

РАЗЛИЧИЯ В АРМИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ПО ТЕОРИЯМ ВУДА Х.Р. И КАРПЕНКО Н.И.

Хайрнасов Камиль Зайнутдинович, к.т.н., доцент, Московский государственный строительный университет (Национальный исследовательский университет), Ярославское шоссе, 26, Москва, 129337, Россия, E-mail: kamilh@mail.ru

Аннотация. Современные программные комплексы для автоматизированного расчета и проектирования железобетонных конструкций позволяют с высокой точностью выполнять компьютерные и графические расчеты как интегральную модель сооружения, так и его отдельных узлов и конструкций, а также решать конкретные задачи с учетом специфики конкретных случаев. Система автоматизированного проектирования LIRA позволяет проводить такие расчеты. Представленная в программе методика расчета основана на теории академика Н.И. Карпенко о железобетонных конструкциях и их деформациях. В качестве дополнительной опции для расчета и построения элементов в программе используется метод Вуда. В то же время результаты армирования, рассчитанные в соответствии с этими теориями, существенно различаются, в то время как использование любая из этих теорий допускается нормативными документами, обязательными на территории России, и окончательный выбор теории зависит только от опыта инженера. Целью данной работы является выявление особенностей расчета распределения арматуры в соответствии с теориями Вуда и Карпенко. Получены результаты исследования железобетонных плит перекрытия, нагруженных постоянной равномерно распределенной нагрузкой с шарнирными опорами на коротких сторонах. Исследование показало, что армирование в соответствии с теориями Карпенко и Вуда отличается в основном на 10%, а в местах концентрации напряжений на 70%. Проведен анализ полученных результатов.

Ключевые слова: железобетон, армирование, теория, Вуд Х.Р., Карпенко Н.И., расчеты, анализ.

**DIFFERENCES IN THE LOCATION OF THE REINFORCEMENT IN
REINFORCED CONCRETE STRUCTURES, DETERMINED BY THE THEORY OF
WOOD X.P. AND KARPENKO N.I**

Khairnasov Kamil Zainutdinovich, Ph.D., Associate Professor, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow, 129337, Russia, E-mail: kamilh@mail.ru

Annotation. Modern software systems for automated calculation and design of reinforced concrete structures allow high-precision computer and graphic calculations of both an integral model of a structure and its individual units and structures, as well as solving specific problems taking into account the specifics of specific cases. The LIRA computer-aided design system allows such calculations. The calculation method presented in the program is based on the theory of academician N.I. Karpenko on reinforced concrete structures and their deformations. The program uses Wood's method as an additional option for calculating and constructing elements. At the same time, the results of reinforcement calculated in accordance with these theories differ significantly, while the use of any of these theories is allowed by regulatory documents mandatory on the territory of Russia, and the final choice of the theory depends only on the experience of the engineer. The purpose of this work is to identify the features of calculating the distribution of reinforcement in accordance with the theories of Wood and Karpenko. The results of the study of reinforced concrete floor slabs loaded with a constant uniformly distributed load with hinged supports on short sides are obtained. The study showed that the reinforcement in accordance with the theories of Karpenko and Wood differs mainly by 10%, and in places of stress concentration by 70%. The analysis of the obtained results is carried out.

Key words: reinforced concrete, reinforcement, theory, Wood H.R., Karpenko N. I., calculations, analysis.

Введение

Современные программные комплексы для автоматизированного расчета и проектирования железобетонных конструкций позволяют с высокой точностью выполнять компьютерные и графические расчеты как интегральную модель конструкции, ее отдельных узлов и конструкций, а также решать конкретные задачи с учетом специфика конкретных случаев. Система автоматизированного проектирования LIRA позволяет проводить такие расчеты. Методология расчетов, представленная в программе, основана на теориях Карпенко [1] и Вуда о железобетонных конструкциях и их деформациях.

Рисунок 1 показывает разницу между подходами теорий Карпенко и Вуда при учете пластической деформации арматуры в пластинах при возникновении трещин. Как видно из рисунка 1, теория Вуда предполагает, что в трещинах плит перекрытия, когда достигается пластическая деформация, армирование становится перпендикулярным плоскости трещины. В теории Карпенко угол наклона арматуры рассчитывается по формуле (1). Справедливости ради следует отметить, что теория поведения арматурных стержней в местах пластического изгиба в трещинах плит перекрытия рассматривалась также в работах [3, 4] и др.

