

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ МЕХАНИКА

УДК 624

Агаханов Э.К., Костенко Д.С., Кравченко Г.М., Труфанова Е.В.

РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ НА ПРОДАВЛИВАНИЕ

Agakhanov E.K., Kostenko D.S., Kravchenko G.M., Trufanova E.V.

PUNCHING CALCULATION OF REINFORCED CONCRETE FLOOR SLABS

Аннотация. В статье рассмотрен метод моделирования монолитных железобетонных каркасов зданий по пространственной плитно-стержневой схеме и отражены результаты исследования вопроса о продавливании плит перекрытия. При создании конечно-элементной схемы каркаса здания плиты перекрытий моделировались четырехугольными оболочечными конечными элементами с 24 степенями свободы, колонны и балки – пространственными стержнями с 12 степенями свободы. Выполнен расчет каркаса здания методом конечных элементов с использованием программного комплекса «SCAD», получены усилия в элементах каркаса и определены зоны концентрации напряжений в местах сопряжения плит перекрытия и колонн. Разработана программа «Расчет плиты перекрытия на продавливание» на языке высокого уровня Object Pascal в среде Delphi в соответствии с нормами проектирования, которая позволяет исследовать различные варианты расположения колонн и диафрагм жесткости на плите перекрытия. По программе «Расчет плиты перекрытия на продавливание» вычислен коэффициент использования несущей способности плиты. Результаты хорошо коррелируются с расчетом по модулю «Арбат» программного комплекса «SCAD». Отличие разработанной программы состоит в возможности учета вариантов расположения колонн и диафрагм жесткости на плите перекрытия (центральное, краевое, угловое). Программа «Расчет плиты перекрытия на продавливание» рекомендована для использования при проектировании монолитных железобетонных зданий.

Ключевые слова: метод конечных элементов, колонна, диафрагма жесткости, плита перекрытия, продавливание.

Abstract. In this paper is considered the modeling of a monolithic reinforced concrete buildings structures by the spatial plate-core scheme and study of the floor slabs punching problem. When creating the finite element model of the building structure the floor slabs were created by four-node quadrilateral finite elements with 24

degrees of freedom, the columns and beams were created by spatial rods with 12 degrees of freedom. The calculation of the frame has been done by the software complex «SCAD», are got the efforts in the framework elements and are determined the concentration of stresses in the connections of slabs and columns. The program «Calculation of floor slab on punching» has been developed by the high-level language Object Pascal in Delphi environment, in accordance with the design standard which allows to research different locations of columns and stiffening diaphragms on the floor slab. The ratio of bearing capacity of the slab was calculated by means of the software «Calculation of floor slab on punching». Results are well correlated with the program «Arbat» of the software complex «SCAD». Difference of the developed program is in the possibility of considering of the columns and stiffness diaphragm location options on the floor slab (central, edge, corner). Program «Calculation of floor slab on punching» is recommended for use in the design of monolithic reinforced concrete structures.

Key words: finite elements method, column, stiffness diaphragm, floor slab, punching.

Введение. В современном строительстве получили широкое распространение монолитные железобетонные каркасные здания. В используемой конструктивной плитно-стержневой схеме в местах сопряжения плит перекрытия и колонн возникает большая концентрация напряжений от сосредоточенной нагрузки. Это может привести к разрушению плит перекрытия от продавливания колонной. Продавливание плиты перекрытия может произойти и под действием нагрузки от несущей стены. Поэтому при проектировании зданий и сооружений необходима проверка прочности плит перекрытия на продавливание под действием нагрузок от колонн, несущих стен или диафрагм жесткости [1 - 4, 8].

Постановка задачи. Целью работы является разработка программы для расчета плиты перекрытия на продавливание при различных вариантах расположения колонн и диафрагм жесткости. За основу расчета были взяты материалы СП 20.133330.2011 «Нагрузки и воздействия», СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры» и Научно-технический отчет «Разработка методики расчета и конструирования монолитных железобетонных безбалочных перекрытий, фундаментных плит и ростверков на продавливание».

