

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ФУНДАМЕНТЫ ИЗ ПЕРЕКРЁСТНЫХ БАЛОК В СЛОЖНЫХ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ

Семенюк С.Д.

Белорусско-Российский университет
г. Могилёв, Республика Беларусь

АНОТАЦІЯ: Залізобетонні фундаменти розглядаються як система перехресних балок на клиновидній основі. Статичний розрахунок таких систем з урахуванням крутіння у вузлах реалізується змішаним методом будівельної механіки, що синтезує спосіб Б. Н. Жемочкіна та метод В. Рітца. Наведено конструкційно-технологічні рішення при зведенні збірно-монолітного фундаменту.

АННОТАЦИЯ: Железобетонные фундаменты рассматриваются как система перекрестных балок на клиновидном основании. Статический расчет таких систем с учетом кручения в узлах реализуется смешанным методом строительной механики, синтезирующим способ Б.Н. Жемочкина и метод В. Ритца. Даны конструкционно-технологические решения при возведении сборно-монолитного фундамента.

ABSTRACT: Concrete foundations are treated as system cross-beams on wedge-shaped base. Static calculation of such systems, taking into account the torsion in the nodes is implemented by mixed method of structural mechanics, synthesizing method of B.N. Zemochkin and V. Ritz method. The constructive-technological solutions in the construction of prefabricated-monolithic foundations is given.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железобетон, перекрёстные балки, кручение, статический расчёт, расчётная модель, функция Грина, клиновидное основание.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Обеспечение безотказной работы конструкций зданий и сооружений — одна из важнейших проблем строительной науки. Поиск рациональных

решений, обеспечивающих повышение надежности и качества объектов строительства при минимальном использовании ресурсов на их возведение, является концептуальной стратегией современного строительства Республики Беларусь, ближнего и дальнего зарубежья. Реализация этой стратегии находится в прямой зависимости не только от правильного учета данных о конструктивных особенностях сооружения, но и адекватного отражения особенностей поведения грунтового основания, воспринимающего нагрузку и работающего совместно со строительным сооружением.

АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Неравномерные деформации основания, возникающие при воздействии и эксплуатации здания в сложных грунтовых условиях, следует считать одним из основных факторов, влияющих на их несущую способность, деформативность и долговечность. К категории сложных грунтовых условий относят территории, где в результате развития деформационных или динамических процессов в грунтах возникает опасность повреждения или разрушения зданий и сооружений. [1] К территориям со сложными грунтовыми условиями относятся: 1. Площади земной поверхности, где залегают структурно неустойчивые лессовые грунты. 2. Площади затопления и подтопления. 3. Карстовые территории. 4. Суффозионно-опасные территории. 5. Площади оседания земной поверхности, обусловленного дренированием. 6. Участки береговой абразии. 7. Площади залегания набухающих и слабосвязных грунтов с модулем деформаций менее 5 МПа. 8. Подрабатываемые территории. 9. Сейсмоопасные территории. 10. Оползневые территории. 11. Городские территории, подверженные техногенным воздействиям.

Примеры деформаций зданий и сооружений, вызванных недооценкой сложных грунтовых условий строительства, приведены в многочисленных публикациях отечественных и зарубежных авторов [2 - 4]. При анализе этих примеров обнаруживается соответствие форм деформаций зданий и сооружений, построенных в разнообразных условиях. Независимо от причин, приводящих к деформациям оснований (мульды оседаний, уступы, провальные и просадочные воронки, локальные суффозионные осадки и просадки), все виды воздействий со стороны оснований на здание сводятся к неравномерным перемещениям оснований. Следствием этих явлений являются наблюдаемые крены сооружений, различные формы деформаций изгиба, сдвига и кручения или их сочетания [5].

КОНСТРУКЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СБОРНО-МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ФУНДАМЕНТА

Для обеспечения безотказной работы при эксплуатации и предотвращения аварий зданий и сооружений, возводимых на неравномерно деформированном основании, предложена специальная конструкция фундаментно-подвальной части здания в сборно-монолитном железобетоне [6]. Конструкция состоит из нижнего монолитного железобетонного пояса; цокольной части из блоков стен подвалов с образованием между ними монолитных вертикальных связей в местах пересечения стен и в углах здания; верхнего сборного железобетонного пояса с горизонтальными арматурными выпусками, совпадающими в плане с вертикальными связями. Вертикальные арматурные выпуски нижнего пояса заводят через полости для монолитных вертикальных связей в зазоры между блоками верхнего пояса, которые замоноличивают после возведения надфундаментной части здания. Нижний пояс опирается на опорную ленту из фундаментных подушек или может быть соединен с фундаментом в монолите как единое целое. Вертикальными связями блоки цокольной части обжимаются между нижним и верхним железобетонными поясами, в результате чего при работе конструкции фундаментов на изгиб исключена возможность сдвига блоков. Равномерное обжатие блоков цокольной части способствует совместной работе опорной ленты, нижнего и верхнего железобетонных поясов, блоков цокольной части и вертикальных связей, что обеспечивает повышение жесткости здания. Фрагмент сборно-монолитного фундамента показан на рис. 1.

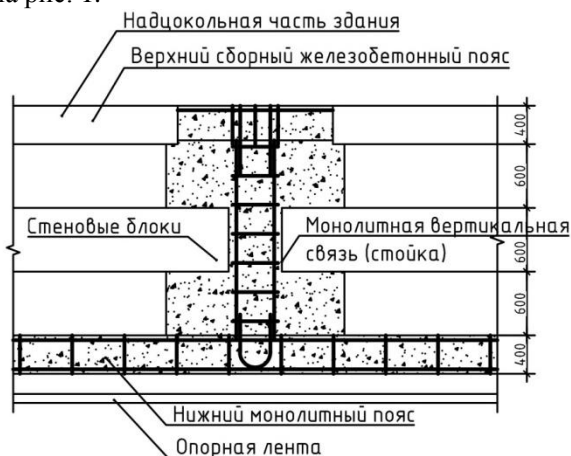


Рис. 1. Фрагмент сборно-монолитного фундамента

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N \delta_{ik} X_k + U_0 + \varphi_{ox} Y_i + \varphi_{oy} X_i + \Delta_{ip} = 0 \\ -\sum_{k=1}^N X_k y_k + M_{px} = 0 \\ -\sum_{k=1}^N X_k x_k + M_{py} = 0 \\ -\sum_{k=1}^N X_k + R = 0, \end{array} \right. \quad (1)$$

где δ_{ik} – взаимное вертикальное перемещение концов i -ой разрезанной связи Б.Н. Жемочкина от единичных сил, приложенных к связи с номером k основной системе;

Δ_{ip} – прогиб центра участка с номером i основной системы от внешней нагрузки;

$U_0, \varphi_{ox}, \varphi_{oy}$ – линейное и угловые перемещения введенного защемления на краю основной системы;

X_i – усилие в связи Б.Н. Жемочкина с номером i ;

R, M_{px}, M_{py} – равнодействующая внешних сил, приложенных к системе перекрестных балок, и моменты равнодействующей относительно осей OX и OY ;

N – число участков Б.Н. Жемочкина на системе перекрестных балок.

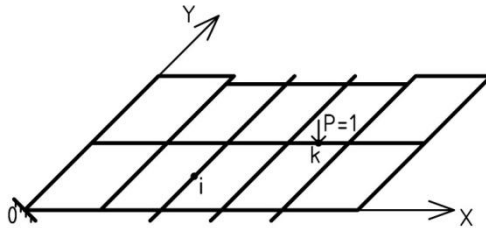


Рис. 3. К расчёту системы перекрёстных балок смешанным методом

Коэффициенты при неизвестных усилиях в связях Б.Н. Жемочкина δ_{ik} зависят от осадок упругого основания W_{ik} и прогибов основной системы (рис. 3) Z_{ik} и равны:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{ik} = W_{ik} + Z_{ik} \\ W_{ik} = \frac{1 - \nu_0^2}{\pi E_0 h} (F_{ik}^0 + F_{ik}^1) \end{array} \right. \quad (2)$$

где W_{ik} – перемещение центра участка Б.Н. Жемочкина с номером i на поверхности упругого основания от действия единичной силы, распределенной по участку с номером k ;

E_0 , U_0 , h — модуль деформации, коэффициент Пуассона и линейный размер (например, толщина слоя) для упругого основания.

