

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2019, №3, Том 11 / 2019, No 3, Vol 11 <https://esj.today/issue-3-2019.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/58SAVN319.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Ластовка А.В., Данченко Т.В., Клиндух Н.Ю., Берсенева М.Л. Методы расчета ленточного фундамента на упругом грунтовом основании // Вестник Евразийской науки, 2019 №3, <https://esj.today/PDF/58SAVN319.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Lastivka, A.V., Danchenko T.V., Klinduh N.Yu., Berseneva M.L. (2019). Methods of calculating the belt foundation on the elastic ground base. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(11). Available at: <https://esj.today/PDF/58SAVN319.pdf> (in Russian)

УДК 624.04

**Ластовка Анатолий Васильевич**

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия  
Инженерно-строительный институт  
Доцент  
Кандидат технических наук  
E-mail: last\_pro@mail.ru

**Данченко Тамара Владимировна**

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия  
Институт архитектуры и дизайна  
Старший преподаватель  
E-mail: Danchenko-53@mail.ru

**Клиндух Надежда Юрьевна**

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия  
Инженерно-строительный институт  
Доцент  
Кандидат технических наук  
E-mail: NKlindukh@sfu-kras.ru

**Берсенева Мария Леонидовна**

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия  
Инженерно-строительный институт  
Доцент  
Кандидат биологических наук  
E-mail: mari-leonm@yandex.ru

## Методы расчета ленточного фундамента на упругом грунтовом основании

**Аннотация.** В статье говорится о результатах исследований, связанных с анализом особенностей формирования конструктивных решений ленточных фундаментов. В настоящее время ленточные фундаменты остаются одним из наиболее распространенных видов фундаментов мелко заложения. Авторы уверены, что вопросы и рекомендации по грамотному и рациональному проектированию рассматриваемых конструктивных элементов не потеряли своей актуальности. В статье авторами предложены различные аспекты, связанные с разработкой многофакторных математических моделей. Это расчетные параметры, показатели функционального качества ленточных фундаментов и современные нормативные требования. Соблюдения, которых не превышения предельных состояний конструкций и грунтового

основания. В целях изучения, возможно применения теоретических расчетов ленточных фундаментов (балок на упругом основании). Авторами рассмотрены основные виды грунтового основания винклеровского типа (с одним, двумя и тремя коэффициентами постели). Приведены результаты расчёта, позволяют данные модели применять для алгоритмизации метода начальных параметров и численного решения краевых задач. Фундамент мелкого заложения с переменным поперечным сечением или балки конечной длины с переменной жесткостью приняты в качестве одного из вариантов модификации типового конструктивного решения ленточного фундамента.

**Ключевые слова:** конструктивные решения; фундамент мелкого заложения; модель Винклера; коэффициенты постели; ленточный фундамент; балка на упругом основании; алгоритмизация метода начальных параметров; балка переменной жесткости

### Введение

Строительство фундамента является одним из важных процессов возведения здания. Он воспринимает все нагрузки от вышележащих конструкций, в том числе эксплуатационных, передает их на основание, а также отвечает требованиям долговечности, надежности и экономической обоснованности. *Фундамент* – это часть здания, которая находится в земле и на которую опираются стены, колонны, а также служит для передачи и распределения нагрузки от здания на грунт. Верхняя часть называется поверхностью, а нижняя подошвой. Расстояние от нижнего уровня поверхности земли до подошвы называется глубиной заложения. Материалом для фундаментов могут служить бутовый камень, бутобетон, обожженный кирпич, сборные бетонные и железобетонные блоки. На современном рынке строительные компании предлагают различные виды фундаментов столбчатый, ленточный, плитные фундаменты, блоки [1].

### 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 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений.

- 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.

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 [2].

Конструктивные решения ленточных фундаментов из сборных железобетонных блоков-подушек (в формате: сплошных, ребристых и пустотелых) плит и бетонных стеновых блоков допускают разную укладку на грунтовое основание. Один из способов укладки относится к непрерывным (сплошная лента). Другой прерывистым (с устройством зазоров между смежными плитами).

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 [3].

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 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.

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) [4; 5].

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:  $K_{\Pi}$  – 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 «пружинок» (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 модель Винклера отображает напряженно-деформированное состояние грунтового основания только потому, что состоит из слабых (илистых, торфяных) видов грунтов и мелкозернистых водонасыщенных песков. При наличии грунтового основания, представленного связными грунтами, модель Винклера значительно искажает реальные показатели состояния и работы конструкции фундамента на грунтовом основании [2; 4].

