

2 Драган, В.И. Экспериментальное исследование несущей способности большепролетного металлического покрытия здания универсального спортивного комплекса в г. Бресте / В.И. Драган, А.Б. Шурин // Строительная наука и техника. – Мн., 2005. – № 2. – С. 9–14.

3 Драган, В.И. Влияние податливости узловых соединений комбинированного структурного покрытия комплекса «Виктория» на ее напряженно-деформированное состояние // Вестн. Брест. гос. тех. ун-та. Строительство и архитектура. – 2008. – № 1: – С. 87–91.

4 Трофимов, В.И. Учет влияния податливости болтового соединения на работу структурной конструкции / В.И. Трофимов, Э.В. Третьякова, И.И. Зуева // Строительная механика и расчет сооружений. – 1976. – № 7. – С. 24–26.

УДК 624.01

### МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАРКАСОВ С ПЛОСКИМИ ПЕРЕКРЫТИЯМИ

Матчан В.А., Давыдюк А.И.

**Введение.** Любая инженерная задача имеет множество решений. Оптимальное проектирование позволяет за счет выбора наиболее рационального из них сокращать затраты на создание конструкций без снижения качества и надежности. В современных экономических условиях представляется целесообразным применять оптимальное проектирование для усовершенствования конструкций жилых многоэтажных зданий.

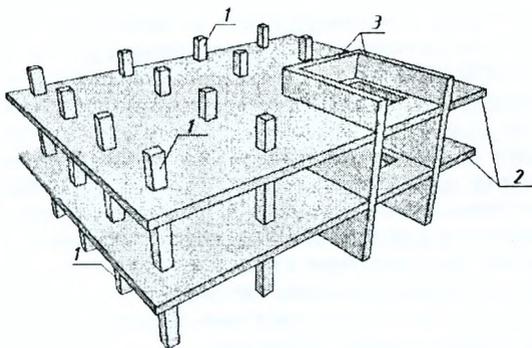


Рисунок 1 – Фрагмент каркаса  
1 – колонны, 2-перекрытия, 3- диафрагмы жесткости

Эта статья посвящена оптимизации монолитного железобетонного каркаса (рис. 1) с колоннами прямоугольного сечения и плоскими перекрытиями, работающего по рамно-связевой схеме. Как показывают ранее проведенные исследования [1], такой каркас является наиболее перспективным для строительства жилых зданий. В сравнение с другими типами каркасных систем он обладает рядом значительных преимуществ: повышенной жесткостью и надежностью, возможностью реализации любых архитектурных и планировочных решений, лучшими экономическими показателями.

Расчет монолитного каркаса, как единой конструкции, – сложная задача, которую в большинстве случаев невозможно решить без использования метода конечных элементов, реализованного в виде программных приложений. Такой подход приемлем для подбора армирования элементов с заданными геометрическими и прочностными характеристиками. Однако оптимизация, основанная на расчете по указанному методу, занимает большое количества машинного времени, а ее применение сильно ограничено требованиями к характеристикам ЭВМ. Поэтому ограничимся рассмотрением отдельной ячейки каркаса, состоящей из четырех колонн и фрагмента перекрытия, расчет которой можно произвести инженерными методами.

**Задача оптимизации конструкций** – задача выбора такого значения переменных параметров, при которых достигается минимум целевой функции, и выполняются необходимые ограничения [2]. В терминах математического программирования она формулируется следующим образом:

Найти минимум функции

$$Y(x_1, \dots, x_N)$$

при выполнении ограничений

$$f_i(x_1, \dots, x_N) \leq 0; \quad i=1, \dots, N$$

где  $f_i$  – функции ограничений;

$N$  – общее число ограничений.

Структура целевой функции зависит от критерия оптимальности, в качестве которого можно использовать: приведенные затраты, сметную стоимость, расход материалов, трудоемкость, продолжительность производства работ, капиталовложения, эксплуатационные расходы. Как правило, железобетонные конструкции рекомендуется оптимизировать по приведенным затратам. Но в данном случае эксплуатационные затраты, входящие в состав приведенных затрат, не оказывают влияния на итог оптимизации. Вследствие этого целесообразно принять за критерий оптимизации сметную стоимость колонн и перекрытий, приведенную на  $1 \text{ м}^2$  площади здания.

