шарниров, то есть:

$$E = D, \quad (1)$$

где E – работа внешних сил, затраченная на перемещение нагрузки; D – работа внутренних сил, затраченная на поворот в линиях пластических шарниров.

Применив принцип суперпозиции, получим:

$$\sum_{i=1}^n N_i \cdot \delta_i = \sum_{i=1}^n m \cdot l_i \cdot \theta_i, \quad (2)$$

где N_i – равнодействующая нагрузки, приложенной к i -му звену, кН; δ_i – перемещение центра тяжести i -го звена, м; m – предельный изгибающий момент сопротивления в линиях пластических шарниров, кН; l_i – проекция длин линии пластического шарниров i -го звена на ось вращения этого звена, м; θ_i – угол поворота i -го звена, рад; n – количество звеньев.

Матчан Виктор Александрович, к. т. н., доцент кафедры архитектуры Брестского государственного технического университета.
Лапина Анна Ивановна, ст. преподаватель кафедры архитектуры Брестского государственного технического университета.
Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Для дальнейшего расчета необходимо построить линейные пластические шарниры в плите. Для этого согласно одним публикациям [2–4] следует ориентироваться на экспериментальные данные, а согласно другим [1] – допускается использовать опыт и интуицию инженера. Также публикация [1] содержит правила, позволяющие оценить корректность схемы излома:

- оси вращения на схемах излома лежат вдоль линий опирания и проходят вблизи любых колонн;
- линии пластических шарниров – прямые;
- линии пластических шарниров, соединяющие смежные звенья, проходят через точку пересечения осей вращения этих звеньев;
- линии пластических шарниров непрерывны и могут заканчиваться только на краю плиты;
- “положительные” (раскрытые снизу) линии пластических шарниров располагаются ближе к шарнирно опертому краю плиты, чем к жестко защемленному краю.

Данные правила дают возможность оценить верность построения линейных пластических шарниров, но, к сожалению, не позволяют однозначно определить наиболее вероятный механизм разрушения.

Решить эту проблему предлагается следующим образом. За исходный возьмем многоугольный участок плиты, вписанный в пределы опор перекрытия, на котором предположительно возникнет максимальный изгибающий момент. Если выбранный участок расположен внутри плиты, рассматриваем его как жестко защемленный по контуру. Если стороны участка совпадают с краями плиты, то при наличии обвязочной балки закрепление сторон считаем шарнирным, а при ее отсутствии стороны рассматриваем как незакрепленные. Желательно, чтобы на расчетном участке действовали максимальные нагрузки, а сам он имел максимальную площадь и минимальную жесткость опирания по периметру. Если выполнение всех этих требований одновременно невозможно следует рассмотреть несколько расчетных участков.

Далее выполняем построение осей вращения звеньев. Отметим, что согласно правилам, приведенным в публикации [1], оси вращения на схемах излома лежат вдоль линий опирания и проходят вблизи любых колонн. Так как расчетный участок ограничен по периметру опорами, то в большинстве случаев оси вращения совпадут с его наружными ребрами. Исключение составляет только створчатая раскрытая одновременно в двух направлениях схема излома, которая может реализовываться в перекрытиях с квадратной ячейкой колонн. Зная координаты опор и условия закрепления сторон расчетного участка, мы можем вычислить необходимые геометрические характеристики для дальнейших расчетов.

Руководствуясь представленными выше правилами, для одного и того же расчетного участка плиты можно построить большое количество схем излома с различным положением линейных пластических шарниров. Но так как наиболее вероятным является возникновение пластических шарниров в области действия максимальных изгибающих моментов, то расчетную схему определим, прибегнув к методам теории оптимизации, выбрав в качестве критерия максимум изгибающего момента.

Целевую функцию с учетом уравнения (2) запишем в виде:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot \delta_i}{\sum_{i=1}^n I_i \cdot \theta_i} \rightarrow \max. \quad (3)$$

Если нагрузка равномерно распределена по перекрытию, равнодействующая нагрузки, приложенной к i -му звену равна:

$$N_i = q \cdot S_i, \quad (4)$$

где q – интенсивность нагрузки, kH/m^2 ;

S_i – площадь i -го звена схемы излома, m^2 .