Главным недостатком модели Винклера (с одним коэффициентом постели) является объективная неадекватность отображения взаимодействия 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 [6].

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. Это позволяет 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

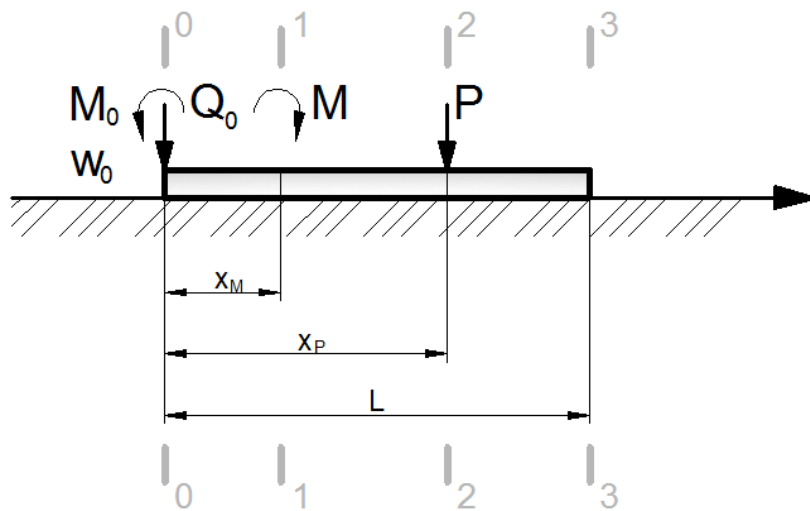
приложенной нагрузки и при этом оказывает упругое противодействие деформации (прогибу) основания [2; 7]. Метод начальных параметров получил широкое распространение для решения различных классов задач механики, включая задачи, связанные с определением параметров напряженно-деформированного состояния балок на упругом основании [8].

Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки (ленточного фундамента) на упругом основании представляется в виде [7; 8]:

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

где:  $K_{\Pi}$  – 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 1 представлен один из возможных вариантов теоретической модели балки (ленточного фундамента) на упругом основании.

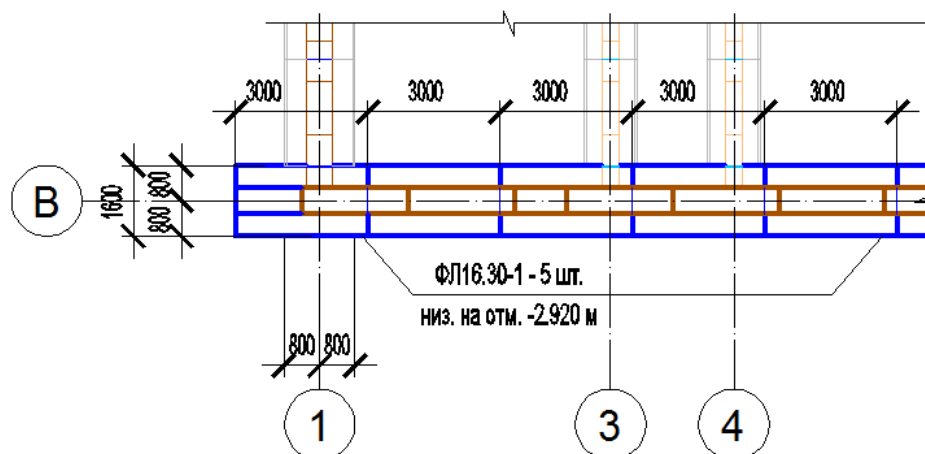


**Рисунок 1.** Расчетная схема ленточного фундамента в формате (модели) балки конечной длины на упругом (винклеровском) основании, загруженной: прогибом, углом поворота, изгибающим моментом, сосредоточенной силой (составлено автором)

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. В этом случае, основной процедурой метода становится выражение компонентов вектора решения (неизвестных начальных параметров) на одной из границ (на одном из концов балки конечной длины) через известные значения, определенные на другой границе балки (ленточного фундамента) [9]. Алгоритм реализации расчетной процедуры предусматривает применение интервалов интегрирования дифференциальных уравнений и аппроксимацией с заданной точностью значений переменных.