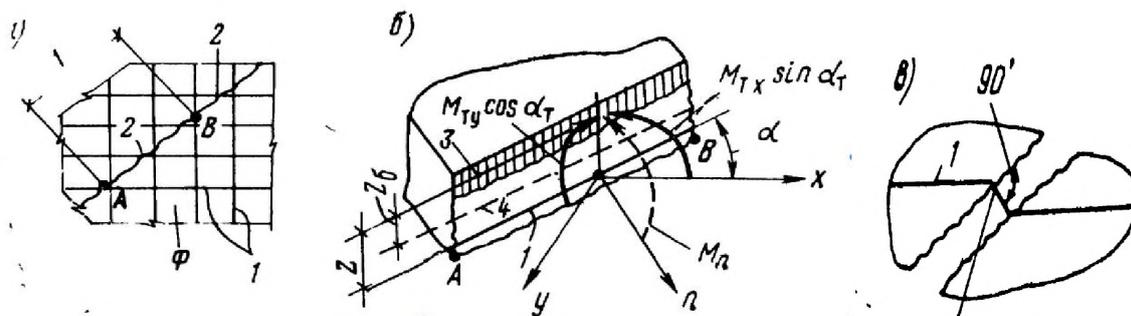


Рисунок 1. Различие в характере пластической деформации арматуры плит перекрытия в трещинах согласно теории Карпенко (а, б) и теории Вуда (в). 1 - арматура, 2 - линия текучести арматуры, 3 - зона сжатия, 4 - средняя линия плиты

В качестве дополнительной опции для расчета и построения элементов в программе был использован метод Вуда, который основан на структурном анализе железобетонных конструкций [2]. Основное различие между методами заключается в следующем.

Условие прочности для железобетонных плит, армированных прямоугольной сеткой вдоль нижней, растянутой зоны плиты в соответствии с теорией Карпенко, имеет вид [1, 3, 4]:

$$M_n = M_{mx} \sin^2 \alpha_m + M_{my} \cos^2 \alpha_m \quad (1)$$

где M_n - изгибающий момент вдоль линии разрушения (трещины), M_{mx} , M_{my} - предельные моменты предела текучести в арматуре, α_m - угол между арматурой, расположенной вдоль оси x (рисунок 1) и областью текучести, проходящей вдоль линии разрушения.

Формула для определения ориентации площадки текучести приведена в [1, 3, 4]

$$tg \alpha_T = \sqrt{(M_{Ty} - M_y) / (M_{Tx} - M_x)}$$

В теории Вуда [2] применяется идея «полного изгиба», в соответствии с которым арматура при течении в трещинах изгибается так, что она становится нормальной к трещине (рисунок 1). В этом случае в формуле (1) значения $\sin^2 \alpha_m$ and $\cos^2 \alpha_m$ заменяются на $\sin \alpha_m$ и $\cos \alpha_m$. Это приводит к увеличению поперечного сечения арматуры.

Вывод уравнений Вуда следует из того факта, что, когда изогнутые моменты являются векторами, они объединяются с использованием сложения векторов способом, подобным концепции круга напряжений Мура [5].

Результирующие моменты могут быть разрешены под любым углом ориентации. Если в результате моменты на плоскости превышают допустимую прочность пластины в этой плоскости, то пластина может поддаться этой плоскости. Эта теория называется концепцией эквивалентных моментов. Подробное изложение основ этого подхода можно найти в работе [6]. В теории Карпенко выбор продольной арматуры осуществляется с минимальным суммарным расходом арматуры в направлениях X и Y (плоскость плиты) при соблюдении условий прочности и требований норм по ограничению ширины раскрытия трещины. Ширина раскрытия трещины определяется в соответствии с [7].

Методы

Задача проектирования заключается в определении необходимого количества

арматуры для обеспечения несущей способности конструкции. Задача решается в отношении пространственного каркаса здания с фундаментной плитой на упругом основании в программном комплексе LIRA. Железобетонная плита размером 1,5 на 6 м, толщиной 200 мм имеет следующие характеристики: класс бетона - В25, класс армирования А500, толщина защитного слоя 30 мм, шаг арматурного стержня при выборе 200 мм. В качестве граничных условий принимается следующее (рисунок 2 и 3): короткие стороны пластины шарнирно оперты по всей ее длине, длинные стороны пластины свободны. Расчет сделан для сетки конечных элементов 0,5 на 0,5 м. Программа LIRA предоставляет два варианта решения проблемы. Первый вариант основан на теории академика Карпенко и отечественных строительных норм. В теории Карпенко выбор продольной арматуры осуществляется с минимальным суммарным расходом арматуры в направлениях X и Y (плоскость плиты) при соблюдении условий прочности и требований ограничения ширины раскрытия трещин. Ширина раскрытия трещины определяется в соответствии с [7]. Второй вариант использует теорию Вуда.