**Ограничения целевой функции** – это равенства и неравенства, характеризующие требования, предъявляемые к конструкции [2]. Для рассматриваемой задачи, принимая во внимание [3–5], назначаем следующие группы ограничений:

1. Требования, предъявляемые к размерам элементов;
2. Требования, предъявляемые к материалам;
3. Условия для определения внешних усилий;
4. Ограничения 1-ой группы предельных состояний (включая условия, исключающие прогрессирующее обрушение);
5. Конструктивные требования;
6. Ограничения 2-ой группы предельных состояний.

**Параметры оптимизации** – величины, значение которых меняется в процессе решения задачи [2]. Согласно п. 1.5 [2], оптимизацию железобетонных конструкций рекомендуется выполнять на основе принципа разделения переменных. Основные положения этого принципа состоят в следующем. Все переменные параметры делятся на две группы; параметры одной группы задаются независимо от других и называются внешними, а параметры другой группы определяются в зависимости от внешних и называются внутренними.

Общая задача оптимизации делится на две подзадачи – внутреннюю и внешнюю. Решение внутренней задачи оптимизации строится с использовани-

ем ранее разработанных расчетов железобетонных конструкции. Решение внешней задачи оптимизации строится с помощью теории планирования эксперимента, безусловной минимизации, методов случайного поиска и т.д.

В рассматриваемой задаче внешними параметрами являются: размеры сечения колонны, толщина перекрытия, шаг колонн, прочность бетона, распределенное армирование в плите, коэффициент соотношения моментов в плите над опорой и в центре пролета. К внутренним параметрам относятся: внешние усилия в элементах, площади арматуры в сечениях, проценты армирования элементов, величины раскрытия трещин; прогиб плиты перекрытия.

**Внутренняя задача оптимизации** – задача определения оптимального значения внутренних параметров, при которых выполняются внутренние ограничения, и достигается минимального значения целевая функция, внешние параметры при этом фиксируются [3]. Алгоритм решения внутренней задачи представлен на рис. 2.

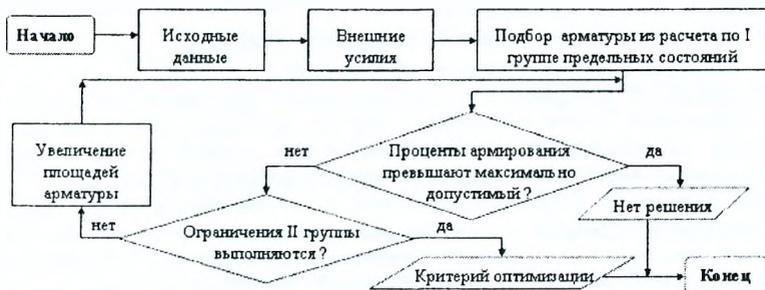


Рисунок 2 – Алгоритм решения внешней задачи

Определение изгибающих моментов в плите следует осуществлять с учетом пластической работы конструкции [4], т.е. методом предельного равновесия или методом конечных элементов. В данном случае будем использовать метод предельных усилий, так как он требует значительно меньше машинного времени при расчете.

Усилия в колонне можно определять на основании метода конечных элементов, моделируя колонны в виде стержневых элементов, а перекрытия – в виде пластин. Такой подход позволяет учесть наибольшее количество факторов, но требует больших затрат машинного времени. Более простой подход к решению задачи предоставляет метод замещающих рам, но в данном случае он не приемлем, так как в связи с отсутствием ригелей и не регулярной сеткой размещения колонн, невозможно разделить здания на рамы.

В результате расчета колонн рамно-связевых зданий, можно прийти к выводу, что влияние изгибающего момента на их армирование незначительно. Данный факт делает возможным применение метода, который обычно используется только на стадии предварительного определения усилий. А именно – сначала определяют момент, вызванный горизонтальными усилиями, во всем здании в целом, рассматривая его, как защемленный стержень; затем распределяют указанный момент на все вертикальные элементы пропорционально их жесткости. Вертикальные усилия можно легко определить при помощи метода грузовых площадей.

Согласно СНБ 5.03.01-02 [3] подбор продольной арматуры в элементах, имеющих прямоугольное сечение, можно осуществлять по упрощенному деформационному методу или методу предельных усилий. При этом зависимость деформаций бетона от напряжений и характер распределения напряжений в сечении элемента ближе к реально существующим, при использовании упрощенного деформационного метода. Примем его для дальнейших вычислений.

Одной из наиболее важных задач при расчете и проектировании каркасов с плоскими перекрытиями является определение сопротивления плиты продавливанию. Для ее решения воспользуемся полуэмпирическим подходом, изложенным в СНБ 5.03.01-02 [3].

