doi: 10.5862/MCE.55.2

# Конструкция фундаментной плиты с регулируемыми усилиями

К.т.н., профессор С.В. Иконин; аспирант А.В. Сухотерин,

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

**Аннотация.** Сплошные плитные фундаменты, широко применяемые в настоящее время в фундаментостроении, имеют существенный недостаток — высокий расход стали, используемой для их армирования. В статье предлагается конструкция фундаментной плиты с регулируемыми усилиями, которая отличается от традиционного решения тем, что в тело плиты вводятся узлы шарнирного действия, обеспечивающие практически повсеместное уменьшение изгибающих моментов внутри фундамента.

Сформулированы основные требования, предъявляемые к узлу шарнирного действия при конструировании. С целью подтверждения эффективности предлагаемой конструкции приводится сравнительный анализ результатов расчета фундаментной плиты с регулируемыми усилиями и традиционной сплошной фундаментной плиты.

Анализ полученных результатов расчета показал, что узел шарнирного действия обеспечивает существенную разгрузку сечений фундаментной плиты как в пролетах, так и под колоннами.

Ключевые слова: плитные фундаменты; узел шарнирного действия; совместный расчет

#### Введение

В современных условиях строительства, характеризующихся повышенной этажностью возводимых объектов, стесненностью осваиваемых площадок, использованием в качестве оснований грунтов с невысокими значениями деформационных характеристик, существенно возрастает актуальность фундаментов в виде сплошных железобетонных плит. Неоспоримое достоинство данных фундаментов заключается в том, что они способны перераспределять внешние воздействия от зданий или сооружений на значительную область основания, создавая таким образом благоприятные условия для выравнивания осадок оснований, обусловленных неоднородным строением грунтовых массивов и неравномерным загружением фундаментных плит в плане.

Накопленный опыт проектирования показывает, что недостатком рассматриваемой конструкции фундамента является ее большая стоимость, связанная главным образом со значительным расходом стали на армирование. Настоящая работа посвящена именно данному аспекту вопроса о снижении материалоемкости фундаментных плит.

# Обзор литературы

По результатам анализа существующих источников можно выделить три главных направления, которые позволяют снизить материалоемкость конструкции плитного фундамента.

К первому направлению следует отнести работы, в которых предлагается выполнять совместный расчет системы «надземная конструкция — фундамент — основание». Этот вопрос рассматривался в руководстве по проектированию плитных фундаментов [1] и такими авторами, как М.И. Горбунов-Посадов [2], С.Н. Клепиков [3], А.С. Городецкий [4], В.М. Улицкий [5], А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин [6], R. Katzenbach, G. Bachmann, C. Gutberlet [7], J.B. Burland, B.B. Broms, V.F.B. De Mello [8], O. Kabantsev, A. Perelmuter [9], S.C. Dutta, R. Roy [10].

Второе направление подразумевает учет нелинейного поведения грунтовых оснований и материала фундаментной плиты при нагружении. Данный подход отразили в своих трудах В.И. Соломин [11, 12, 13], А.Г. Шашкин, К.Г. Шашкин [14], В.Г. Федоровский [15, 16], Н.И. Карпенко [17], S.G. Bezvolev [18], A.S. Morgun, A.M. Ratushna [19], R. Cerioni, L. Mingardi [20], C. Barth, E. Margraf [21], R.B.J. Brinkgreve [22].

В работах третьего направления оптимизации армирования фундаментных плит добиваются за счет новых конструктивных решений. Данные конструктивные решения разрабатывали такие авторы, как С.Л. Эскулов [23], S.M. Alenikov, S.V. Ikonin [24, 25], А.К. Беляничев [26], Р.Л. Айвазов [27, 28], В.А. Таршиш [29], Е.А. Сорочан [30].

Иконин С.В., Сухотерин А.В. Конструкция фундаментной плиты с регулируемыми усилиями

Результаты исследований, публикуемые авторами в данной статье, относятся к третьему из названных направлений.

#### Постановка задачи

С целью уменьшения расхода арматуры предлагается ввести в конструкцию плитного фундамента узлы шарнирного действия так, как показано на рисунках 1–3.

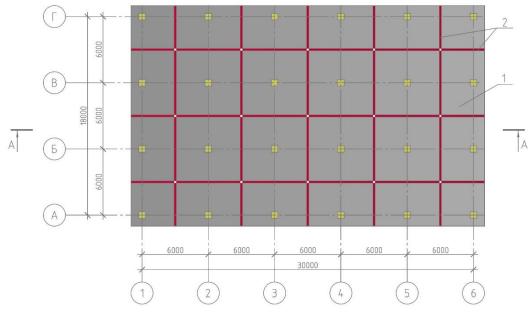


Рисунок 1. Конструкция фундаментной плиты с регулируемыми усилиями, план: 1 – железобетонная плита; 2 – узел шарнирного действия