В (2) F_{ik}^0 характеризует осадку упругого однородного изотропного полупространства, а F_{ik}^1 корректирует F_{ik}^0 для данной модели упругого основания.

ФУНКЦИЯ ГРИНА ДЛЯ УПРУГОГО КЛИНОВИДНОГО ОСНОВАНИЯ

Как показано в [5], вертикальные перемещения нагруженной грани упругого пространственного клина от действия нормальной сосредоточенной силы с достаточной инженерной точностью в цилиндрической системе координат определяются выражением

$$V_{(r,z)} = \frac{P(1 - \nu_0^2)}{2\pi E_0 \sqrt{ar}} \int_0^\infty L(\alpha, \tau) P_{\frac{1}{2} + i\tau} (ch\mu) d\tau. \quad (3)$$

Выражение для осадок поверхности упругого клиновидного основания получено в следующем виде:

$$V_{(r,z)} = \frac{P(1 - \nu_0^2)}{\pi E} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{A_0}{2R_2} \right), \quad (4)$$

$$A_0 = \pi \frac{4\alpha + \sin 4\alpha}{4\alpha^2 - \sin^2 2\alpha}, \quad (5)$$

$$R_1 = \sqrt{(a - r)^2 + z^2}, \quad (6)$$

$$R_2 = \sqrt{(a + r)^2 + z^2}. \quad (7)$$

В полученной формуле (4) первое слагаемое представляет решение Я. Буссинеска для упругого однородного изотропного полупространства.

ФУНКЦИЯ ГРИНА ДЛЯ СИСТЕМЫ ПЕРЕКРЕСТНЫХ БАЛОК С ЗАЩЕМЛЕННОЙ ТОЧКОЙ

Определение прогибов Z_{ik} основной системы под действием сосредоточенной вертикальной единичной силы (функция Грина) представляет сложную задачу. Эту задачу предлагается решать следующим образом.

Известно, что прогибы прямолинейного стержня с защемлением в начале координат под действием сосредоточенной силы описываются дифференциальным уравнением.

$$\frac{d^4 z}{dx^4} = 0, \quad (8)$$

то есть кубической параболой. На основании этого для рассматриваемой расчетной системы с учетом кинематических граничных условий в начале координат, учитывая кручение, задаемся функцией Грина в виде тринадцатичленного полинома

$$Z_{(x,y)} = a_{11y} x + a_{20a^2} x^2 + a_{30a^3} x^3 + a_{21a^2b} x^2 y + a_{31a^3b} x^3 y + a_{22a^2b^2} x^2 y^2 + a_{32a^3b^2} x^3 y^2 + a_{02b^2} y^2 + a_{03b^3} y^3 + a_{12ab^2} xy^2 + a_{13ab^3} xy^3 + a_{23a^2b^3} x^2 y^3 + a_{33a^3b^3} x^3 y^3, \quad (9)$$

где a, b – характерные размеры системы перекрестных балок;
 a_{ik} – неизвестные коэффициенты.

Постоянные a_{ik} (8) определяем методом Ритца. Функционал полной энергии системы перекрестных балок с защемленной точкой под действием единичной силы, приложенной к точке с координатами x_p и y_p , имеет вид

$$\begin{aligned} & \mathcal{E} = \sum_{i=1}^N \int_0^{l_i} EJ_i \frac{d^2 z(x, y_i)}{dx^2} dx + \sum_{k=1}^M \int_0^{l_k} EJ_k \frac{d^2 z(x_k, y)}{dy^2} dy + \sum_{i=1}^N \int_0^{l_i} GT_i \frac{d^2 z(x, y_i)}{dx dy} dx + \\ & + \sum_{k=1}^M \int_0^{l_k} GT_k \frac{d^2 z(x_k, y)}{dx dy} dy - Z(x_p, y_p), \end{aligned} \quad (10)$$

где $l_i, l_k, EJ_i, GT_i, GT_k$ – длины, изгибная и крутильная жесткости стержней, образующих систему перекрестных балок.

N, M – число стержней, параллельных осям OX и OY соответственно.