Методы исследования. Для определения напряженно-деформированного состояния каркаса здания разработана пространственная плитно-стержневая модель в программном комплексе «SCAD».

Конечно-элементная модель каркаса здания по пространственной плитно-стержневой схеме представлена на рисунке 1.

При создании конечно-элементной схемы каркаса здания плиты перекрытий моделировались четырехугольными оболочечными конечными элементами с 24 степенями свободы; колонны и балки моделировались пространственными

стержнями с 12 степенями свободы. В расчетной схеме учтены: колонны сечением 600х600 мм, балки сечением 400х700 мм и 300х600 мм, плиты перекрытий толщиной 250 мм. Материал конструкций: бетон класса В30, арматура класса А400.

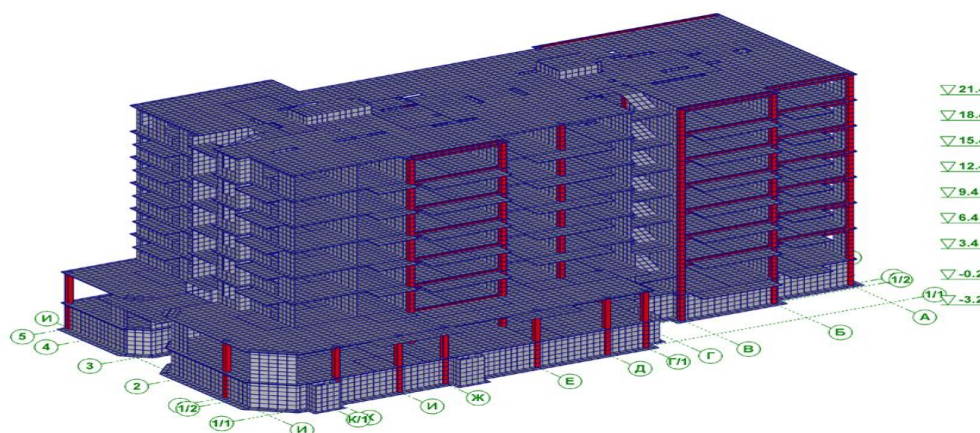
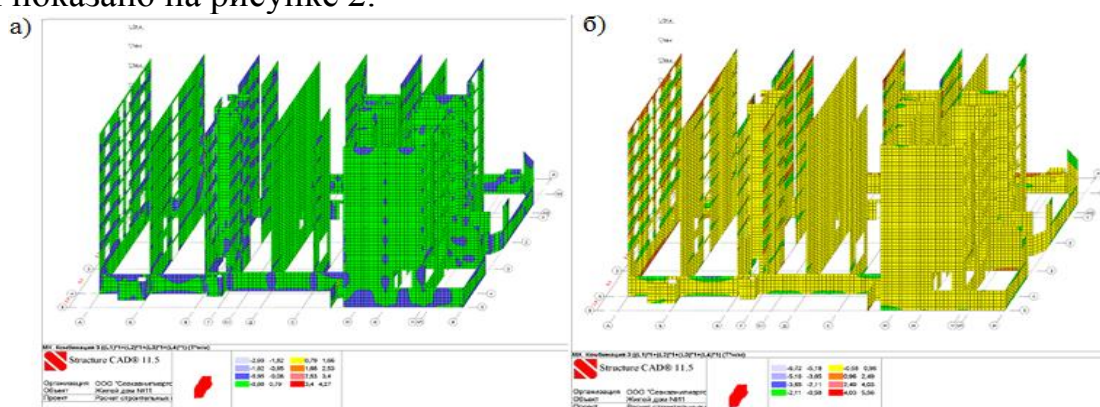


Рисунок 1 – Конечно-элементная модель каркаса здания по пространственной плитно-стержневой схеме

Напряженно-деформированное состояние диафрагм жесткости каркаса здания показано на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Изополя изгибающих моментов:
а) относительно оси Y; б) относительно оси X**

Полученные результаты будут использованы в алгоритме расчета плит перекрытия на продавливание.