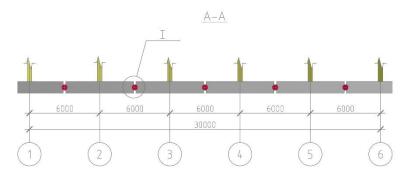


Рисунок 2. Конструкция фундаментной плиты с регулируемыми усилиями, разрез A-A: I – узел шарнирного действия

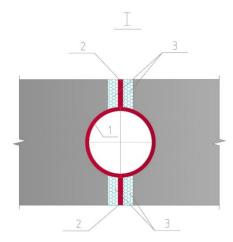


Рисунок 3. Узел шарнирного действия
1 – стальная труба; 2 – стальные пластины; 3 – вставки из пенопласта

Предлагаемый узел шарнирного действия не препятствует взаимному повороту смежных частей фундаментной плиты, создавая таким образом шарнирный эффект в ее работе. Вместе с тем данное конструктивное решение обеспечивает совместную работу соседних участков плиты, разделенных узлами шарнирного действия, что позволяет сохранить у фундамента распределительную способность.

Конструкция узла шарнирного действия должна отвечать следующим требованиям.

Необходимо проверить согласно [31] консольный участок фундаментной плиты, изображенный на рисунке 4, на прочность по поперечной силе  $Q_{\text{max}}$  и изгибающему моменту  $M_x$ , воспользовавшись формулами (1) и (2).

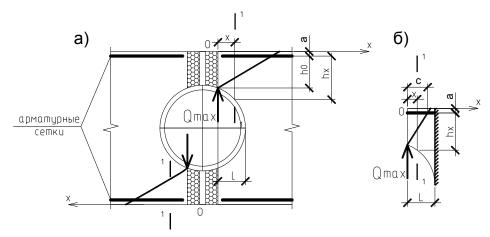


Рисунок 4. Расчетная схема влияния узла шарнирного действия на местную прочность фундаментной плиты: а) схема приложения сил в узле; б) расчетная схема консольного участка плиты в виде защемленной балки переменной толщины

$$Q_{\max} \le \frac{1.5 \cdot R_{bt} \cdot b \cdot h_0}{c}; \tag{1}$$

$$M_{x} = Q_{\text{max}} \cdot x \le R_{bt} \cdot \frac{b \cdot h_{x}^{2}}{6}, (0 < x \le L),$$
(2)

где  $Q_{max}$  – максимальная поперечная сила в узле шарнирного действия на участке длиной b = 1 м;  $M_x$  – изгибающий момент в сечении 1-1 консоли, удаленном от точки приложения силы  $Q_{max}$  на расстояние x;  $R_{bt}$  – расчетное сопротивление бетона растяжению;  $h_x$  – рабочая высота консоли в расчетном сечении 1-1;  $h_0$  – рабочая высота расчетного сечения консоли при x = 0; a – толщина защитного слоя арматуры; c – горизонтальная проекция наклонного сечения консольного участка плиты ( $h_0 \le c \le 2,4h_0$ , при L >  $2,4h_0$  принимают L =  $2,4h_0$  [31]).

Для нормального функционирования узла шарнирного действия при повороте (рис. 5) должны быть выполнены условия (3) и (4).

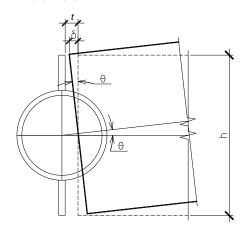


Рисунок 5. Расчетная схема узла шарнирного действия при повороте смежных участков фундаментной плиты

$$\delta \leq t$$
: (3)

$$\delta = \frac{h}{2} \cdot \sin \theta , \qquad (4)$$

где t — толщина сжимаемой прослойки в узле шарнирного действия;  $\delta$ ,  $\theta$  — соответственно показанные на рисунке 5 перемещение и угол поворота смежных участков фундаментной плиты, разделенных узлом шарнирного действия.

Основной технологической особенностью предлагаемой конструкции по сравнению с традиционными сплошными фундаментными плитами является то, что перед началом монолитных работ необходимо устанавливать в проектное положение элементы узлов шарнирного действия (рис. 3). В результате по всему телу фундамента за счет вводимых шарнирных узлов существенно снижаются изгибающие моменты. Поэтому рассматриваемый фундамент с узлами шарнирного действия можно классифицировать как фундаментную плиту с регулируемыми усилиями.

В практике фундаментостроения подобные конструкции фундаментных плит еще не применялись. Следовательно, при проектировании конкретных объектов будет необходимо всесторонне оценивать совместную работу всех узлов и элементов системы «основание – фундамент – сооружение» в соответствии с требованиями национальных стандартов на проектирование и, в частности, с принятыми ограничениями по деформациям, прочности и устойчивости оснований и строительных конструкций. Чтобы получаемые решения были максимально приближены к действительности, желательно в расчетах использовать математические модели, наиболее адекватно описывающие сопротивление грунтов и конструкционных материалов внешним воздействиям.

