

# ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 624.151.5

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-1-164-170

*В.Е. КОЗЛОВСКИЙ, Е.В. ГОРОДНОВА, С.С. КОЛМОГОРОВА,  
Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I*

## ОБ ОСАДКАХ КОНСТРУКЦИЙ НА КОМБИНИРОВАННЫХ ОСНОВАНИЯХ

В настоящей работе рассмотрено взаимодействие строительной конструкции с грунтом основания с целью выяснения влияния его упругих свойств на деформации конструкции и усилия в ней. Модель грунта принята упругой, по Э. Винклеру, с коэффициентом постели, вычисленным по функции угасания напряжений Г.В. Колосова. В расчетах применён численный метод Б.Г. Галёркина с использованием базисных функций, соответствующих характеру закрепления разрезной и неразрезной конструкции по краям. Неизвестные коэффициенты в линейных комбинациях базисных функций находились методами линейной алгебры путём решения системы уравнений. Функции усилий в конструкции найдены дифференцированием функции прогибов. Геологические параметры приняты реальными, соответствующими условиям строительства крупного производственно-складского комплекса сельскохозяйственного назначения в Псковской области РФ. Произведена оценка влияния грунта под разрезной и неразрезной конструкциями на изгибающие моменты, перерезывающие силы и опорные реакции при имеющихся геологических параметрах грунтов. Дан прогноз ожидаемых осадков от эксплуатационной нагрузки.

**Ключевые слова:** основание; фундамент; деформация.

**Для цитирования:** Козловский В.Е., Городнова Е.В., Колмогорова С.С. Об осадках конструкций на комбинированных основаниях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 1. С. 164–170.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-1-164-170

*V.E. KOZLOVSKII, E.V. GORODNOVA, S.S. KOLMOGOROVA,  
Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University*

## STRUCTURE SETTING ON COMPOSITE-BASED SOILS

The paper studies the interaction between the building construction and composite-based soil with a view to determine its elastic properties affecting the structure deformation and internal forces. The soil model is assumed to be elastic, according to the Winkler coefficient calculated from the Kolosov stress decay function. The Galerkin numerical method used in calcu-

lations utilizes basic functions corresponding to the type of fixing the discontinuous and continuous structures. Unknown coefficients in linear combinations of basic functions are obtained via linear algebra methods, solving the system of equations. The force functions of the structure are found by derivation of the deflection function. Geological parameters are accepted to be real and matching the construction conditions of a large industrial warehouse of agricultural designation in the Pskov region, Russia. The soil effect on the flexural strength, shearing forces, and bearing reaction is estimated under the discontinuous and continuous structures at the available geological soil parameters. The structure setting on composite-based soils under the operating load is predicted herein.

**Keywords:** basement; foundation; deformation.

**For citation:** Kozlovskii V.E., Gorodnova E.V., Kolmogorova S.S. Ob osadkakh konstruktсии na kombinirovannykh osnovaniyakh [Structure setting on composite-based soils]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 1. Pp. 164–170. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-1-164-170

В строительстве нередки случаи, когда конструкция (балка либо плита) имеет комбинированное основание. По краям она может иметь жесткие опоры, опираться на фундаменты, а в пролете лежать на грунте. Возникает вопрос о распределении нагрузки между подстилающим конструкцию грунтом и краевыми опорами. Очевидно, что в процессе деформирования всей системы «конструкция – фундамент – грунт» произойдет перераспределение усилий взаимодействия. Такая комплексная постановка задачи потребует усложнения расчетного аппарата. В настоящей работе рассматривается лишь этап начального нагружения, т. е. выяснение распределения усилий между грунтом под конструкцией и фундаментами при нулевых осадках последних.

Используем для решения поставленной задачи вариационный метод Б.Г. Галёркина [1]. Имеется уравнение

$$Au = f,$$

где  $A$  – оператор теории упругости;  $u, f$  – соответственно неизвестная и известная функции.

В качестве  $u$  подбирается  $u_0$ , представляющая собой линейную комбинацию базисных функций  $\varphi_j$ , соответствующих граничным условиям решаемой задачи. При этом должно быть выполнено следующее условие для всех  $j = 1, 2, \dots$ :

$$(Au_0 - f, \varphi_j) = 0.$$

Данное выражение представляет собой систему уравнений относительно неизвестных коэффициентов при базисных функциях в выражении для  $u_0$ . Функции  $u$  и  $f$  имеют смысл соответственно прогибов исследуемой конструкции и внешней нагрузки на неё. Следует отметить, что получаемая система уравнений в данном случае совпадает с системой Ритца [2].