Алгоритм расчета плит перекрытия на продавливание колонной и диафрагмой жесткости реализован на языке программирования высокого уровня Object Pascal в среде Delphi [5, 6, 9, 10]. Блок схема программы представлена на рисунке 3.

Возможности программы предназначена для исследования напряженно-деформированного состояния плиты перекрытия при продавливании колонной или диафрагмой жесткости. Программа позволяет учесть расположение несущих конструкций на плите перекрытия, что важно при выборе рационального решения каркаса здания. В программе «Расчет плиты перекрытия на продавли-

вание» реализован расчет плиты перекрытия на продавливание колонной и диафрагмой жесткости при различных вариантах их расположения.

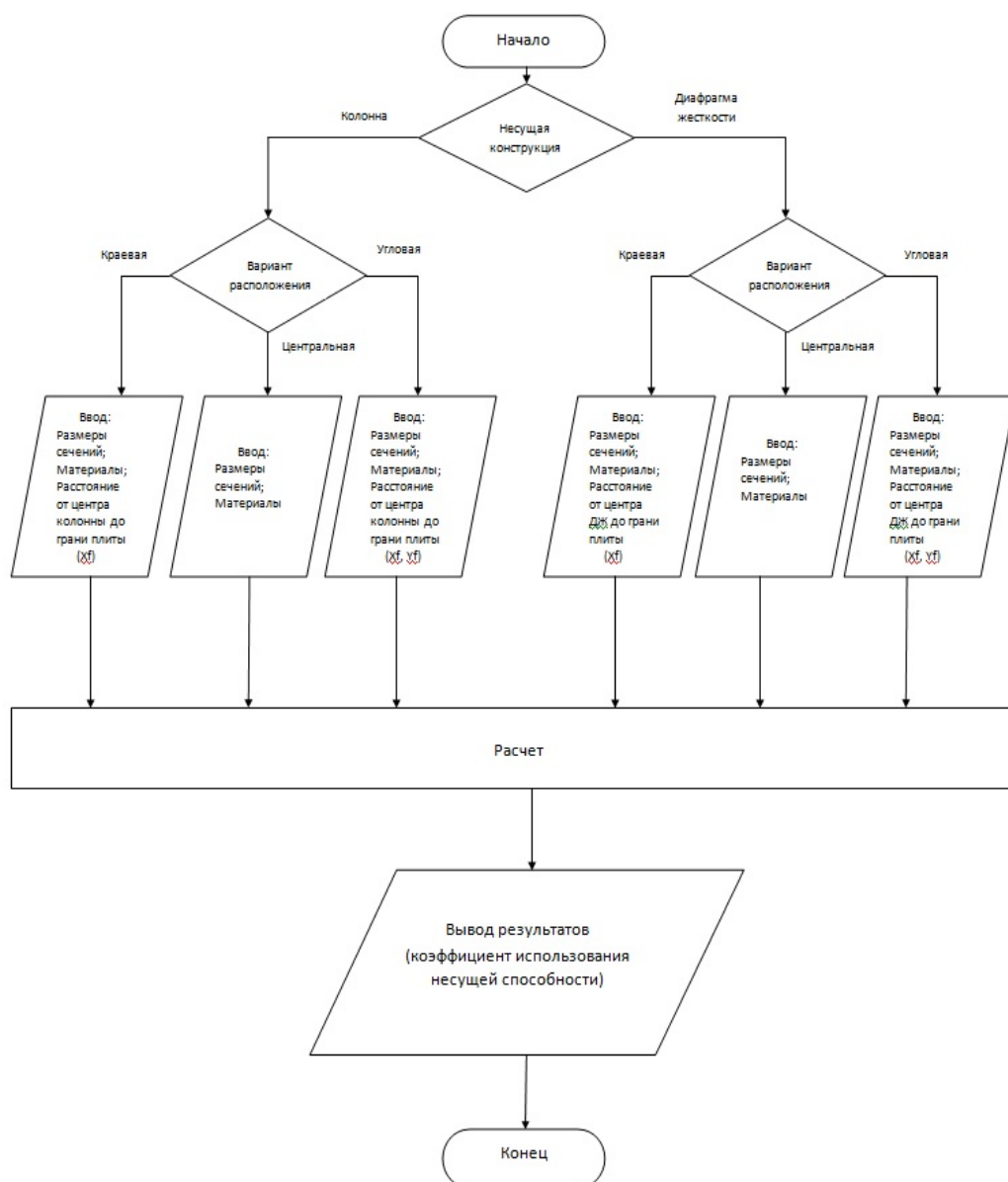


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма программы «Расчет плиты перекрытия на продавливание»

Для расчета плиты перекрытия на продавливание колонной и диафрагмой жесткости приняты следующие исходные данные: сечение колонны – 400х400 мм; толщина диафрагмы – 300 мм; толщина плиты – 200 мм; толщина диафрагмы – 300 мм бетон тяжелый, класс бетона – В30; класс продольной арматуры – А400; класс поперечной арматуры – А240; сосредоточенная сила $F = 40$ т и $F = 25$ т при расчете на продавливание колонной и диафрагмой жесткости соответственно, изгибающие моменты $M_x = M_y = 40$ т * м (рис. 4, 5).

Файл | Помощь
Исходные данные | Результаты

Исходные данные

Сечение колонны
b = 0.4 м
h = 0.4 м

Материал