Для оценки эффективности конструкции фундаментной плиты с регулируемыми усилиями проводились серии сравнительных МКЭ расчетов. Сравнивались результаты расчета предлагаемой конструкции фундаментной плиты со сплошной фундаментной плитой. Оба варианта фундаментных плит рассматривались совместно в системе «основание – фундамент – сооружение».

Совместный расчет системы «основание — фундамент — сооружение» производился в программном комплексе «MIDAS GTS NX». Грунтовый массив моделировался трехмерными конечными элементами типа «Solid» с тремя степенями свободы в узлах. В качестве расчетной модели грунта, описывающей нелинейное поведение основания под нагрузкой, использовалась упругая идеально-пластическая модель Мора — Кулона, состоящая из двух компонент: закона Гука и условия прочности Кулона. Модель учитывает основные свойства грунта, такие как упругое поведение при малых нагрузках, малая жесткость материала при разрушении, условие разрушения и упругая разгрузка после течения. Предельное напряженное состояние по Мору — Кулону определяется условием (5):

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \cdot \sin \varphi - C \cdot \cos \varphi = 0, \tag{5}$$

где  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$  – главные напряжения;  $\phi$  – угол внутреннего трения; C – удельное сцепление.

Элементы каркаса моделировались стержневыми элементами типа «Beam» и пластинчатыми элементами типа «Shell». Для создания шарнирной работы смежных частей фундаментной плиты использовался инструмент «Add End Release (Shell)», который позволяет освободить необходимые перемещения в узлах пластинчатых элементов. Все остальные параметры рассматриваемой системы «основание – фундамент – сооружение» приведены ниже в таблице 1.

Общий вид расчетной схемы «основание – фундамент – сооружение» Конструктивная схема – каркасная Сетка колонн 6х6 м, размер сетки в плане - 18х30 м Высота этажа – 3 м, количество этажей – 13 Характеристики Колонны сечением 0,4х0,4 м сооружения Перекрытия толщиной 0,2 м Материал каркаса – бетон класса В25 Нагрузка на каждом перекрытии – 5 кH/м<sup>2</sup> Фундамент в виде сплошной фундаментной плиты или в виде фундаментной плиты с регулируемыми усилиями Характеристики Толщина фундаментной плиты – 1,0 м фундамента Материал фундамента – бетон класса В20 Нагрузка на фундаментную плиту – 5 кH/м<sup>2</sup> Основание представлено однородным слоем песка средней крупности Характеристики средней плотности со следующими механическими характеристиками: основания  $\phi = 36^{\circ}$ , C = 1 k $\Pi$ a, E = 30 M $\Pi$ a, v = 0,3

Таблица 1. Исходные данные системы «основание – фундамент – сооружение»

### Результаты исследований

По результатам расчета двух вариантов фундаментных плит были получены изополя значений изгибающих моментов, поперечных сил и осадок, которые показаны соответственно на рисунках 6–11. Сопоставление приведенных результатов расчета указывает на то, что узел шарнирного действия обеспечивает существенную разгрузку сечений фундаментной плиты как в пролетах, так и под колоннами при практически равных осадках основания в обоих вариантах расчета. Перераспределение усилий в надземной части системы «основание — фундамент — сооружение» за счет введения в плиту шарниров незначительно и не требует дополнительного расхода арматуры. Представленные на рисунках 6–11 графические материалы обобщены в таблице 2.

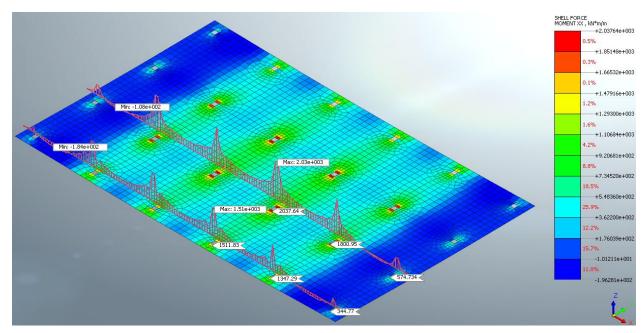


Рисунок 6. Изополя значений изгибающих моментов Мх (кH·м) сплошной фундаментной плиты

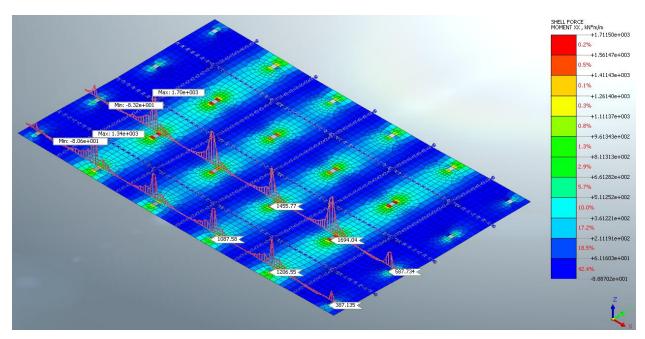


Рисунок 7. Изополя значений изгибающих моментов Мх (кН·м) фундаментной плиты с регулируемыми усилиями