Таким образом, предельный момент в пластических шарнирах прямо пропорционален интенсивности равномерно распределенной нагрузки. Это свидетельствует о том, что интенсивность нагрузки не влияет на конфигурацию схемы излома. На этом основании для вычисления критерия оптимизации условно примем значение интенсивности нагрузки $q=1\text{kH/m}^2$.

Так как значение малого угла приблизительно равняется значению его тангенса, угол поворота звена вычислим следующим образом:

$$\theta = \delta / d_c, \quad (5)$$

где δ – перемещение центра тяжести звена схемы излома;

d_c – расстояние от оси вращения звена до его центра тяжести.

Используя законы аналитической геометрии, выразим через координаты вершин схемы излома:

- проекции длин линейных пластических шарниров;
- значение площади каждого звена схемы излома;
- расстояния от осей вращения звеньев до их центров тяжести.

Таким образом, при равномерно распределенной нагрузке на перекрытие значение целевой функции будет зависеть только от координат вершин схемы излома.

Так как пластические шарниры представляют собой прямые линии, то координаты вершин схемы излома вычислим как точку пересечения прямых по формулам:

$$x_{oi} = \frac{b_1 - b_2}{k_2 - k_1}; \quad y_{oi} = \frac{k_2 \cdot b_1 - k_1 \cdot b_2}{k_2 - k_1}, \quad (6)$$

где k_1, k_2 – угловые коэффициенты пересекающихся прямых, т. е. линейных пластических шарниров;

b_1, b_2 – смещение прямых от выбранного начала координат.

Угловые коэффициенты линейных пластических шарниров найдем из формулы определения тангенса угла между пересекающимися прямыми:

$$\text{tg}\alpha_{j,i} = \frac{K_j - k_i}{1 + K_j k_i} \Rightarrow k_i = \frac{K_j - \text{tg}\alpha_{j,i}}{1 + K_j \cdot \text{tg}\alpha_{j,i}}, \quad (7)$$

где K_j – угловой коэффициент оси вращения звена;

$\text{tg}\alpha_{j,i}$ – тангенс угла между линейным пластическим шарниром и осью вращения звена.

Смещение линейных пластических шарниров относительно выбранного начала координат определим, зная, что они проходят через точку пересечения осей вращения по формуле:

$$b_i = y_i - k_i \cdot x_i, \quad (8)$$

где x_i, y_i – координаты точки пересечения осей вращения;

k_i – то же, что в (7).

Обозначим соотношение синусов смежных углов, на которые пластический шарнир разбивает угол, образованный осями вращения звеньев (рис. 1), через безразмерные параметры $p_1, p_2 \dots p_n$, так, чтобы:

$$\frac{\sin \alpha_{1,i}}{\sin \alpha_{2,i}} = \frac{p_i}{p_{i+1}}; \quad (9)$$

$$\alpha_i = \alpha_{1,i} + \alpha_{2,i},$$

где α_i – угол между осями вращения звеньев;

$\alpha_{1,i}, \alpha_{2,i}$ – смежные углы, на которые пластический шарнир разбивает угол, образованный осями вращения звеньев.