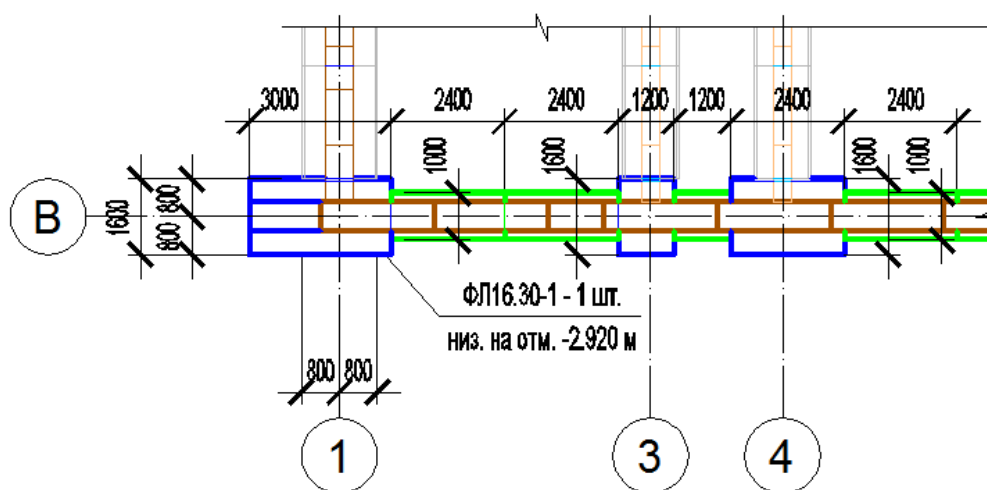
### Методические основы оптимизации параметров плиты ленточного фундамента, как балки переменной жесткости на упругом основании винклеровского типа

На рисунке 2 представлена широко распространенная (типовая) схема расположения элементов ленточного фундамента (из сборных железобетонных блоков-подушек и бетонных стеновых блоков) [10].



*Рисунок 2. Фрагмент плана ленточного фундамента бескаркасного здания. Исходное конструктивное решение (составлено автором)*

Конструктивное решение фундаментов мелкого заложения (раскладка фундаментов вдоль оси В) предусматривает применение стандартных сборных железобетонных блоков-подушек (ФЛ 16.30-1) ГОСТ 13580-85. Плиты железобетонные ленточных фундаментов. Технические условия. – М.: Госстрой СССР. 1985. – 36 с. Поправка к документу Поправка 2004-12-01 ИУС 12-2004.



*Рисунок 3. Фрагмент плана ленточного фундамента бескаркасного здания. Модифицированное конструктивное решение (составлено автором)*

### Технология строительства ленточных фундаментов

Ленточный тип – это железобетонная полоса, идущая по всему периметру здания. Под все стены (внутри и снаружи) рис. 4 закладывают ленту, при этом сохраняя одинаковый

поперечный размер сечения по всей длине конструкции. Лента воспринимает нагрузки и передает их на грунт (основание).

Надежный фундамент обеспечивает длительную безопасную эксплуатацию зданий и сооружений, при этом не требует капитального ремонта и других технологических процедур в течение многих десятилетий.

При выборе фундамента необходимо учитывать влияние сопутствующих факторов, тип основания, основные характеристики строительства, такие как количество этажей, масса постройки с учетом веса мебели и бытовой техники, удельное давление на грунт, глубина залегания и сезонное повышение уровня грунтовых вод, глубина промерзания почвы, сейсмическая активность в регионе строительства.



*Рисунок 4. Ленточные фундаменты под щитовыми и домами из бруса (разработано [designbyhand.ru](http://designbyhand.ru))*

При возведении ленточного фундамента под каменные и очень большие здания подход к строительству тот же. Учитывается глубина заложения, промерзание почвы, толщина стен фундамента больше наружных стен будущего здания. При строительстве кирпичного здания возводится фундамент с цокольным этажом. Возрастает отношение стоимости фундамента к стоимости дома в целом, но преимущества в дополнительной площади, удобство самой планировки здания.

