

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА
НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ ВИНКЛЕРОВСКОГО ТИПА

Ластовка А.В., Данченко Т.В. Клиндух Н.Ю. Берсенева М.Л.
Сибирский федеральный университет
Красноярск, Россия

METHODS OF CALCULATING THE BELT FOUNDATION ON THE ELASTIC GROUND BASE OF
VINKLEROVSKY TYPE

Lastovka A.V. ² [0000-0003-0751-1631], Danchenko T.V. ¹ [0000-0002-8146-6608], Klinduh N.Yu. ¹ [0000-0003-4037-7999], Berseneva M. L. ⁵ [0000-0002-9831-7019]

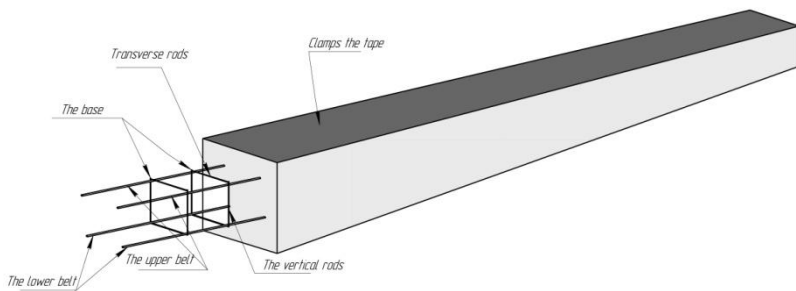
1,2,3,4,5 Siberian Federal University, 660041, Krasnoyarsk Territory, Krasnoyarsk city, 79 Svobodny Avenue, Russia

Abstract: Strip foundations on an elastic soil foundation and on a Winkler-type elastic foundation were used in the construction of buildings and structures from the most common types of shallow foundations. The article presents the results of studies related to the analysis of the features of the formation of structural solutions of strip foundations. It was found that various aspects associated with the development of multifactor mathematical models that determine the design parameters and modern regulatory requirements, provide conditions for not exceeding the limiting conditions of structures and soil base. What improves the functional quality indicators of strip foundations. Based on the results of the study, the need to study the possibilities of using strip foundations (beams on an elastic base) was identified, and the main provisions of the model of a Winkler-type soil base (with one, two and three bed coefficients) were considered. An algorithm is developed for determining the initial parameters and numerical solution of boundary value problems. The prospects of a shallow foundation model with a variable cross section or a beam of finite length with variable stiffness, which is accepted as one of the options for modifying a typical structural solution of a strip foundation, are shown. The scientific novelty is that after the experimental (laboratory and field) studies, the main drawback of the Winkler model is revealed. This is revealed under the condition (with a single bed coefficient), as an objective inadequacy of the display of the real state, with which the structures of the strip foundation and the underlying soil base interact. To correct the flaws of the model, a number of its modifications were developed - with two or three bed coefficients. The theoretical significance of the work lies in the fact that the calculations of strip foundations are designed and focused on the use of models using the main influence parameters and the mathematical apparatus, which allows reducing the research results to a form suitable for engineering practice (for example, tables and coefficients). The practical significance of the work lies in the fact that the results can be used to solve various classes of mechanics problems, including problems associated with determining the parameters of the stress-strain state of beams on an elastic base. The authors are sure that the studies related to the Winkler model have not lost their relevance in modern construction, which offers various types of foundations.

Keywords: constructive solutions of shallow foundations, Winkler model with one or more bed coefficients, strip foundation, beam on an elastic foundation, algorithmization of the initial parameters method, beam of variable stiffness

Введение

Винклеровская модель упругого основания - наиболее упрощенная модель, учитывающая совместную работу надземной конструкции и упругого основания (рис. 1, а, б).



а (разработано автором)



б (разработано designbyhand.ru)

Рис.1 Ленточные фундаменты

Любое строительство начинается с фундамента. Это один из важных моментов возведения здания или сооружения. Все нагрузки от вышележащих конструкций он воспринимает и передает их на основание фундамента, кроме передающих нагрузок должен соответствовать требованиям долговечности надежности и быть экономически обоснованным. Упругое основание — грунт, на котором располагается фундамент. Физические свойства грунтов определяются большим числом параметров. При расчете упругое основание заменяется упрощенной расчетной моделью. Наиболее распространенная модель, из всех предложенных это пропорциональность между приложенной в данной точке поверхности основания нагрузкой и осадкой этой же точки упругого основания. Существенные различия между моделями, в каждом конкретном случае, состоит в распределении реакций, возникающих между фундаментом и основанием.