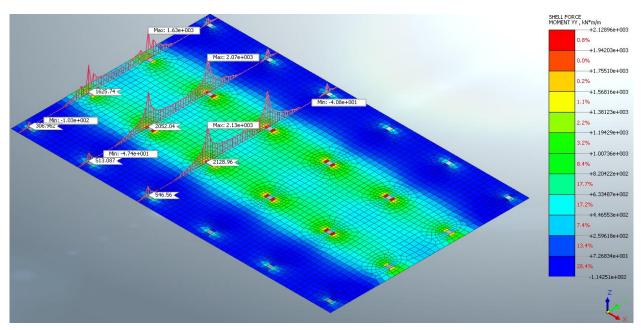


Рисунок 8. Изополя значений изгибающих моментов Му (кH·м) сплошной фундаментной плиты

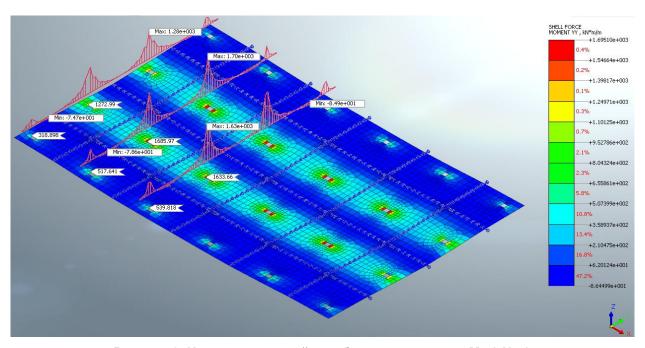


Рисунок 9. Изополя значений изгибающих моментов Му (кH·м) фундаментной плиты с регулируемыми усилиями

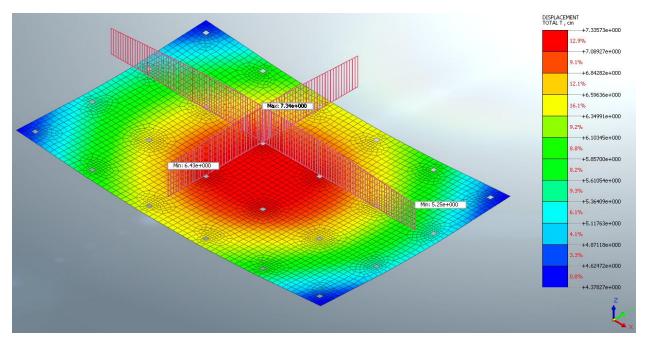


Рисунок 10. Значения осадок (мм) сплошной фундаментной плиты

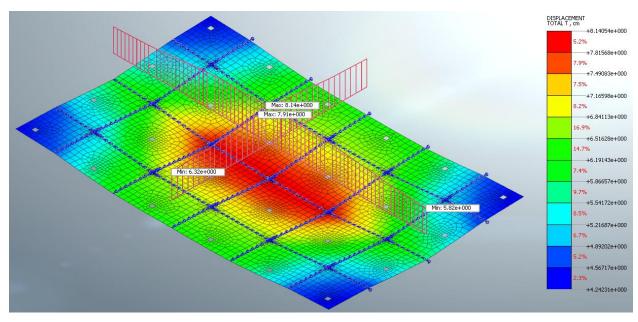


Рисунок 11. Значения осадок (мм) фундаментной плиты с регулируемыми усилиями

Таблица 2. Обобщение результатов расчета по рассмотренным вариантам фундаментов

Сравниваемые параметры	Сплошная фундаментная плита	Фундаментная плита с регулируемыми усилиями
М <sub>х</sub> , кН·м (сечение по по оси А)	-183,79÷1511,81	−80,56÷1341,0
$M_{x}$ , к $H\cdot$ м (сечение по по оси Б)	-107,58÷2026,53	-83,16÷1703,58
М <sub>у</sub> , кН·м (сечение по по оси 1)	-103,14÷1626,22	-74,65÷1279,41
М <sub>у</sub> , кН·м (сечение по по оси 2)	-47,35÷2068,07	-78,24÷1695,10
М <sub>у</sub> , кН·м (сечение по по оси 3)	-40,72÷2128,96	-84,85÷1633,66
М <sub>х</sub> , кН·м (в целом по плите)	-196,28÷2037,64	-88,87÷1711,50
М <sub>у</sub> , т·м (в целом по плите)	−114,25÷2128,96	-86,45÷1695,10
Q <sub>x</sub> , кН (в целом по плите)	-2257,07÷2245,23	-2291,64÷2275,59
Q <sub>у</sub> , кН (в целом по плите)	-2161,36÷2176,92	-2262,30÷2294,93
Осадка S, см (в целом по плите)	4,37÷7,34	4,24÷8,14

По данным, содержащимся в таблице 2, построена гистограмма (рис. 12), которая отражает эффективность конструкции фундаментной плиты с регулируемыми усилиями.