Важнейшим элементом в конструкции железобетонных элементов является подбор арматуры. Подбор арматуры в пластинчатых элементах осуществляется с учетом действия арматуры в ортогональных направлениях. В связи с этим в ходе эксплуатации была выявлена зависимость выбора арматуры от порядка подачи рассчитанных комбинаций сил, расчетных комбинаций нагрузок или сил. Чтобы минимизировать выбранное усиление в двух направлениях, комбинации упорядочены в порядке возрастания напряжений.

Последовательность решения проблемы:

1. Создание модели плиты
2. Задание граничных условий
3. Определение и задание параметров загрузки
4. Задание параметров жесткости и материалов для плиты
5. Генерация таблиц рассчитанной комбинации усилий
6. Полный расчет плиты
8. Просмотр и анализ напряженно-деформированного состояния плиты
9. Просмотр и анализ результатов армирования.

Анализ полученных результатов

Результаты расчетов показали, что напряженно-деформированное состояние для рассматриваемых теорий не различалось, а результаты армирования имели различия. Данные о приложенных нагрузках и результатах армирования нижней грани плиты в направлении оси Y (вдоль длинной стороны плиты) приведены в таблицах 1 и 2 и на рисунках 2 и 3.

Таблица 1. Нагрузки

№ п/п	Наименование нагрузки	Нормативное значение, т/м ²	Коэффициент перегрузки, g _f	Расчетное значение, т/м ²
1	Постоянная нагрузка (собственный вес)	0,5	1,1	0,55
2	Временная (полезная) нагрузка	0,8	1,2	0,96

Таблица 2. Результаты подбора армирования нижней грани в направлении оси Y (вдоль длинной стороны плиты)

№ п/п	Параметр	Теория Карпенко Н.И.	Теория Вуда Р.Х.	Δ, %
1	Максимальная площадь арматуры в пролете, I-е предельное состояние	9,22 см ² /м	11,1 см ² /м	19

2	Максимальная площадь арматуры в приопорной зоне, I-е предельное состояние			
2.1	Правый верхний угол (рис. 1 и 2)	1 см ² /м	1 см ² /м	0
2.2	Правый нижний угол	1,62 см ² /м	2,8 см ² /м	73
2.3	Левый нижний угол	2,21 см ² /м	3,8 см ² /м	72
2.4	Левый верхний угол	1,48 см ² /м	2,52 см ² /м	70

При выборе армирования в соответствии с теорией Вуда площадь армирования в пролете превышает аналогичные данные, полученные в теории Карпенко, в среднем на 10%. В зонах граничных условий из-за возникающих касательных напряжений выбор арматуры согласно теории Вуда превышает показатели теории Карпенко в среднем на 70%.

Использование любой из этих теорий допускается документами, имеющими обязательную силу на территории Российской Федерации [8 - 10], и окончательный выбор теории зависит только от опыта инженера.

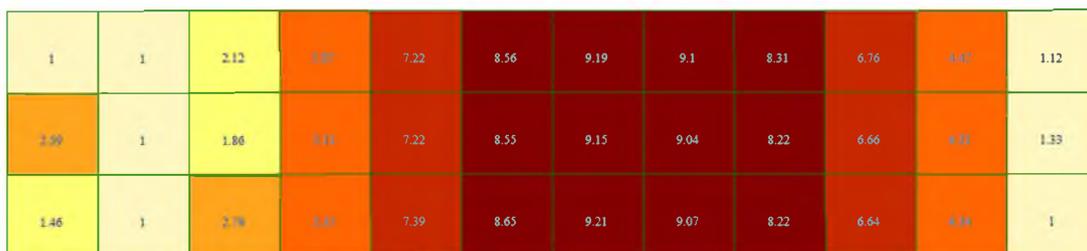
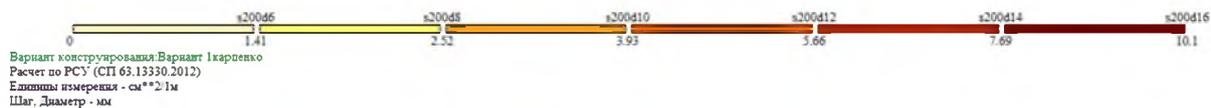


Рисунок 2. Подбор арматуры по теории Карпенко Н.И..