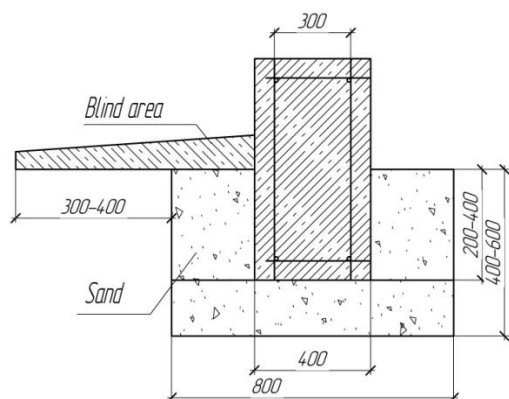
Особенности конструктивных решений ленточных фундаментов

Конструктивное решение фундамента принимается на основании результатов анализа соответствующей расчетной (математической) модели, в составе которой предусматривается использование следующих основных групп факторов СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. СНиП 2.02.01-83* Актуализированная редакция. — М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, Приказ № 970 от 16.12.2010. 2016. — 206 с.

*инженерно-геологические и гидрогеологические условия района расположения (строительной площадки);

- особенности конструктивной схемы строительного объекта;
- расчетные сочетания (величины и характер действующих нагрузок);
- возможности местных подрядных (строительных) организаций и предприятий строительной индустрии;
- условия минимизации расходов строительных материалов, необходимых для устройства фундаментов;
- расчетных ограничений на напряженное состояние конструкции, контактных давлений, прогибов и неравномерности осадки;
- требований эксплуатационной надежности и функциональной эффективности.

Мелкозаглубленный ленточный фундамент



Фундаменты мелкого заложения эффективны лишь в случаях, когда грунт на строительном участке не относится к категории пучинистых, а также при условии низкого уровня грунтовых вод (в противном случае лучше использовать свайный). Само собой разумеется, если возводить основание дома на нестойком грунте, а также грунте, который зимой неравномерно поднимется, то ленточный фундамент (как бы хорошо он не был армирован) треснет, что приведет к разрушению здания, которое на нем возведено. На таких фундаментах рекомендуется возводить легкие конструкции домов. Кирпичные двухэтажные коттеджи можно строить только при условии непучинистого грунта на участке.

Рис.2 Мелкозаглубленный ленточный фундамент (разработано автором)

Ленточные фундаменты в типологическом отношении относятся к группе «фундаментов мелкого заложения» и применяются для передачи нагрузки (расчетного сочетания нагрузки) от вертикальных несущих конструктивных элементов (несущих и/или самонесущих стен) бескаркасной конструктивной системы или рядов колонн бескаркасной конструктивной системы [3,4]. Конструктивные решения ленточных фундаментов из сборных железобетонных блоков-подушек (в формате: сплошных, ребристых и пустотелых) плит и бетонных стеновых блоков допускают укладку на грунтовое основание непрерывным (сплошная лента) и прерывистым (с устройством зазоров между смежными плитами) способами. Конструктивные решения ленточных фундаментов из монолитных железобетонных плит и стен допускают укладку на грунтовое основание исключительно непрерывным (сплошная лента) способом.

Армирование ленточных фундаментов производится с использованием стержневой арматуры периодического профиля: в условиях заводского изготовления (для ленточных фундаментов из сборного железобетона) или в условиях строительной площадки (для ленточных фундаментов из монолитного железобетона).

Конструктивные решения ленточных фундаментов (как в сборном, так и в монолитном форматах исполнения) принимаются, исходя из условий не превышения их предельных состояний [2,4].

Нагрузка (точнее, расчетное сочетание нагрузок), приложенная к конструкции фундамента не должна превышать усилий и деформаций в ленточном фундаменте, а также превышать несущую способность (или силу предельного сопротивления) грунтового основания.

Разработка конструктивных решений рассматриваемого вида фундамента мелкого заложения подразумевает оценку совместной работы ленточного фундамента и грунтового основания, с учетом особенностей принятой к рассмотрению модели грунтового основания.

Характеристика модели грунтового основания винклеровского типа

Моделирование представляет собой современный метод, изучения особенностей поведения проектируемого объекта исследований по некоторым, ключевым особенностям. Для практического применения метода предусматривается формирование такого объекта исследований – модели, которая по своим показателям полностью или с достаточной степенью допущений соответствует особенностям реального объекта.