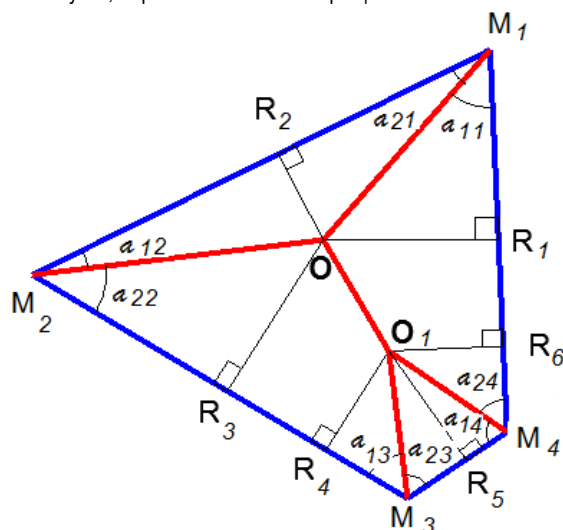
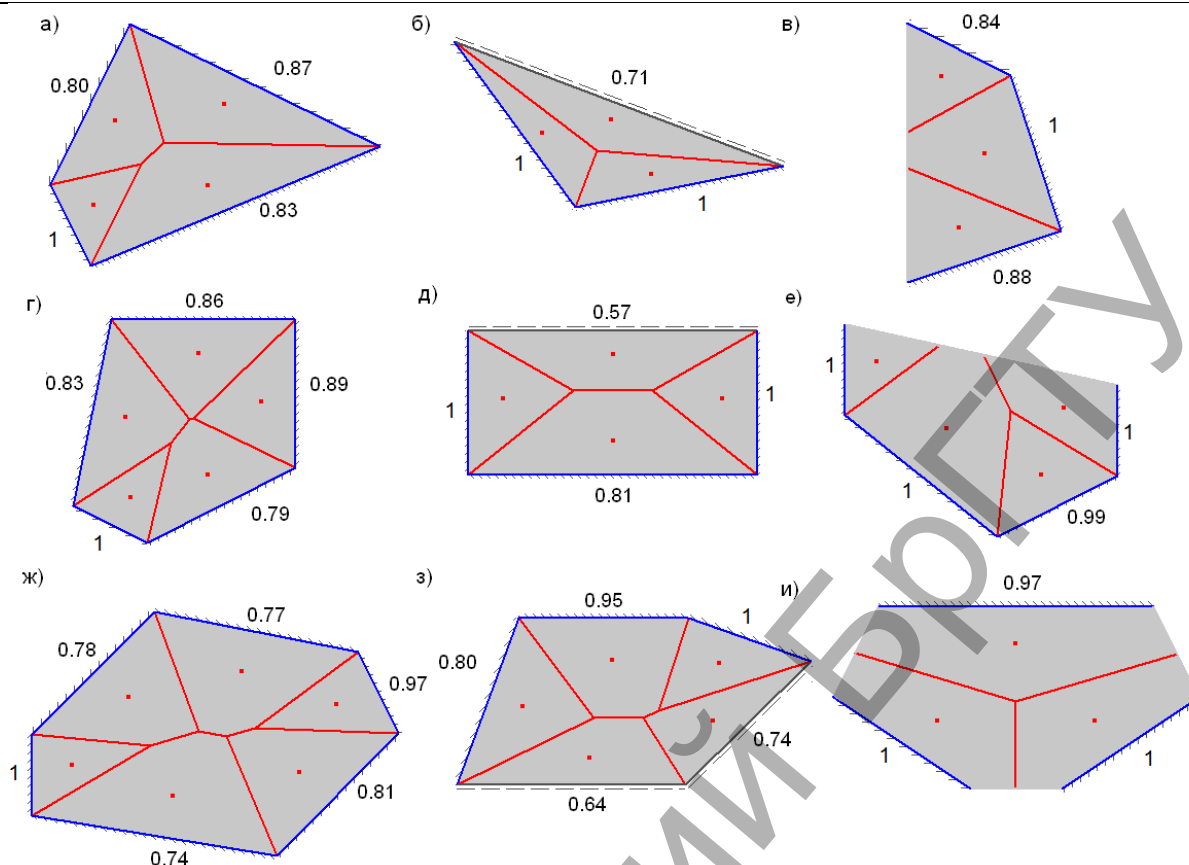


Рисунок 1 – Схема излома расчетного участка произвольной формы



1, 0.80, 0.87, ... – оптимальное значение параметров
Рисунок 2 – Схемы излома плит различной конфигурации

Тогда тангенс угла между линейным пластическим шарниром и осью вращения звена можно вычислить так:

$$\operatorname{tg}\alpha_{1,i} = \frac{p_i \cdot \sin \alpha_i}{p_{i+1} + p_i \cdot \cos \alpha_i}, \quad (10)$$

где $\alpha_i, \alpha_{1,i}, \alpha_{2,i}$ – то же, что в (9).