Класс бетона: B30
Класс продольной арматуры: A400
Класс поперечной арматуры: A240

Расстояние от грани колонны до первого ряда поперечной арматуры (s1): 0.054279 м

Шаг стержней поперечной арматуры вдоль расчетного контура (sw1): 0.05 м

Шаг стержней поперечной арматуры перпендикулярно расчетному контуру (sw2): 0.05 м

Количество рядов поперечной арматуры (nsw): 5 шт

Диаметр поперечной арматуры (dsw): 8 мм

Сосредоточенная сила (F): 40 т

Момент вокруг оси X (Mx): 5 т*м

Момент вокруг оси Y (My): 5 т*м

Толщина плиты (tn): 0.2 м

Расстояние от грани плиты до центра тяжести арматуры (a): 0.037 м

Момент вокруг оси X от эксцентричного расположения силы F в опорном контуре: -1

Момент вокруг оси Y от эксцентричного расположения силы F в опорном контуре: -1

Учет расположения отверстий

Первый вариант расчетного контура

внизу: I1 = 0, x1 = 0

вверху: I2 = 0, x2 = 0

слева: I3 = 0, y3 = 0

справа: I4 = 0, y4 = 0

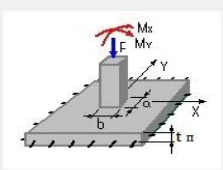
Второй вариант расчетного контура

внизу: I1 = 0, x1 = 0

вверху: I2 = 0, x2 = 0

слева: I3 = 0, y3 = 0

справа: I4 = 0, y4 = 0



Назад | Расчет

Рисунок 4 – Исходные данные при центральном расположении колонны

В программе «Расчет плиты перекрытия на продавливание» был выполнен расчет плиты перекрытия при различных вариантах расположения колонны и диафрагмы жесткости: колонна (диафрагма жесткости) внутри площади плиты; колонна (диафрагма жесткости) на краю плиты; колонна (диафрагма жесткости) на углу плиты.