### Заключение

Рассматриваемое конструктивное решение характеризует формат применения балки (конечной длины, на упругом основании) одинаковой жесткости, вследствие использования блоков-подушек одинаковой ширины (1600 мм) и одинаковой длины (3000 мм). Модификация типового конструктивного решения подразумевает применение ленточного фундамента с переменным поперечным сечением или балки конечной длины с переменной жесткостью [11]. Эффективность такого решения обеспечивается чередованием плит различных размеров, как по ширине, так и по длине (рисунок 3). Отдельные плиты (блок – подушки) выдвигаются в сторону действия изгибающего момента на большую величину, чем все остальные. Для численного решения задачи область, занятая ленточным фундаментом, разбивается в

продольном направлении на регулярно повторяемые фрагменты, каждый из которых представляет вытянутые прямоугольники. В пределах каждого фрагмента давление считается равномерным. Расчет заключается в определении размеров плит и подборе марок по их несущей способности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Т.В. Данченко, П.Ю. Веде, Е.В. Киселкин Фундаменты основа здания / Сб. статей I Международной научно – практической конференции «Современная наука: проблемы и перспективы», Ставрополь, 2017. – С. 17–22.
2. Г.М. Скибин Исследование взаимодействия грунтового основания и ленточных фундаментов и оптимизация проектных решений: автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.23.02 / Скибин Геннадий Михайлович. – Новочеркасск: 1998. – 25 с.
3. В.И. Крутов, Е.А. Сорочан, В.А. Ковалев Фундаменты мелкого заложения. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов. 2008. – 232 с.
4. Г.Н. Гусев, А.А. Ташкинов Математическое моделирование систем «здание-фундамент-грунтовое основание» // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия физико-математические науки. 2012. – №4 (29). – С. 222–226.
5. Д.А. Карнилов, А.П. Литиков, А.Н. Муморцев Колебания массива, расположенного на упругом основании (модель Винклера) // Инженерный вестник Дона. 2014. – №4. – С. 1–10.
6. Р.Ф. Габбасов, Н.Б. Уварова, В.В. Филатов Расчет балок на упругом основании с двумя коэффициентами постели // Вестник МГСУ. 2012. – №2. – С. 25–29.
7. А.Н. Крылов, Балки на упругом основании. – Л.: Издательство АН СССР. 1931. – 154 с.
8. А.В. Ластовка Методика расчета ленточных фундаментов и фундаментов в виде осесимметричных оболочек с учетом касательных напряжений, действующих по поверхности их контакта с грунтом: автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.23.02 / Ластовка Анатолий Васильевич. – М.: 1981. – 24 с.
9. А.В. Матросов Численно-аналитический алгоритм метода начальных параметров для расчета балок на упругом основании // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2009. Серия 10. – Выпуск №2. – С. 72–81.
10. Э.В. Нейбург Оптимальная подборка плит прерывистых фундаментов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1990. – №1.
11. К.В. Королев Исследование несущей способности оснований близко расположенных ленточных фундаментов мелкого заложения: автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук: 05.23.02 / Королев Константин Валерьевич. – Новосибирск: 2003. – 24 с.



**Lastivka, Anatoliy Vasilievich**

Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia  
Engineering building institute  
E-mail: last\_pro@mail.ru

**Danchenko Tamara Vladimirovna**

Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia  
Institute of architecture and design  
E-mail: Danchenko-53@mail.ru

**Klinduh Nadezhda Yurievna**

Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia  
Engineering building institute  
E-mail: NKlindukh@sfu-kras.ru

**Berseneva Maria Leonidovna**

Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia  
Engineering building institute  
E-mail: mari-leonm@yandex.ru

## **Methods of calculating the belt foundation on the elastic ground base**

**Abstract.** The article talks about the results of research related to the analysis of the features of formation of constructive solutions Strip foundations. Tape bases currently remain one of the most common types of shallow foundations. The authors believe the questions and recommendations by competent and rational design addressed structural elements have not lost their relevance. The article offered various aspects related to the development of mathematical models of multi factorial. It's design parameters, indicators of functional quality Strip foundations and modern regulatory requirements. Compliance, which non-exceedance of limit States structures and soil Foundation. In order to study may use theoretical calculations Strip foundations (beams on elastic Foundation). Besides the main types of soil grounds vinklerovskogo type (with one, two and three bed ratios). These models are available for initial settings method algorithmization and numerical solution of boundary value problems. Shallow Foundation with variable cross section or finite-length beams with variable stiffness adopted as one of the options for modifying the model constructive solution of strip Foundation. The authors of this material not only offer estimates, but the technology of the construction of strip Foundation with its contributing factors.

**Keywords:** constructive solutions for shallow foundations; Winkler model with one more coefficients elastic ground; strip foundation; elastic beam at the ground; algorithm of the initial parameters method; variable stiffness beam