Таким образом, при известных координатах расчетного участка можно вычислить координаты схемы излома, зная соотношения синусов углов, на которые пластический шарнир разбивает угол, образованный осями вращения звеньев, и определить критерий оптимизации. Для этого необходимо выполнить следующее:

- 1) найти тангенсы углов между осями вращения звеньев схемы излома и линейными пластическими шарнирами $\operatorname{tg}\alpha_{1,i}, \operatorname{tg}\alpha_{2,i}$ по формуле (10);
- 2) найти угловой коэффициент и смещение для каждого линейного пластического шарнира в заданной системе координат k_i, b_i по формулам (7) и (8);
- 3) определить координаты вершин схем излома X_{oi}, Y_{oi} , используя формулы (6);
- 4) найти площади всех звеньев схемы излома S_i , суммы проекций длин пластических шарниров на каждую ось вращения звена L_i , расстояние от оси вращения до центров тяжести для каждого звена d_{ci} и расстояние от каждой оси вращения до вершины звена с максимальным перемещением d_{mi} по общим правилам аналитической геометрии;
- 5) определить тангенс угла поворота каждого звена по формуле (5);
- 6) рассчитываем критерий оптимизации по формуле (3).

Отметим, что варьирование параметров p_1, p_2, \dots, p_n , соотношения которых численно равно соотношению синусов углов, в пределах от 0 до 1 позволит изменять координаты схемы излома по всей области определения, при этом все перечисленные выше правила для оценки корректности схем излома будут выполнены.

Теперь необходимо решить безусловной задачу оптимизации, целевая функция которой зависит только от параметров p_1, p_2, \dots, p_n , с областью определения от 0 до 1. Число параметров n равняется числу осей вращения схемы излома.

Для поиска решения поставленной задачи можно использовать один из следующих методов: симплекс-методы, метод циклического покоординатного подъема, метод поиска по образцу и метод вращения координат. При этом симплекс-методы позволяют работать с любыми видами функции, но требуют дополнительных затрат времени на выполнение процедур отражения, растяжения, сжатия и редукции симплекса. Метод циклического покоординатного подъема позволяет наиболее быстро находить экстремумы целевых функций котлованного вида. Метод поиска по образцу высокоэффективен для функций с прямолинейным оврагом. А метод вращения координат позволяет работать с функциями, имеющими нелинейный овраг. Отметим, что овражность функции в физических задачах обычно свидетельствует о ее плохой обусловленности, т. е. о том, что между аргументами функции имеется неучтенная зависимость.

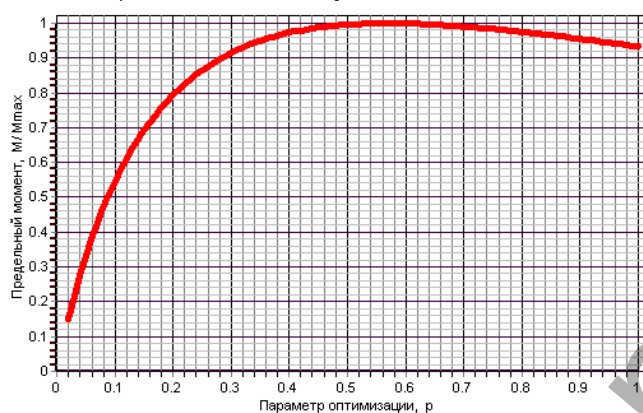
Предположим, что выбранные нами параметры позволяют обеспечить котлованный вид функции оптимизации и примем в качестве метода поиска ее максимума метод циклического покоординатного подъема. Далее проверим наше предположение, проанализировав полученные результаты.

Сущность метода циклического покоординатного подъема заключается в последовательном проведении одномерной оптимизации по каждому i -му направлению n -го количества координатных осей. Алгоритм метода описан в пособии [5]. В качестве точки начального приближения в методе циклического покоординатного подъема рекомендуется использовать наилучшее известное решение. Так как обычно рекомендуется [1–4] строить линейные пластические шарниры по биссектрисам углов расчетного участка (т. е. так, чтобы синусы углов между пластическим шарниром и осями вращения смежных звеньев соотносились 1:1), то в качестве точки начального приближения примем точку, в которой все параметры оптимизации равны единице.