Исходные данные | Результаты

Исходные данные

Толщина диафрагмы
td = 0.3 м

Материал
Класс бетона: B30
Класс продольной арматуры: A400
Класс поперечной арматуры: A240

Расстояние от грани колонны до первого ряда поперечной арматуры (s1): 0.054279 м

Шаг стержней поперечной арматуры вдоль расчетного контура (sw1): 0.05 м

Шаг стержней поперечной арматуры перпендикулярно расчетному контуру (sw2): 0.05 м

Количество рядов поперечной арматуры (nsw): 5 шт

Диаметр поперечной арматуры (dsw): 8 мм

Сосредоточенная сила (F): 25 т

Момент вокруг оси X (Mx): 5 т*м

Момент вокруг оси Y (My): 5 т*м

Толщина плиты (tn): 0.2 м

Расстояние от грани плиты до центра тяжести арматуры (a): 0.037 м

Момент вокруг оси X от эксцентричного расположения силы F в опорном контуре: -1

Момент вокруг оси Y от эксцентричного расположения силы F в опорном контуре: -1

Учет расположения отверстий

Первый вариант расчетного контура

внизу: I1 = 0, x1 = 0

вверху: I2 = 0, x2 = 0

слева: I3 = 0, y3 = 0

справа: I4 = 0, y4 = 0

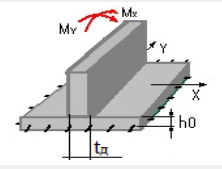
Второй вариант расчетного контура

внизу: I1 = 0, x1 = 0

вверху: I2 = 0, x2 = 0

слева: I3 = 0, y3 = 0

справа: I4 = 0, y4 = 0



Назад | Расчет

Рисунок 5 – Исходные данные при центральном расположении диафрагмы жесткости

Расчет прочности плиты на продавливание выполняется согласно СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры». Условие прочности имеет следующий вид:

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_x}{M_{bx,ult}} + \frac{M_y}{M_{by,ult}} \leq 1,$$

$$F_{b,ult} = R_{bt} \cdot u \cdot h_0,$$

$$M_{bx,ult} = R_{bt} \cdot W_{bx} \cdot h_0,$$

$$M_{by,ult} = R_{bt} \cdot W_{by} \cdot h_0.$$

Согласно п. 6.2.46 [7], проверяется ограничение:

$$\frac{M_x}{M_{bx,ult}} + \frac{M_y}{M_{by,ult}} \leq \frac{F}{F_{b,ult}},$$

где: R_{bt} – расчетное сопротивление бетона на растяжение;

$h_0 = \frac{h_{0x} + h_{0y}}{2}$ – средняя рабочая высота сечения плиты (h_{0x} , h_{0y} – значения рабочей высоты для продольной арматуры, расположенной вдоль осей x и y соответственно);

u – периметр расчетного контура, расположенного на расстоянии $\frac{h_0}{2}$ от площади приложения нагрузки;

W_{bx} , W_{by} – моменты сопротивления расчетного контура, соответствующие изгибающим моментам M_x , M_y .

Обсуждение результатов. На рисунке 6 представлены результаты расчета плиты перекрытия на продавливание при центральном расположении колонны с учетом изгибающих моментов. Коэффициент использования в этом случае составил 0,77. При расчете на продавливание при расположении колонны на краю плиты, коэффициент использования несущей способности составил 0,95.

По результатам расчета видно, что коэффициент использования значительно зависит от варианта расположения колонны. Коэффициент использования в случае краевого расположения колонны увеличился на 23% по сравнению с вариантом расположения колонны в центре.

В случае угловой колонны коэффициент использования несущей способности плиты перекрытия составил 1,88, что на 43% больше, чем в случае центрального расположения колонны.

При расчете плиты перекрытия на продавливание диафрагмой жесткости, коэффициент использования несущей способности при центральном расположении составил 0,71, при расположении диафрагмы жесткости на краю плиты – 0,79, при угловом расположении – 1,12, что на 53% больше, чем при центрально расположенной диафрагме.