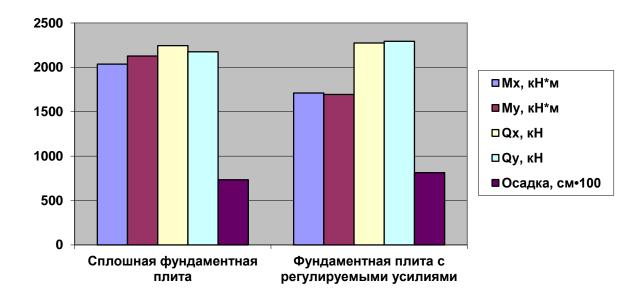


Рисунок 12. Гистограмма сравниваемых максимальных значений параметров  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $Q_x$ ,  $Q_y$ , S в целом по плите

#### Выводы

На основе анализа полученных результатов расчетов можно сделать следующие выводы.

- 1. Благодаря наличию в теле фундамента узлов шарнирного действия удается повсеместно разгрузить сечения фундаментной плиты, а именно:
  - снизить изгибающие моменты в сечениях под колоннами в среднем на 18 %;
  - практически избавиться от изгибающих моментов в местах установки узлов шарнирного действия.
- 2. Значения поперечной силы у сравниваемых конструкций фундаментных плит лежат в одном диапазоне.
- 3. Осадки основания в обоих вариантах расчета не превышают предельно допустимых значений и несущественно отличаются друг от друга.
- 4. Использование фундаментной плиты с регулируемыми усилиями в системе «основание фундамент сооружение» не приводит к существенному перераспределению усилий и перемещений в элементах надземного сооружения по сравнению со сплошной плитой.
- 5. Предлагаемая конструкция фундаментной плиты с регулируемыми усилиями ведет к снижению расхода стали на армирование и к достижению положительного экономического эффекта с сохранением всех положительных качеств сплошных плитных фундаментов. По результатам исследований были поданы две заявки на изобретение: «Конструкция фундаментной плиты с регулируемыми усилиями» №2014103231, «Узел шарнирного действия для фундаментной плиты с регулируемыми усилиями» №2014113732.

#### Литература

- 1. Руководство по проектированию плитных фундаментов каркасных зданий и сооружений башенного типа / НИИОСП им. Н.М. Герсеванова.: Стройиздат, 1984. 263 с.
- 2. Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А., Соломин В.И. Расчет конструкций на упругом основании. М.: Стройиздат, 1984. 679 с.
- 3. Клепиков С.Н. Расчет сооружений на деформируемом основании. К.: НИИСК, 1996. 204 с.
- 4. Городецкий А. С. [и др.] Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона. Киев: ФАКТ, 2004. 105 с.
- 5. Улицкий В.М. Основы совместных расчетов зданий и оснований // Развитие городов и геотехническое строительство. 2006. №10. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Reader. URL: http://www.georec.spb.ru/journals/10/files/10005.pdf (дата обращения: 9.02.2015).
- 6. Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Взаимодействие зданий и оснований: Тетрадь №2 // Приложение к журналу «Реконструкция городов и геотехническое строительство». СПб.: Стройиздат, 2002. 48 с.
- 7. Katzenbach R., Bachmann G., Gutberlet C. Soil-Structure interaction by high-rise buildings in megacities // Proceedings of the Indian Geotechnical Conference IGS, 14–16 December 2006. IIT Madras, Chennai. Vol. 1. Pp. 3–10.
- 8. Burland J.B., Broms B.B., De Mello V.F.B. Behaviour of foundations and structures // Proceedings of the 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. 1977. Tokyo, Japan. Rotterdam: Balkema, 1977. Vol. 2. Pp. 495–546.
- 9. Kabantsev O., Perelmuter A. Modeling transition in design model when analyzing specific behaviors of structures // Procedia Engineering. 2013. Vol. 57. Pp. 479–488.
- 10. Dutta S. C., Roy R. A critical review on idealization and modeling for interaction among soil–foundation–structure system // Computers & structures. 2002. Vol. 80. No. 20. Pp. 1579–1594.
- 11. Соломин В.И., Шматков С.Б. Об учете нелинейных деформаций железобетона и грунта при расчете круглых фундаментных плит // Основания фундаменты и механика грунтов. 1976. №3. С. 36–39.
- 12. Соломин В.И., Шматков С.Б. Методы расчета и оптимальное проектирование железобетонных фундаментных конструкций. М.: Стройиздат, 1986. 208 с.
- 13. Solomin V.I., Kopeikin V.S., Shmatkov S.B. Numerical Solution for NonLinear Problems of Relationship between Foundations and Soil Bases // Proceedings of 3rd International Conference on Numerical Methods in Geomechanics, Aachen. 2 6 April, 1979. Rotterdam: A.A. Balkema, 1979. Vol. 3. Pp. 1033–1039.