Описанная выше методика была реализована в виде авторской компьютерной программы "IZLOM". Это позволило построить схемы излома для большего количества плит различной конфигурации, некоторые из которых представлены на рисунке 2, а также построить графики зависимости предельного изгибающего момента от параметров оптимизации (рис. 3). Алгоритм поиска оптимального решения был протестирован на функциях с известными значениями точек максимума, таких как эллиптические параболоиды и функция Шекеля. Результат построения схем излома и полученные значения предельных моментов были проверены на примерах, приведённых в работе [1].

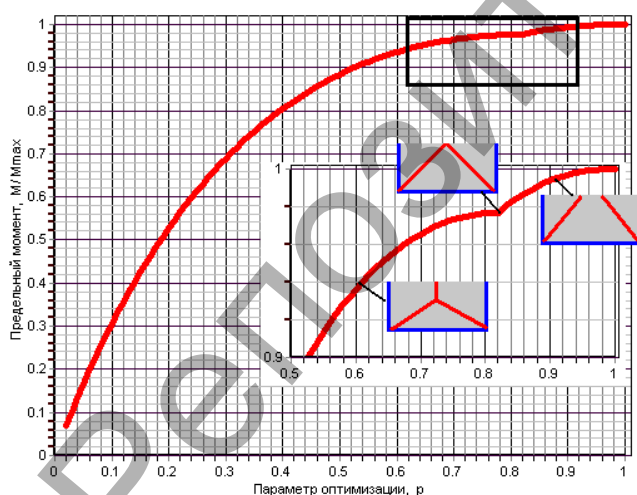
Построение графиков велось в следующем порядке:

- 1) находили максимум целевой функции и соответствующие ему параметры оптимизации;
- 2) одному из найденных параметров последовательно присваивали значения из области допустимых (0;1], не изменяя при этом значения остальных параметров;
- 3) определяли значение критерия оптимизации, при каждом изменении параметра;
- 4) откладывали по оси абсцисс значение изменяемого параметра, а по оси ординат – отношение текущего значения критерия оптимизации к его максимальному значению.



*Оптимальное значение исследуемого параметра 0.57

Рисунок 3 – График зависимости предельного момента от параметра оптимизации для схемы излома представленной на рисунке 1д



*Оптимальное значение исследуемого параметра 1

Рисунок 4 – График зависимости предельного момента от параметра оптимизации для прямоугольной плиты с не опирающейся стороной

Отметим, что для расчетных участков, жестко или шарнирно закрепленных по периметру, все графики, построенные для каждого их параметра оптимизации, имели один экстремум и очертания их были близки к параболическим. Это свидетельствует о том, что гипотеза о котлованном виде целевой функции верна. А значит, верен и выбор метода поиска максимума.

Подавляющее большинство графиков, построенных для расчетных участков, имеющих не опирающиеся стороны, также были моноэкстремальными и близкими к параболическим. Но нельзя оставить без внимания то, что целевая функция при этом может иметь локальные минимумы и максимумы. Примером того может служить прямоугольный расчетный участок со свободно опертой одной из сторон. График зависимости предельного изгибающего момента от параметра оптимизации для этого случая приведен на рисунке 4.

Таким образом, вид целевой функции для расчетных участков, имеющих не опирающиеся стороны, отличается от котлованного. Наличие локальных минимумов и максимумов указывает на возникновение многоэкстремальной задачи оптимизации. Однако во всех рассмотренных случаях глобальный минимум находился ближе к точке начального приближения, чем локальные минимумы. Это позволяет использовать разработанную методику для любых расчетных участков, если точка начального приближения не будет изменена.

Заключение. На основе анализа существующих методов оптимизации была разработана методика определения наиболее вероятного положения линейных пластических шарниров в безбалочных перекрытиях с нерегулярным расположением опор. Данная методика рассматривает задачу поиска положения линейных пластических шарниров в плите как задачу нахождения максимума целевой функции, в качестве которой принят предельный изгибающий момент в линейных пластических шарнирах, определенный при равномерно распределенной единичной нагрузке на перекрытие.