В (10) суммирование распространяется по всем стержням системы, параллельным соответствующим осям координат. После вычисления функционала (10) дифференцированием полученного выражения по каждому из неизвестных a_{ik} получаем систему линейных алгебраических уравнений 13 порядка, решение которой позволяет определить функцию Грина для системы перекрестных балок с защемленной точкой.

ПРОЧНОСТЬ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СЕЧЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ФУНДАМЕНТОВ

В [7, 8] приведены основы расчёта пространственных сечений фундаментов с учётом упругопластической работы бетона и арматуры.

А. При действии на балку крутящих и изгибающих моментов:

$$T_x \left(\frac{C_1}{b} + \frac{1}{\chi} \right) \leq f_{yd} \cdot A_{st} \cdot Z + f_{ywd} \cdot A_{sw} \cdot \frac{Z}{s} \cdot \frac{C_1^2}{2h+b} + \sigma_{sc} A_{sc} y_{ит.} - c' , \quad (11)$$

где $\chi = \frac{T_x}{M_y}$; $Z = d - \frac{x \lambda^2 + \lambda + 1}{3 \lambda + 1}$; $y_{ит.} = d - Z - c'$; $\lambda = 0,93 - 0,014f_{cd}$

Высоту сжатой зоны “x” определим из уравнения проекций всех сил, действующих в рассматриваемом пространственном сечении на нормаль к плоскости сжатой зоны:

$$0,5f_{cd} x C_1^2 + b^2 (1 + \lambda) = b \left(f_{yd} A_{st} - \sigma_{sc} A_{sc} + q_{sw} \frac{C_1^2}{2h+b} \right), \quad (12)$$

где $q_{sw} = \frac{f_{ywd} \cdot a_{sw}}{s}$

В первом приближении высоту сжатой зоны можно определять из уравнения

$$A_1 x^2 \sin^2 \alpha + A_2 x \sin^2 \alpha + A_3 = 0 \quad (13)$$

где

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= 0,5 (1 - \lambda^2) b \sin \alpha; \\ A_2 &= A_s \left[\alpha - 1 - \lambda \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \right]; \\ A_3 &= -\alpha A_s c'; \\ \alpha &= \frac{E_s}{E_c}. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Б. При действии на балку крутящего момента и поперечной силы:

$$T_x \frac{C_2}{h} \left(1 + \frac{1}{k} \right) \leq \left(f_{yt} \cdot A_{st} + f_{ywd} \cdot \frac{a_{sw}}{s} \cdot \frac{C_2^2}{2h+b} \right) Z, \quad (15)$$

$$\text{где } k = \frac{2T_x}{V_z b}; Z = b_0 - \frac{x \lambda^2 + \lambda + 1}{3 \lambda + 1}; \lambda = 0,93 - 0,014f_{cd},$$

здесь: T_x - крутящий момент; Y_z - и поперечная сила относительно центра тяжести сжатой зоны рассчитываемого сечения; A_s - площадь всех продольных стержней, расположенных у грани h , растянутой от изгиба; a_{sw} - площадь сечения одной ветви хомута; S - расстояние между хомутами.

Высота сжатой зоны определяется из уравнения

$$0,5f_{cd} x (1 + \lambda) C_2^2 + h^2 = \left(f_{yt} \cdot A_{st} + f_{ywd} \cdot \frac{a_{sw}}{S} \cdot \frac{C_2^2}{2h + b} \right) h. \quad (16)$$

Как и в предыдущем случае необходима проверка $T_x \leq 0,1f_{cd} b^2 h$.

В случаях, когда соблюдается условие

$$T_x \leq \frac{1}{6} f_{ct} b^2 (3h - b), \quad (17)$$

поперечную арматуру у граней “ b ” ставят конструктивно; расчет на совместное действие крутящего и изгибающего моментов заменяется расчетом на изгиб нормальных сечений без учета кручения; расчет на кручение ограничивается проверкой по формулам (16), (17) для случая совместного действия крутящего момента и поперечной силы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используя комплексный подход, объединивший расчётные положения теории линейно-деформированной среды и данные экспериментальных исследований, автором предложен теоретический и практический методы расчётов железобетонных фундаментов из перекрёстных балок с жёсткими сопряжениями в узлах, позволяющий в любом месте контакта подошвы фундамента и основания численно определить перемещение, реактивный отпор основания, значения изгибающих моментов, поперечных сил и крутящих моментов. Учитывая упруго-пластическую работу бетона предложена методика расчёта пространственных сечений железобетонных фундаментных балок.