- 14. Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Расчет фундаментных плит в пространственной постановке с учетом нелинейных деформаций основания // Реконструкция городов и геотехническое строительство. 2000. №3. [Электронный ресурс]. Систем. требования: Adobe Reader. URL: http://www.georec.spb.ru/journals/03/20/20.pdf (дата обращения: 7.02.2015).
- 15. Федоровский В. Г., Безволев С. Г. Прогноз осадок фундаментов мелкого заложения и выбор модели основания для расчета плит // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2000. №4. С. 10–18.
- 16. Федоровский В. Г., Безволев С. Г., Дунаева О. М. Методика расчета фундаментных плит на нелинейно-деформируемом во времени основании// Нелинейная механика грунтов: Тр. IV Рос. конф. с иностр. участием. 1993. Т. 1. С. 81-86.
- 17. Карпенко Н. И. Теория деформирования железобетона с трещинами. М.: Стройиздат. 1976. 208 с.
- Bezvolev S. G. Method of Accounting for the Deformability of an Inhomogeneous Elastoplastic Bed in Analyzing Foundation Slabs // Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2002. Vol. 39. No. 5. Pp. 162–170.
- 19. Morgun A.S., Ratushna A.M. Elastic-plastic modeling of a foundation plate geotechnical process // Scientific Works of Vinnytsia National Technical University. 2012. No. 1. Pp. 1–5.
- 20. Cerioni R., Mingardi L. Nonlinear analysis of reinforced concrete foundation plates // Computers & Structures. 1996. Vol. 61. No. 1. Pp. 87–106.
- 21. Barth C., Margraf E. Untersuchung verschiedener Bodenmodelle zur Berechnung von Fundamentplatten im Rahmen von FEM-Lösungen // Bautechnik. 2004. Vol. 81. No. 5. Pp. 337–343.
- 22. Brinkgreve R. B. J. Selection of sil models and parameters for geotechnical engineering application // Soil Constitutive Models: Evaluation, Selection, and Calibration / Ed. J.A.Yamamuro, V.N.Kaliakin. American Society of Civil Engineers. 2005. Vol. 128. Pp. 69–98.
- 23. Эскулов С.Л. Прогноз и регулирование напряженно-деформированного состояния фундаментных плит под реакторные отделения и турбоагрегаты АЭС на стадии строительства // Энергическое строительство. 1989. №9. С. 49–51.
- 24. Alenikov S.M., Ikonin S.V. Controt of foundation shape and loading parameters of preserve uniform settlement // Communications in numerical methods in engineering. 1996. Vol. 12. Pp. 445–453.
- 25. Alenikov S.M., Ikonin S.V. Prevention of nonuniform settlement of foundations // Building research journal. 1996. Vol. 44. No. 2. Pp. 69–89.
- 26. Патент №1216288. СССР. Фундамент зданий и сооружений / А.К. Беляничев, И.А. Бердичевский, С.Н. Клепиков, М.Л. Клоницкий, Д.Б. Цекерман, А.С. Шенкар; заявитель и патентообладатель Киевское отделение Всесоюзного Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции научно-исследовательского и проектно-изыскательского института «Атомтеплоэлектропроект». №3778436/29-33; заяв. 06.08.84; опуб. 07.03.86, Бюл. №9. 2 с.
- 27. Патент №1814677. СССР.Сборно-монолитная фундаментная плита / Р.Л. Айвазов. №5019792/33; заяв. 29.12.91; опуб. 07.05.93, Бюл. №17. 2 с.
- 28. Патент №1814677. СССР. Фундаментная плита / Р.Л. Айвазов. №5019790/33; заяв. 29.12.91; опуб. 07.02.93, Бюл. №5. 6 с.
- 29. Патент №987033. СССР. Фундаментная железобетонная плита. / В.А. Таршиш, А.Л. Гордон, В.Э. Ростованов, А.Н. Лавренов, В.В. Марин; заявитель и патентообладатель Управление по проектированию жилищно-гражданского и комунального строительства «Моспроект-1». №2840936/29-33; за-яв. 19.11.79; опуб. 07.01.83, Бюл. №1. 3 с.
- 30. Сорочан Е.А. Фундаменты промышленных зданий. М.: Стойиздат, 1986. 303 с.
- 31. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 / Минрегион России. М., 2013. 154 с.

Сергей Вячеславович Иконин, г. Воронеж, Россия Тел. раб.: +7(4732)558328; эл. почта: fornag@inbox.ru

Андрей Владимирович Сухотерин, г. Воронеж, Россия Тел. моб.: +7(952)5529563; эл. почта: asuhoterin@list.ru

© Иконин С.В., Сухотерин А.В., 2015

doi: 10.5862/MCE.55.2

# Design of the foundation slab with controlled forces

S.V. Ikonin

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Voronezh, Russia +7(4732)558328; e-mail: fornag@inbox.ru

A.V. Sukhoterin

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering, Voronezh, Russia +7(952)5529563; e-mail: asuhoterin@list.ru

## Key words

slab foundation, hinged node, joint calculation

## **Abstract**

Solid slab foundations, now widely used in foundation engineering, have one significant drawback-the cost of steel used for their reinforcement. The authors proposed a design for the foundation slab with controlled forces. The solution differs from traditional ones as it implies adding hinged nodes into the body of the slab, which provides an almost universal decrease in the bending moments in the foundation.