Положение каждого пластического шарнира определяется соотношением синусов углов между ним и осями вращения звеньев, что и варьировалось в процессе решения задачи. Поиск оптимального решения осуществлялся методом циклического покоординатного подъема. В качестве точки начального приближения было взято решение, в котором положение линейных пластических шарниров совпадает с биссектрисами углов расчетного участка.

Описанная методика была реализована в качестве компьютерной программы, что позволило рассмотреть большое количество расчетных участков плит, проанализировать полученные результаты.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Kennedy, G. Practical Yield Line Design / G. Kennedy, C. H. Goodchild – Surrey : The Concrete Center, 2004 – 171 p.
2. Байков, В. Н. Железобетонные конструкции: общий курс: учеб. для вузов / В. Н. Байков, Э. Е. Сигалов – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.
3. Голышев, А. Б. Проектирование железобетонных конструкций : справочное пособие / А. Б. Голышев, В. Я. Бачинский, В. П. Полищук, А. В. Харченко, И. В. Руденко – М.: Высшая школа, 1990. – 544 с.
4. НИИЖБ. Инструкция по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций с учетом перераспределения усилий. – М.: Госстройиздат, 1961. – 111 с.
5. Рекомендации по оптимальному проектированию железобетонных конструкций. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1981. – 170 с.
6. Рейзлин, В. И. Численные методы оптимизации: учебное пособие/ Томский политехнический университет. Издательство томского политехнического университета, 2011 – 105 с.
7. Фильчаков, П. Ф. Справочник по высшей математике. – Киев : Наукова думка, 1974 – 744 с.
8. Давыдюк, А. И. Расчет безбалочных перекрытий с нерегулярным расположением опор по методу предельного равновесия. // Перспективы развития и подготовки инженерных кадров Республики Беларусь : сб. тр. XVIII Междунар. научно-метод. семинара 28–29 ноября 2012 г. // Под общ. ред. Д. Н. Лазоревского, А. И. Колтунова – Новополоцк : ПГУ, 2012 – Т. I – С. 146–150.
9. Давыдюк, А. И. Применение теории оптимизации для построения линейных пластических шарниров // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молод. ученых / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки, Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол. И. С. Созонов (гл. ред.) [и др.] – Могилев. Белорус.-Рос. ун-т, 2013. – С. 128.

Материал поступил в редакцию 25.01.2019

The aim of this publication is to give a chance to practical designers to the use of Yield Line Design of flat slabs on irregular grids of columns. Now, the use of Yield Line Design demands that the designer has big experience to recognize most possible failure pattern. This paper is introducing robust and proven method to recognize possible failure pattern.

УДК 624.01

Лапина А. И., Матчан В. А.

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ БЕЗБАЛОЧНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ, УЧИТЫВАЮЩИЙ ВЕРОЯТНОСТЬ ОТКАЗА КОНСТРУКЦИИ

Введение. Одной из наиболее рациональных конструктивных систем для строительства жилых многоэтажных зданий является каркас с безбалочными бескапитальными перекрытиями, так как он обеспечивает высокую надежность и экономичность конструкции, не ограничивая при этом архитектурно-планировочное решение. Значительное влияние на стоимость безбалочного перекрытия оказывает рациональность выбора его конструктивных параметров. Этот факт, а также темпы строительства жилья в Республике Беларусь делают актуальной задачей создание методики оптимизации безбалочных перекрытий с целью снижения их стоимости. Исследование международного опыта, касающегося вопросов оптимизации, показывает, что оптимальному проектированию железобетонных перекрытий посвящено недостаточное количество работ. Основными недостатками имеющихся работ являются:

- расчет железобетонных плит по методам теории упругости, без учета их пластической работы;
- выбор критерия оптимизации, не позволяющего оценить эффективность капиталовложений в строительство и/или ущерб от вероятностного отказа конструкции;
- оценка ущерба от разрушения без учета затрат, которые целесообразно инвестировать в сохранение человеческой жизни.