Реализация метода расчёта осуществлена при проектировании и возведении фундаментно-подвальной части жилого дома серии 121 в г. Теплогорске, а также при проверке пространственных сечений фундаментов под бумагоделательную машину производительностью 30000 т/год в г. Шклове Могилёвской области в 2015 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черный Г.И. Геотехнические процессы в сложных грунтовых условиях Украины / Черный Г.И., Черный В.Г. // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. - К.: НДІБК, 2000. - Вип. 53 - С. 4-9.
2. Клепиков С.Н. Проблемы механики грунтов на подрабатываемых территориях / С.Н. Клепиков, А.В. Мышкин // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 1984. - Нев. - С. 3-5.
3. Лучковский И.Я. Расчёт железобетонных конструкций и сооружений с учётом нелинейности их взаимодействия с основанием: Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук. - Харьков, 2000. – 34 с.
4. Чарнавский Г. Расчёт сейсмических реакций железобетонных конструкций заглубленных в грунт. Автореферат диссертации на соискание учёной степени канд. техн. наук. - Брест, 2002. - 17с.
5. Семенюк С.Д. Монолитные и сборно-монолитные фундаменты, как система перекрёстных балок в сложных грунтовых условиях / Семенюк С.Д. // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. - К.: НДІБК, 2013. - №78 - С. 434-443.
6. Семенюк С.Д. Железобетонные пространственные фундаменты жилых и гражданских зданий на неравномерно деформированном основании: монография / С.Д. Семенюк. - Могилёв: Белорусско-Российский университет, 2003. – 269 с.
7. Семенюк С.Д. Теоретические основы расчёта железобетонных фундаментов как системы перекрёстных балок на неравномерно деформированном основании / Семенюк С.Д. // Строительство - формирование среды жизнедеятельности. - Москва: МГСУ, 2003.- С. 203-215.
8. Семенюк С.Д. Расчёт сечений железобетонных пространственных систем фундаментов жилых и гражданских зданий, подверженных внезапным деформациям основания / Семенюк С.Д. // Зб. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. - Вип. 15.- Рівне.- НУВГП, 2007. - С. 329-342.

REFERENCES

1. Cherny G.I. Geotechnical processes in complex ground conditions of Ukraine / Cherny G.I., Cherny V.G. // Building constructions: collection of scientific works. - K.: NDIBK, 2000. - Issue 53. - P. 4-9.
2. Klepikov S.N. Problems of soil mechanics on undermined territories / S.N. Klepikov, A.V. Myschkin // Foundation, bases and soil mechanics. - 1984. -Nev. - P. 3-5.
3. Luchkovsky I.I. Calculation of reinforced concrete constructions and structures with consideration of non-linearity of their interaction in the ground. The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of technical sciences. - Kharkiv, 2000. – 34 p.

4. Charnavski G. Calculation of seismic responses of reinforced concrete structures buried into the ground. The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate tech. sciences. - Brest, 2002. – 17 p.
5. Semeniuk S.D. Monolithic and prefabricated monolithic foundations as cross beams in complex ground conditions / Semeniuk S.D. // Building constructions: collection of scientific works. - K.: NDIBC, 2013. – Vol. 78- P. 434-443.
6. Semeniuk S.D. Concrete spatial foundations of residential and civic buildings on the uneven deformed base: monograph / S.D. Semeniuk. - Mogilev: Belarusian-Russian University, 2003. – 269 p.
7. Semeniuk S.D. Theoretical bases of calculation of reinforced concrete foundations as cross beams on the uneven deformed base / Semeniuk S.D. // Construction is a forming environment. - Moscow: MSBU, 2003. - P. 203-215.
8. S.D. Semeniuk. Calculation of sections of reinforced concrete spatial systems foundations residential and civic buildings, prone to sudden deformations of grounds / Semeniuk S.D. // Economy materials, constructions, buildings and structures. - Issue 15. - Rivne. - NUWNU, 2007. - P. 329-342.

Статья поступила в редакцию 12.08.2017 г.