The article also presents the basic requirements for the design of the hinged node. In order to confirm the effectiveness of the proposed design, the paper provides a comparative analysis of the calculation results for the foundation slab with controlled forces versus the traditional solid foundation slab.

The analysis of the calculation results leads to the conclusion that the hinged node provides substantial unloading for the sections of the foundation slab in bays and under the columns.

#### References

- 1. Rukovodstvo po proyektirovaniyu plitnykh fundamentov karkasnykh zdaniy i sooruzheniy bashennogo tipa [Design Guide slab foundation frame buildings Towers-type] / NIIOSP them. N.M. Gersevanov: Stroyizdat, 1984. 263 p. (rus)
- 2. Gorbunov-Posadov M.I., Malikov T.A., Solomin V.I. *Raschet konstruktsiy na uprugom osnovanii* [Calculation of structures on elastic foundation. Moscow: Stroyizdat, 1984. 679 p. (rus)
- 3. Klepikov S.N. *Raschet sooruzheniy na deformiruyemom osnovanii* [Calculation of structures on the deformed basis]. Kyiv: NIISK, 1996. 204 p. (rus)
- 4. Gorodetsky A. S. [et al.]. *The calculation and structural design of tall buildings from reinforced concrete* [Raschet i proyektirovaniye konstruktsiy vysotnykh zdaniy iz monolitnogo zhelezobetona]. Kiev: FAKT, 2004. 105 p. (rus)
- Ulitsky V.M. Osnovy sovmestnykh raschetov zdaniy i osnovaniy [Fundamentals of joint calculations of buildings and grounds]. Urban renewal and Geotechnical Engineering. 2006. No. 10. [Online resource]. System requirements: Adobe Reader. URL: http://www.georec.spb.ru/journals/10/files/10005.pdf (date accessed: February 9, 2015). (rus)
- 6. Shashkin A.G., Shashkin K.G. Vzaimodeystviye zdaniy i osnovaniy: Tetrad №2 [Interaction of buildings and grounds: Notebook No.2]. Supplement to the "Urban renewal and Geotechnical Engineering". Saint-Petersburg: Stroyizdat, 2002. 48 p. (rus)
- 7. Katzenbach R., Bachmann G., Gutberlet C. Soil-Structure interaction by high-rise buildings in megacities. *Proceedings of the Indian Geotechnical Conference* IGS, 14–16 December 2006. IIT Madras, Chennai. Vol. 1. Pp. 3–10.
- 8. Burland J.B., Broms B.B., De Mello V.F.B. Behaviour of foundations and structures. *Proceedings of the 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering.* 1977. Tokyo, Japan. Rotterdam: Balkema, 1977. Vol. 2. Pp. 495–546.
- 9. Kabantsev O., Perelmuter A. Modeling transition in design model when analyzing specific behaviors of structures. *Procedia Engineering*. 2013. Vol. 57. Pp. 479–488.
- 10. Dutta S.C., Roy R. A critical review on idealization and modeling for interaction among soil–foundation–structure system. *Computers & structures*. 2002. Vol. 80. No. 20. Pp. 1579–1594.
- 11. Solomin V.I., Shmatkov S.B. Ob uchete nelineynykh deformatsiy zhelezobetona i grunta pri raschete kruglykh fundamentnykh plit [On account of non-linear deformations of reinforced concrete and soil at couple circular base plates]. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 1976. No.3. Pp. 36–39. (rus)