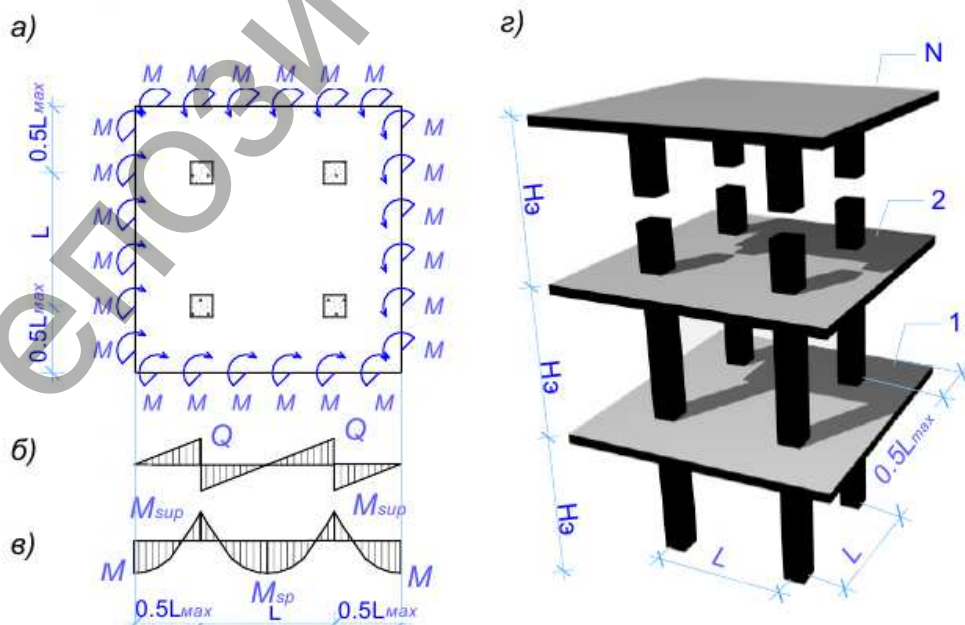
Принимая во внимание вышесказанное, представляется целесообразным разработать методику оптимального проектирования безбалочных перекрытий монолитных каркасных зданий по стоимостному критерию, учитывающую эффективность капиталовложений в строительство, а также ущерб от вероятностного отказа конструкции, включающий затраты, которые целесообразно инвестировать в сохранение человеческой жизни в Республике Беларусь.

Рассмотрим железобетонные безбалочные бескапитальные перекрытия монолитного каркаса многоэтажного жилого здания высотой до 75 м. Каркас здания выполнен из монолитного бетона без предварительного напряжения арматуры. Все его элементы (колонны, перекрытия и диафрагмы жесткости) работают совместно по рамно-связевой схеме. Для возведения перекрытий и диафрагм каркаса использовалась крупно-щитовая опалубка, а для возведения колонн – скользящая металлическая. Армирование всех конструктивных элементов выполнено стрежневой арматурой объединенной в вязаные сетки и каркасы.

Расчет монолитного каркаса с учетом нелинейной работы отдельных элементов является весьма трудоемкой задачей. С целью ее упрощения в качестве модели для оптимального проектирования будем рассматривать характерный элемент каркаса – многоэтажную раму, вырезанную в пределах отдельной ячейки перекрытия по линии нулевых поперечных сил (рис. 1). Отметим, что расчет характерного элемента конструкции позволяет определять основные зависимости, связывающие ее стоимостные величины и проектные параметры.

В соответствии с СТБ ISO 2394 [1] целью проектирования считается минимизация стоимости конструкций на протяжении всего срока службы, включающая затраты на создание, эксплуатацию и ликвидацию последствий вероятностного отказа конструкции. С учетом этого выбираем в качестве целевой функции стоимость плит перекрытия и колонн на протяжении всего срока службы, приведенную к 1 м^2 площади здания, а в качестве критерия оптимальности назначаем минимум этой функции:

$$F() = \frac{C_b + C_m + \Sigma P_f C_f}{S} \rightarrow \min, \quad (1)$$



а) ячейка перекрытия, вырезанная по линиям нулевых значений поперечной силы; б) эпюра поперечных сил; в) эпюра изгибающих моментов; г) общий вид расчетной модели

Рисунок 1 – Модель для решения задачи оптимизации