Исходные данные | Результаты

Расчет железобетонной плиты на продавливание

Исходные данные:

Колонна:

- ширина сечения $b = 40$ см
- высота сечения $h = 40$ см
- относительное расположение: колонна центральная

Плита:

- рабочая высота сечения плиты $h_0 = 16.3$ см
- класс бетона: B30
- класс продольной арматуры: A400
- класс поперечной арматуры: A240
- диаметр поперечной арматуры: $d_{sw} = 8$ мм

Результаты расчета при первом варианте расчетного контура (с поперечной арматурой):

Характеристики расчетного контура:

- периметр расчетного контура $u = 2.252$ м
- площадь расчетного сечения $A_b = 0.36708$ м²
- абсцисса центра тяжести контура $x_0 = 0.00000$ м
- ордината центра тяжести контура $y_0 = 0.00000$ м
- момент сопротивления контура вдоль оси OX: $W_{bx} = 0.42263$ м²
- момент сопротивления контура вдоль оси OY: $W_{by} = 0.42263$ м²
- момент сопротивления армируемого контура вдоль оси OX: $W_{swx} = 0.42263$ м²
- момент сопротивления армируемого контура вдоль оси OY: $W_{swy} = 0.42263$ м²

$q_{sw} = 0.51271$ МН/м
 $F_{sw_ult} = 0.42214$ МН
 $M_x = 0.02452$ т*м
 $M_y = 0.02452$ т*м
 $M_{bx_ult} = 0.079221$ МН*м
 $M_{by_ult} = 0.079221$ МН*м
 $M_{swx_ult} = 0.07922$ МН*м
 $M_{swy_ult} = 0.07922$ МН*м
 $F/F_{ult} = 0.46462$ МН*м
 $M_x/M_{x_ult} = 0.154735$
 $M_y/M_{y_ult} = 0.154735$
 $M/M_{ult} = 0.30947$
 Условие $F/F_{ult} + M/M_{ult} = 0.77409 < 1$ выполняется

Рисунок 6 – Результаты расчета плиты перекрытия на продавливание колонной

Анализ результатов расчета показал, что коэффициент использования несущей способности при внецентренной нагрузке на плиту перекрытия от колонны или диафрагмы жесткости значительно увеличивается по сравнению со случаями, когда колонна или диафрагма жесткости находятся в центре плиты перекрытия. На рисунке 7 представлен расчет плиты перекрытия на продавливание в модуле «Арбат».

APSAT - Продавливание

Файл | Режимы | Настройки | Сервис | Справка

Общие параметры | Бетон

Дополнительное вертикальное армирование

Стержни: Класс арматуры: A1 Диаметр: 8

Коэффициент надежности по ответственности: 1

$P = 5$ т
 $q = 0$ т/м²
 $A = 6$ м
 $a = 0.3$ м
 $B = 1.5$ м
 $b = 0.5$ м
 $h = 0.2$ м

Вдоль стороны: Количество рядов: 2 Положение первых рядов (м): $b_1 = 0.054$ $a_1 = 0.054$ Шаг рядов (м): $b_2 = 0$ $a_2 = 0$ Количество стержней в ряду: 2 Шаг стержней в ряду (м): 0.05

Прочность на условный продавливание без дополнительного: 0.9

Вывести | Факторы | Ответ | Справка

Рисунок 7 – Расчет плиты перекрытия на продавливание в модуле «Арбат»

С помощью модуля «Арбат» ПК SCAD был выполнен аналогичный расчет плиты перекрытия на продавливание колонной.

Выводы. Программа «Расчет плиты перекрытия на продавливание» реализована на языке высокого уровня Object Pascal в среде Delphi в соответствии с нормами проектирования, которая позволяет исследовать различные варианты расположения колонн и диафрагм жесткости на плите перекрытия. Пользователь имеет возможность получить подробный отчет с пошаговыми результатами расчетов, что позволяет контролировать правильность вычислений.

Результаты расчета, полученные с использованием программы «Расчет плиты перекрытия на продавливание» соответствуют результатам, полученным с использованием модуля «Арбат» программного комплекса «SCAD».

Отличие разработанной программы состоит в возможности учета вариантов расположения колонн и диафрагм жесткости на плите перекрытия (центральное, краевое, угловое). Программа «Расчет плиты перекрытия на продавливание» рекомендована для использования при проектировании монолитных железобетонных зданий.

Анализ расчетной схемы на стадии проектирования, регулирование усилий и перемещений в отдельных элементах каркаса, варьирование расположения колонн и диафрагм жесткости позволяют выполнять оптимизацию конструктивных решений с использованием разработанной программы.