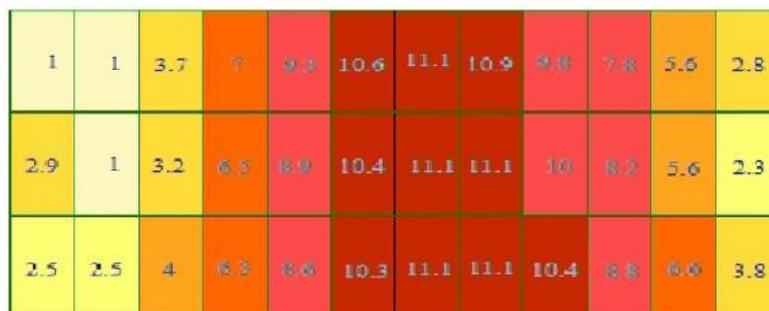
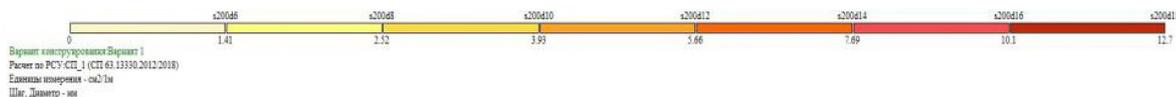


Рисунок 3. Подбор арматуры в соответствии с теорией Вуда

Заключение

При выборе армирования в соответствии с теорией Вуда площадь армирования в

пролете превышает аналогичные данные, полученные в теории Карпенко, в среднем на 10%. В приграничных зонах из-за возникающих касательных напряжений подбор арматуры согласно теории Вуда превышает показатели вычисленные по теории Карпенко в среднем на 70%.

Как видно из исследования, применение рассмотренных теорий с практически идентичными показателями напряженно-деформированного состояния имеет большие различия в параметрах используемого армирования, поэтому исследования в этом направлении требуют дальнейшего рассмотрения для устранения противоречий.

Использование любой из этих теорий допускается документами, имеющими обязательную силу на территории Российской Федерации [8 - 22], и окончательный выбор теории зависит только от опыта инженера.

Литература

1. Карпенко Н.И., 1976 Теория деформации железобетона с трещинами (М.: Стройиздат), стр. 205
2. Wood R H 1961 *Plastic and elastic design of slabs and plates* (London Thames) p 344
3. Гвоздев А.А. 1949 Расчет несущей способности конструкций методом предельного равновесия (М.: Стройиздат)
4. Гвоздев А.А. 1966 О предельных условиях (условиях текучести) для ортотропных сред и для гибких бетонных плит (Сб.: Строительная механика. М.: Стройиздат)
5. Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. 2009 г. Пластины и оболочки. Теория пластин и оболочек (М.: УРСС), 635 с.
6. Wood RH 1968 *The reinforcement of slabs in accordance with a pre-determined field of moments* (Concrete, February)
7. СНиП 2.03.01-84 * «Бетонные и железобетонные конструкции»
8. Стрелец-Стрелецкий Е., Водопьянов Р. 2009 Прикладной программный комплекс для автоматизированного расчета и проектирования железобетонных конструкций (САПР и графика 3)
9. Городецкий Д.А., Барабаш М.С., Водопьянов Р.Ю., Титок В.П., Артамонова А.Е. 2013 Учебное пособие ЛИРА-САПР 2013 (К-М: Электронное издание), 376 с.
10. Бидный Г.Р. 1979 Расчет железобетонных конструкций методом конечных элементов
11. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. 2004 Расчет моделей прочностного сопротивления железобетона (М.: Издательство АСВ)
12. Тамразян А.Г. 2017 г. Железобетонные и каменные конструкции Учебник спецкурса (М.: МГСУ), 732 с.
13. Khayrnasov K.Z 2019 Modeling and analysis of three-layer floor slabs made of composite Materials. J. Phys.: Conf. Ser. 1425 012168
14. Залесов А.С. 2007 Краткие заметки по расчету железобетонных конструкций монолитных зданий (М.: ОАО ИММ), 63 с.
15. Баранова Т.И. 2003 Инженерные методы расчета железобетонных конструкций
16. Баранова Т.И., Залесов А.С. 2003 Инженерные методы расчета железобетонных конструкций
17. Беглов А.Д. 2004 Теория расчета железобетонных конструкций на прочность и устойчивость Современные нормы и европейские стандарты
18. Бердичевский Г.И., 1981 Типовые железобетонные конструкции зданий и сооружений для промышленного строительства
19. Бондаренко В.М., 2006 г. Примеры расчета железобетонных и каменных конструкций
20. Бондаренко В.М., Суворкин Д.Г. 1987 Железобетонные и каменные конструкции
21. Боровский А.В. 2004 Расчет жестко-проводных изделий по предельным состояниям
22. Бородачев Н.А. 2002 Автоматизированное проектирование бетонных и каменных конструкций.