Жилые многоэтажные здания следует рассчитывать на прогрессирующее обрушение при возникновении локальных повреждений. При этом перемещения и раскрытие в них трещин не ограничиваются, а проверка прочности производится только для наиболее опасных ситуаций (сценариев). В данном случае, такими ситуациями являются:

- обрушение участка перекрытия на ниже лежащие;
- удаление колонны одного (любого) этажа.

Определение внутренних и внешних усилий при расчете на прогрессирующее обрушение будем выполнять теми же методами, что и при расчете на обычные воздействия, но с введением новых коэффициентов безопасности, учитывающих вероятность возникновения аварийных ситуаций [4].

При расчете по II группе предельных состояний значение расчетных эффектов (раскрытия трещин, прогибов), вызванных внешними воздействиями, не должны превышать допустимых значений установленных с учетом возможности нормальной эксплуатации конструкций. Расчетные воздействия будем определять в соответствии с СНБ 5.03.01-02 [3]. Расчетные усилия, при проверке ограничений II группы предельных состояний найдем, используя линейно-упругую расчетную модель с ограниченным перераспределением усилий.

**Внешняя задача оптимизации** – определение такого значения внешних параметров, при котором из всех возможных решений внутренней задачи оптимизации выбираются решения с минимальным значением целевой функции [2].



Рисунок 3 – Методы оптимизации

Существует множество методов решения внешней задачи оптимизации (рис. 3). При проектировании строительных конструкций обычно используются методы нулевого порядка, не требующие вычисления производных целевой функции.

При разработке алгоритма оптимизации следует учитывать, что методы безусловной минимизации и планирования экспериментов позволяют значительно сокращать число сравниваемых вариантов, но их возможности ограничиваются нахождением локальных минимумов целевой функции. Для поиска глобальных минимумов требуется применение метода перебора вариантов или методов случайного поиска. В данном случае будем использовать метод перебора вариантов, так как он обладает самым простым алгоритмом и дает наиболее точный результат.

#### **Выводы:**

- В качестве критерия оптимизации каркаса с плоскими перекрытиями целесообразно принять сметную стоимость колонн и перекрытий, приведенную на 1 м<sup>2</sup> площади здания.
- Для обеспечения выполнения ограничений (решения внутренней задачи) следует использовать метод предельного равновесия, метод грузовых площадей, упрощенный деформационный метод и другие изложенные методы, не требующие больших объемов вычислений.
- Для поиска наиболее рационального варианта из множества возможных (решение внешней задачи) можно применить метод перебора вариантов.

#### **Список цитированных источников**

1. Матчан В.А., Давыдюк А.И. Преимущества и недостатки различных конструктивных решений в жилищном домостроении.// Вестник БрГТУ. Строительство и архитектура. – 2007 – № 43. – С. 5–11 с.
2. Рекомендации по оптимальному проектированию железобетонных конструкций. – М., НИИЖБ Госстроя СССР, 1981. – 170 с.; М., Стройиздат, 1987. – 40 с.
3. СНБ 5.03.01-02. "Конструкции бетонные и железобетонные". – Мн.: Стройиздат, 2002. – 247 с.
4. И.Н Тихонов. Армирование элементов монолитных железобетонных зданий. Пособие по проектированию – М., ФГУП «НИЦ «Строительство» НИИЖБ им А.А. Гвоздева ЗАО «КТБ НИИЖБ», 2007. – 170 с.
5. Железобетонные конструкции. Основы теории, расчетов и конструирования// Учебное пособие для студентов строительных специальностей, под ред. проф. Т.М. Пецольда и проф. В.В. Тура – Брест, БГТУ, 2003. – 380 с.: илл.

УДК 624.012

## **К ВОПРОСУ ОБ УЧЁТЕ УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИ РАСЧЁТЕ НАПРЯЖЕНИЙ В БЕТОННЫХ МОНОЛИТНЫХ ПЛИТАХ ПОКРЫТИЙ, НАХОДЯЩИХСЯ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ОСНОВАНИЕМ**

**Желткович А.Е.**

**Введение.** В настоящее время нормативным документом, регламентирующим проектирование полов производственных, жилых, общественных, административных и бытовых зданий, является СНиП 2.03.13-88 [1]. При проектировании нормы устанавливают только два основных параметра бетонных слоёв полов – толщину плиты и класс бетона по прочности на сжатие. Методика расчёта напряжений в таких конструкциях, учитывающая процессы температурных воздействий, усадки, расширения, протекающих в бетоне в период твердения (напряжения, вызванные вынужденными деформациями), при взаимодействии проектируемого слоя с основанием в нормах отсутствует.