- 12. Solomin V.I., Shmatko S.B. *Metody rascheta i optimalnoye proyektirovaniye zhelezobetonnykh fundamentnykh konstruktsiy* [Methods of calculation and optimal design of reinforced concrete foundation structures]. Moscow: Stroyizdat, 1986. 208 p. (rus)
- 13. Solomin V.I., Kopeikin V.S., Shmatkov S.B. Numerical Solution for NonLinear Problems of Relationship between Foundations and Soil Bases. *Proceedings of 3rd International Conference on Numerical Methods in Geomechanics*, Aachen. 2 6 April, 1979. Rotterdam: A.A. Balkema, 1979. Vol. 3. Pp. 1033–1039.
- 14. Shashkin A.G., Shashkin K.G. Raschet fundamentnykh plit v prostranstvennoy postanovke s uchetom nelineynykh deformatsiy osnovaniya [Calculation of base plates in spatial statement, taking into account nonlinear deformation of the base]. *Urban renewal and geotechnical construction*. 2000. No. 3. [Online resource]. Systems requirements: Adobe Reader. URL: http://www.georec.spb.ru/journals/03/20/20.pdf (date accessed: February 7, 2015). (rus)
- 15. Fedorovskiy V.G., Bezvolev S.G. Prognoz osadok fundamentov melkogo zalozheniya i vybor modeli osnovaniya dlya rascheta plit [Forecast sediment shallow foundations and the choice of model for the calculation of the base plates]. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2000. No. 4. Pp. 10–18. (rus)
- 16. Fedorovskiy V.G., Bezvolev S.G., Dunaeva O.M. Metodika rascheta fundamentnykh plit na nelineyno-deformiruyemom vo vremeni osnovanii [Method of calculation the base plates on non-linearly deformed over time based]. Nelineynaya mekhanika gruntov: Tr. IV Ros. konf. s inostr. uchastiyem [Nonlinear soil mechanics: Proceedings IV Russian Conference with with foreign participation]. 1993. Vol. 1. Pp. 81–86. (rus)
- 17. Karpenko N.I. *The theory of deformation of reinforced concrete with cracks* [Theory of deformation the reinforced concrete with cranny]. Moscow: Stroyizdat. 1976. 208 p. (rus)
- 18. Bezvolev S. G. Method of Accounting for the Deformability of an Inhomogeneous Elastoplastic Bed in Analyzing Foundation Slabs. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2002. Vol. 39. No. 5. Pp. 162–170.
- 19. Morgun A.S., Ratushna A.M. Elastic-plastic modeling of a foundation plate geotechnical process. *Scientific Works of Vinnytsia National Technical University*. 2012. No. 1. Pp. 1–5.
- 20. Cerioni R., Mingardi L. Nonlinear analysis of reinforced concrete foundation plates. *Computers & Structures*. 1996. Vol. 61. No. 1. Pp. 87–106.
- 21. Barth C., Margraf E. Untersuchung verschiedener Bodenmodelle zur Berechnung von Fundamentplatten im Rahmen von FEM-Lösungen. *Bautechnik*. 2004. Vol. 81. No. 5. Pp. 337–343.
- 22. Brinkgreve R. B. J. Selection of sil models and parameters for geotechnical engineering application. *Soil Constitutive Models: Evaluation, Selection, and Calibration*. Ed. J.A.Yamamuro, V.N.Kaliakin. American Society of Civil Engineers. 2005. Vol. 128. Pp. 69–98.
- 23. Eskulov S.L. Prognoz i regulirovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya fundamentnykh plit pod reaktornyye otdeleniya i turboagregaty AES na stadii stroitelstva [Forecast and control of stress-strain state-governmental foundation slabs under the reactor compartment and the nuclear power plant turbines under construction]. *Energeticheskoye stroitelstvo*. 1989. No. 9. Pp. 49–51. (rus)
- 24. Alenikov S.M., Ikonin S.V. Controt of foundation shape and loading parameters of preserve uniform settlement. *Communications in numerical methods in engineering*, 1996, Vol. 12. Pp. 445–453.
- 25. Alenikov S.M., Ikonin S.V. Prevention of nonuniform settlement of foundations. *Building research journal*. 1996. Vol. 44. No. 2. Pp. 69–89.
- 26. Belyanichev A.K., Berdichevsky I.A., Klepikov S.N., Klonitsky M.L., Tzekerman D.B., Shenkar A.S. Patent №1216288. USSR. *Fundament zdaniy i sooruzheniy* [The foundation of buildings and structures].; applicant and patentee Kiev branch of the All-Union Order of Lenin and the Order of the October Revolution Research and Design Institute «Atomteploelektroproekt». №3778436 / 29-33; appl. 08/06/84; pub. 3.7.86, Bull. №9. 2 p. (rus)
- 27. Ayvazov R.L. Patent №1814677. SSSR. Sborno-monolithic base plate [Sborno-monolitnaya fundamentnaya plita]. №5019792 / 33; appl. 29/12/91; pub. 5.7.93, Bull. №17. 2 p. (rus)
- 28. Ayvazov R.L. Patent №1814677. USSR. *Fundamentnaya plita* [Base plate]. №5019790 / 33; appl. 29/12/91; pub. 7.2.93, Bull. №5. 6 p. (rus)
- 29. Tarshish V.A., Gordon A.L., Rostovanov V.E., Lavrenov A.N., Marin V.V. Patent №987033. USSR. Fundamentnaya zhelezobetonnaya plita [Reinforced concrete slab foundation]. Applicant and patentee Office of the projection-considerations of civil housing and communal construction "Mosproject-1". №2840936 / 29-33; for-Yaw. 19/11/79; pub. 1.7.83, Bull. №1. 3 p. (rus)
- 30. Sorochan E.A. *Fundamenty promyshlennykh zdaniy* [Foundations of industrial buildings]. Moscow: Stoyizdat, 1986. 303 p. (rus)
- 31. SP 63.13330.2012 Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruktsii. Osnovnyye polozheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIP 52-01-2003 [Set of rules 63.13330.2012 Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Actualized edition Building code 52-01-2003 / Minregion Rossii. Moscow, 2013. 154 p. (rus)