Библиографический список:

1. Кравченко Г.М., Коробкин А.П., Труфанова Е.В., Лукьянов В.И., «Критерии оценки динамических моделей железобетонного каркаса здания», Science Time, 2014.
2. Кравченко Г.М., Казанцев А.А., Шамитько Д.А., «Определение оптимальных параметров стержневых и плитных систем», Theoretical Foundation of Civil Engineering, Варшава, 2006.
3. Панасюк Л.Н., Кравченко Г.М., Труфанова Е.В., «Аппроксимация граничных кинематических условий гладкими кубическими сплайнами», Научное обозрение, 2014.
4. Агаханов Э.К., «О развитии комплексных методов решения задач механики деформируемого твердого тела»//Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. -№2 – Т.29.-2013, с.39-46.
5. Кравченко Г.М., Труфанова Е.В., Вержиковский В.В., Заритовский Д.С., «Исследование напряженно-деформированного состояния фундаментной плиты выставочного павильона технопарка РГСУ с учетом различных моделей основания», Инженерный вестник Дона, 2015.
6. Кравченко Г.М., Труфанова Е.В., Кубашов Т.Р., «Влияние модели основания грунта на напряженно-деформированное состояние фундаментной плиты», Строительство - 2015: Современные проблемы строительства, 2015.

7. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры / ГУП «НИИЖБ», ФГУП ЦПП. – М., 2004.
8. Kuang, J.S. and Morely, C.T., «Punching Shear Behavior of Restrained Reinforced Concrete Slabs», ACI Structural Journal, 89, 1, 1992, pp 13-19.
9. Kinnunen, S., and Nylander, H., (1960) «Punching of Concrete Slab without Shear Reinforcement», Transactions of the Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, No. 158.
10. Eder M.A, Vollum R.L., Elghazouli A.Y., Performance of ductile RC flat slab to steel column connections under cyclic loading, Engineering Structures, 36, 2012, 239-257.

References:

1. Kravchenko, G. M., Korobkin A. P., Trufanova E. V., Lukyanov V. I., «Criteria for evaluation of dynamic models of reinforced concrete frame buildings», Science Time, 2014.
2. Kravchenko, G. M., Kazantsev A. A., Semitico D. A., «Determination of optimal parameters of rod and slab systems», Theoretical Foundation of Civil Engineering, Warsaw, 2006.
3. Panasyuk L. N., Kravchenko, G. M., Trufanova E. V., «approximation of the kinematic boundary conditions smooth cubic splines», Research review, 2014.
4. Agakhanov, E. K., «On the development of integrated methods for solving problems in solid mechanics. Herald of the Dagestan state technical University. Technical Sciences. - No. 2 – vol. 29.-2013, pp. 39-46.
5. Kravchenko, G. M., Trufanova E. V., Verikovskiy V. V., Zaritovsky D. S., «investigation of the stress-strain state of the Foundation plate of the exhibition hall of the Technopark of the University, taking into account different models of foundations», Engineering journal of don, 2015.
6. Kravchenko, G. M., Trufanova E. V., Kubasov T. R., «Influence of the model of the soil base on the stress-strain state of the Foundation slab, the Construction To 2015: Modern problems of construction, 2015.
7. SP 52-101-2003. Concrete and reinforced concrete structures without prestressing. GUP NIIZHB, FGUP pp. – M., 20048. Kuang, J.S. and Morely, C.T., «Punching Shear Behavior of Restrained Reinforced Concrete Slabs», ACI Structural Journal, 89, 1, 1992, pp. 13-19.
9. Kinnunen, S., and Nylander, H., (1960) «Punching of Concrete Slab without Shear Reinforcement», Transactions of the Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, No. 158p.
10. Eder M.A, Vollum R.L., Elghazouli A.Y., Performance of ductile RC flat slab to steel column connections under cyclic loading, Engineering Structures, 36, 2012, pp.239-257.