Для построения системы уравнений были использованы базисные функции, соответствующие граничным условиям на прогиб  $u$  и его первую и вторую производные:

– для разрезной конструкции:

$$\varphi_j(x) = \frac{\sin j\pi x}{j^2};$$

– для неразрезной конструкции:

$$\varphi_{2j-1}(x) = \frac{1}{j^2} \left( \sin \frac{\lambda_j x}{l} - \frac{x}{l} \sin \lambda_j \right),$$

$$\varphi_{2j}(x) = \frac{1}{j^2} \left( \cos \frac{j\pi x}{l} - (-1)^j \right),$$

где  $\lambda_j$  положительные корни уравнения  $\operatorname{tg} \lambda = \lambda$ , равные соответственно  $\lambda_1 = 4,49$ ,  $\lambda_2 = 7,72$ ,  $\lambda_3 = 10,90$  и т. д.

Произведена разбивка плитной конструкции на линейные элементы в виде разрезных и неразрезных полос шириной 1 м, опирающиеся в пролете на грунт и на неподвижные фундаменты, расположенные по краям. Грунт рассматривался как упругая (по Э. Винклеру) среда, обладающая коэффициентом постели  $K$ . В качестве условного критерия взаимной жесткости грунта и опирающейся на него конструкции принят коэффициент деформации  $\alpha_\varepsilon$  [3].

Согласно таблице, при определенном соотношении упругих свойств конструкции и грунта, выраженном, например, в коэффициенте  $\alpha_\varepsilon$ , влияние грунта на усилия в конструкции могут быть значительны.

Такой подход к анализу работы изгибаемых конструкций, лежащих на грунте, был применён при строительстве крупного производственно-складского здания в Псковской области. В нем плиты первого этажа, помимо опоры на грунт, передают нагрузку на фундаментные балки, расположенные по периметру плит (рис. 1). Балки опираются на точечные двух- и четырёхсвайные фундаменты, расположенные по квадратной сетке 6×6 м. Собственный вес плит полностью воспринимается грунтом, поскольку они бетонируются на месте. Требовалось определить, какая часть нагрузки на плиты передаётся на балки и через них на фундаменты и какую часть воспринимает грунт.

Были рассмотрены разрезные плиты, рассечённые над фундаментными балками, и неразрезные. В расчетные схемы плит, лежащих на грунте, введены некоторые упрощения. Плиты рассматривались как совокупность разрезных и неразрезных полос шириной 1 м. В этом случае ожидаемые осадки больше, чем для плит, опёртых по контуру, и влияние грунта также значительнее.

Грунты, подстилающие плиты, имеют модуль деформации  $E$  в пределах от 10 до 20 МПа. Коэффициент постели  $K$  грунта под полосой шириной 1 м определяется по формуле

$$K = \frac{\pi E}{2\beta} \left[ \int_0^{H_c} \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} \frac{z^3}{[\zeta^2 + z^2]^2} d\zeta dz \right]^{-1},$$

где  $H_c$  – глубина сжимаемой толщи, определяемая согласно п. 5.6.41 [4], коэффициент  $\beta = 0,8$ .

## Влияние свойств грунтового основания на усилия в конструкции

Нагрузка		Без учета грунтового основания $\alpha_e = 0$	С учетом грунтового основания $\alpha_e = 3$
Равномерно распределенная	Изгибающие моменты		
	Перерезывающие силы		
Сосредоточенная в центре	Изгибающие моменты		
	Перерезывающие силы		

Для указанных границ диапазона значений  $E$  коэффициенты постели оказались равными соответственно 4400 и 8200 кПа/м.

В ходе расчетов было установлено, что влияние грунта под конструкцией на изгибающие моменты, перерезывающие силы и опорные реакции при имеющихся коэффициентах постели грунтов отсутствует. Имеющийся диапазон значений  $K$  соответствует интервалу коэффициентов  $\alpha_e = 0,6-0,9$ , что, согласно графикам на рис. 2 и 3, не дает существенного вклада в работу конструкции, лежащей на грунте.



Рис. 1. Конструкция опирания плиты первого этажа

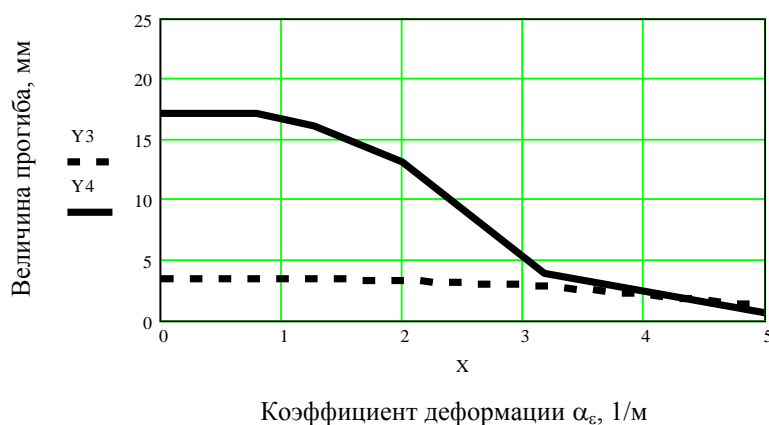


Рис. 2. Зависимость прогиба конструкции от коэффициента деформации для разрезного (сплошная линия) и неразрезного (пунктир) случаев

Таким образом, на начальном этапе нагрузка полностью передается на опоры (фундаментные балки), а через них на фундаменты. Подстилающий грунт конструкцию не разгружает. При коэффициенте деформации  $\alpha_\varepsilon$  более 1,0 влияние грунта в работе конструкции становится более ощутимым, причем это верно для разрезных конструкций. Неразрезные конструкции, согласно рис. 2, менее чувствительны к работе грунта под их подошвой на всем интервале изменения  $\alpha_\varepsilon$ . При увеличении коэффициента деформации более 3,0 различия в прогибе разрезных и неразрезных конструкций пропадают.