Характеристика показателей напряженно-деформированного состояния грунтового основания является сложной задачей, поэтому для упрощения ее решения (для практической деятельности) разработано несколько математических моделей [2,3,17].

Одной из наиболее простых моделей поведения грунтового основания, предназначенную для решения широкого круга задач, принято считать одноконстантную модель местных упругих деформаций грунтового основания (модель Винклера) [5,6].

В рассматриваемой математической модели принято положение о том, что осадка некоторой точки грунтового основания пропорциональна давлению в этой точке:

$$p(x) = K_{\Pi} \cdot W(x). \quad (1)$$

где: K_{Π} — коэффициент пропорциональности (постоянный коэффициент, характеризующий жесткость основания), который принято называть коэффициентом постели грунтового основания (кПа/м).

Под характеристикой $p(x)$ в расчетной зависимости (1) предполагается обобщенная величина нагрузки (сосредоточенной силы, изгибающего момента, распределённого по линии давления), а под характеристикой $W(x)$ подразумевается обобщенная величина деформации (линейного перемещения, поворота).

Коэффициент постели (в расчетной зависимости (1)) характеризует жесткость «пружинки», расположенной в каждой точке ленточного фундамента. Деформации «пружинки» (расположенных равномерно по длине ленточного фундамента) происходят независимо друг от друга, следовательно, модель не учитывает распределительную способность грунта, в том числе, и за пределами площади контакта фундамента с грунтовым основанием.

Определение расчетных значений производится с использованием лабораторных исследований (с последующей корректировкой при помощи установленных корреляционных коэффициентов) или полевых испытаний грунтов основания на сжимаемость.

Экспериментальные (лабораторные и полевые) исследования показывают, что наилучшим образом модель Винклера отображает напряженно-деформированное состояние грунтового основания. Основание состоит из слабых (илистых, торфяных) видов грунтов и мелкозернистых водонасыщенные песков. При наличии грунтового основания, представленного связными грунтами, модель Винклера значительно искажает реальные показатели состояния и работы конструкции фундамента на грунтовом основании [3,5,18].

Главным недостатком модели Винклера (с одним коэффициентом постели) является объективная неадекватность отображения реального состояния, с которым взаимодействуют конструкции ленточного фундамента и подстилающего грунтового основания.

Для исправления недостатков модели было разработано некоторое количество ее модификаций — с двумя или тремя коэффициентами постели. В отечественной практике наиболее распространена модель Пастернака с двумя коэффициентами постели. Модель винклеровского основания с дополнительными (более одного) коэффициентами постели позволяет учесть действие: как нормальных, так и касательных напряжений, действующих по подошве фундамента [7].

Рассмотренные модели грунтового основания (с одним, двумя и тремя коэффициентами постели) характеризуют деформированное состояние посредством линейных деформаций (перемещений) исключительно на участках приложения нагрузки и не дают информации о распределении напряжений и деформаций в массиве грунтового основания. Данное обстоятельство означает отсутствие возможностей для корректного учета структуры (напластования грунтов с различными физико-механическими характеристиками) и неравномерности отпора грунтового основания по всей площади контакта с плитой (подошвой) фундамента.

Теория расчета балок (ленточных фундаментов) на упругом основании с применением метода начальных параметров

Традиционные или аналитические методы расчета ленточных фундаментов разработаны и ориентированы на применение моделей и методов расчета фундаментов с использованием основных параметров влияния и математического аппарата, позволяющего сводить результаты исследований к виду, пригодному для инженерной практики (например, таблиц и коэффициентов).

Расчетно-теоретическая модель взаимодействия конструкции ленточного фундамента, расположенного на сплошном грунтовом основании может быть составлена и рассмотрена с учетом гипотезы (теоретических положений) работы балки на упругом основании.

Под упругим (винклеровским) основанием подразумевается такое основание балки (конструкции фундамента), которое деформируется под действием расчетного сочетания приложенной нагрузки и при этом оказывает упругое противодействие деформации (прогибу) основания [3,8].

Метод начальных параметров получил широкое распространение для решения различных классов задач механики, включая задачи, связанные с определением параметров напряженно-деформированного состояния балок на упругом основании [9].

Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки (ленточного фундамента) на упругом основании представляется в виде [8,9]:

$$EJ \frac{d^4 W}{dx^4} + K_{\Pi} \cdot W(x) = p(x) \quad (2)$$

где: K_{Π} — коэффициент постели

Основной особенностью аналитической интерпретации метода начальных параметров является возможность анализа параметров напряженно-деформированного состояния балки на упругом основании (при любом из возможных видов приложения нагрузки и граничных условий закрепления балки) по двум известным параметрам (из четырех возможных: прогиб, угол наклона, изгибающий момент и поперечная сила), которые характеризуют поведение изогнутой оси балки.

На Рисунке 3 представлен один из возможных вариантов теоретической модели балки (ленточного фундамента) на упругом основании винклеровского типа.

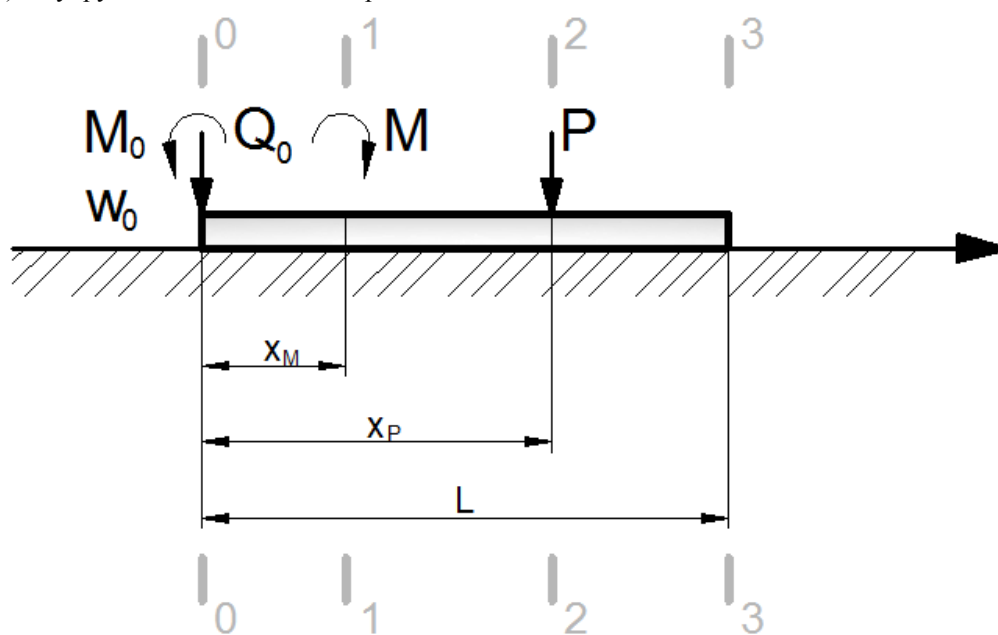


Рисунок 3 – Расчетная схема ленточного фундамента в формате (модели) балки конечной длины на упругом (винклеровским) основании, загруженной: прогибом, углом поворота, изгибающим моментом, сосредоточенной силой (разработано автором)

Известные начальные параметры (в некотором, произвольном сечении балки, которое принимается за начало координат) являются граничными условиями, а для оставшихся неизвестных параметров производится формирование и решение системы линейных уравнений.

В основе метода начальных параметров лежит аналитическое решение (определение неизвестных параметров) в виде степенного ряда. Вместе с тем, рассматриваемый метод доступен для алгоритмизации и численного моделирования решением краевой задачи.

Заключение

Таким образом, следует отметить ленточные фундамента на упругом основании винклеровского типа, получили применение при строительстве зданий и сооружений среди наиболее распространенных видов фундаментов мелкого заложения. Предложена методика расчета ленточных фундаментов на сложном упругом основании (с несколькими коэффициентами постели) винклеровского типа. Методика предполагает выполнение матричных расчетов, которые не сложно провести при помощи компьютерных программ. Внедрение. Использована предложенная методика для расчета подземного сооружения на промышленном предприятии. Методика позволяет учитывать более полно фактическую работу фундаментной конструкции, расположенной на упругом основании винклеровского типа. Теоретический экономический эффект от внедрения предложенной методики достигает тридцати пяти процентов за счет экономии строительных материалов. Для завершения внедрения и подтверждения предполагаемого эффекта требуется построить

сооружение и провести полные испытания. Теперь о преимуществах, ленточный мелкозаглубленный фундамент – экономичное решение. Если сравнивать его с заглубленными видами, то он обходится в 2-3 раза дешевле. Он предполагает существенно меньший фронт работ, нежели заглубленный фундамент. Сюда можно отнести и относительно скромный объем земляных работ, и трудоемкость обустройства опалубки, и целый ряд других особенностей. По этой же причине такое решение позволяет существенно сократить сроки строительства дома.