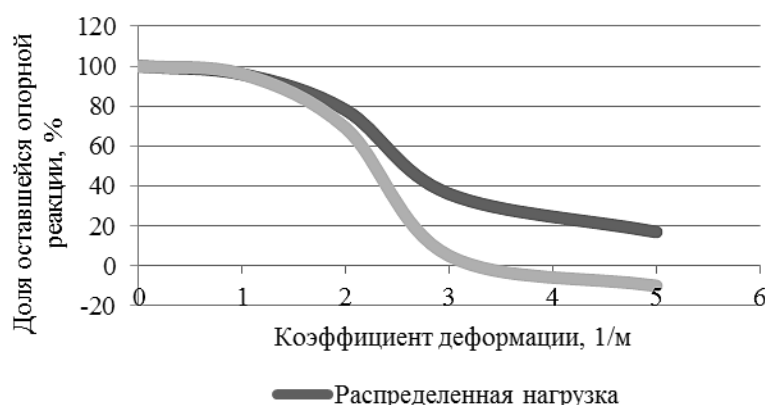


Рис. 3. Зависимость доли (%) оставшейся опорной реакции в подкрепленной грунтом конструкции от коэффициента деформации  $\alpha_c$ , 1/м

Следует отметить, что полученные результаты расчетов верны лишь для конструкций, фундаменты которых статичны, неподвижны. В процессе оседания фундаментов расположенные выше балки и плиты также получают вертикальные смещения, и грунт под ними будет включен в работу.

Свайные фундаменты под эксплуатационной нагрузкой, как показали расчеты, получают полные осадки в интервале 5,4–7,5 см, при этом плиты первого этажа «опустятся» на грунт. Их собственные осадки на грунтах с модулями общей деформации 10, 15 и 20 МПа соответственно будут равны 4,8, 3,2 и 2,5 мм.

Вследствие разности вычисленных осадок фундаментов и плит можно полагать, что произойдет разгрузка свайных фундаментов на величину, равную временной нагрузке на уровне первого этажа.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ректорис К.* Вариационные методы в математической физике и технике. Москва : Мир, 1985. 590 с.
2. *Байкова А.И., Махонько А.А., Козловский В.Е.* Расчет гибкого свайного ростверка с геосеткой при усилении железнодорожного пути // Транспорт: проблемы, идеи, перспективы : материалы Всероссийской научно-технической конференции. Санкт-Петербург, 2016. С. 31–35.
3. СП 24.13330.2011 (03.12.2016). Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03–85. Москва : ФГУП ЦПП, 2010.
4. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83\*.

#### REFERENCES

1. *Rektorys K.* Variatsionnyye metody v matematicheskoi fizike i tekhnike [Variational methods in mathematics, science and engineering]. Moscow: Mir, 1985. 590 p. (rus)
2. *Baykova A.I., Mahonko A.A., Kozlovsky V.E.* Raschet gibkogo svainogo rostverka s geosetkoi pri usilenii zheleznodorozhnogo puti [Calculation of a flexible pile grillage with a geoset when strengthening a railway track]. In: Transport: problemy, idei, perspektivy : materialy Vserossi-

iskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (*Proc. All-Russ. Conf. 'Transport: Problems, Ideas, Prospects'*). St.- Petersburg, 2016. Pp. 31–35. (rus)

3. SNiP 24.13330.2011 (03.12.2016) Svainye fundamenty [Pile foundations]. (rus)
4. SNiP 22.13330.2016 Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy [Building footings]. (rus)

#### **Сведения об авторах**

*Козловский Владимир Евгеньевич*, канд. техн. наук, доцент, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9, Koslovskii@mail.ru

*Городнова Елена Владимировна*, канд. техн. наук, доцент, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9, Elena.gorodnova@mail.ru

*Колмогорова Светлана Сергеевна*, канд. техн. наук, доцент, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9, Kolmogorovsg@list.ru

#### **Authors Details**

*Vladimir E. Kozlovskii*, PhD, A/Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovskii Ave., 190031, Saint-Petersburg, Russia, Koslovskii@mail.ru

*Elena V. Gorodnova*, PhD, A/Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovskii Ave., 190031, Saint-Petersburg, Russia, Elena.gorodnova@mail.ru

*Svetlana S. Kolmogorova*, PhD, A/Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovskii Ave., 190031, Saint-Petersburg, Russia, Kolmogorovsg@list.ru