Bibliographic list

1. Lastovka A.V. Methods for calculating the strip foundation on an elastic soil foundation / Lastovka A.V., Danchenko T.V., Klindukh N.Yu., Berseneva M.L. Herald of the Eurasian Science, 2019 No. 3 (May-June), Volume 11 Engineering
2. Karnilov D.A., Litikov A.P., Mumortsev A.N. Oscillations of an array located on an elastic foundation (Winkler model) // Engineering Bulletin of the Don. 2014. - No. 4. - S. 1-10.
3. Matrosov A.V., Shirunov G.N. The superposition method in solving the problem of elastic isotropic parallelepiped // Bulletin of the St. Petersburg University. Series 10. 2015. Issue 2. 77-90.
4. Lodygina ND, Sharapov RV Features of calculating the foundations of structures in karst territories // Bulletin of the Tambov University. Series: Natural and Technical Sciences. - 2014. - No. 5, t. 19. - S. 1439-1441.
5. Glukhov V.S., Khryanina O.V., Glukhova S.V. Strengthening the foundations during the reconstruction of an industrial building // Modern Scientific Research and Innovation. 2016. No. 12.
6. Kraev A.N. The rationale for the use of sand reinforced cushions in weak clay soils under strip foundations: abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences: 05.23.02 / Kraev Andrey Nikolaevich. - Tyumen: 2014. -- 23 p.
7. Naumkina Yu. V. Reinforcement of strip foundations with conversion to a continuous slab of variable stiffness with prestressing of the soil base: abstract of diss. ... cand. tech. Sciences: 05.23.02 / Naumkina Yuliya Vladimirovna. - Tyumen, 2014 - 24 p.
8. Dyba V.P. The ultimate resistance of the soil base. Problems of water and land management // Materials of the Intern. scientific Forum / RSAU-ICCA. - M., 2015. -- Part 3. - 278 p.
9. Matvienko M.P., Dyba V.P., Al Yekabi Haki Hadi Abbud. An experiment to test a new methodology for calculating flexible reinforced concrete foundations for bearing capacity // Izv. universities. North Caucasus region. Tech. Sciences. - 2015. - No. 3. - P. 80–84.
10. Jha S. Reliability-Based Analysis of Bearing Capacity of Strip Footings Considering Anisotropic Correlation of Spatially Varying Undrained Shear Strength / S. Jha // International Journal of Geomechanics. 2016. No.16 (1). P 1532-3641.
11. Sychova A., Solomahin A., Hitrov A. The Increase of the Durability and Geoprotective Properties of the Railway. Subgrade Transportation Geotechnics and Geoecology, TGG 2017 // Procedia Engineering. 2017. Vol. 189. Rr. 688–694. “This text is apparently deleted”
12. A New Railway Tunnel Deformation Monitoring System using FBG Bending Gauges / Chao Zhang [et al.] // The 2017 World Congress on (ASEM17), Seoul, Korea. - 2017
13. Visual change detection on tunnel linings / S. Stent [et al.] // Machine Vision and Applications. - 2016. - Vol. 27. - Issue 3. - P. 319-330.
14. Wireless Multimedia Sensor Network Based Subway Tunnel Crack Detection Method / Bo Shen [et al.] // Hindawi Publishing Corporation International Journal of Distributed Sensor Networks. - 2015. - Vol. eleven.
15. Rui Malva. The Inspection, Monitoring and Diagnosis of Tunnels // Proceedings of the World Tunnel Congress 2014 - Tunnels for a better Life. - Foz do Iguaçu, Brazil.
16. Zarakovskaya K.I., Zakharov V.F. Experimental condition diagrams of concrete of composite reinforced concrete bars with high-strength reinforcement after lengthy tests. Herald of the Eurasian Science, 2018 No. 4 <https://esj.today/PDF/33SAVN418>. Zagl. from the screen. Yaz. Russian, English
17. Gareeva N.B., Rezvova V.P., Tuigunova A.R. Designing the foundations of reservoir foundations using static sensing data // Bulletin of Eurasian Science, 2019 No. 2, <https://esj.today/PDF/68SAVN219.pdf> (free access). Zagl. from the screen. Yaz. Russian, English
18. T. V. Danchenko, P. Y. Veda, E. V. Teselkin Foundation base building / Sat. articles I International scientific - practical conference "Modern science: problems and prospects", Stavropol, 2017. - S. 17-22