

Моделирование работы конструкции усиления ленточного фундамента способом подведения фундаментной плиты с несъемной опалубкой в лотке

УДК 624.154.5

Субботин В.А.

Аспирант кафедры «Промышленное и гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (г. Новочеркасск); e-mail: vitalii.subbotin93@yandex.ru

Статья получена: 28.01.2020. Рассмотрена: 02.02.2020. Одобрена: 04.03.2020. Опубликовано онлайн: 30.03.2020. ©РИОР

Аннотация. Рассматриваются условия создания модели для проведения экспериментальных исследований в лотке запатентованной конструкции усиления существующих ленточных фундаментов. Предлагается смоделировать и исследовать эффективность новой конструкции усиления ленточного фундамента, позволяющей учитывать реологические процессы в грунтах основания при выполнении мероприятий по конструктивному усилению, используя профилированный лист в совокупности с монолитными элементами.

Исходя из правил моделирования и теории подобия, предлагается определить оптимальные условия для экспериментального моделирования решения по усилению существующих монолитных железобетонных ленточных фундаментов способом совместной работы их с монолитной железобетонной плитой, разделенной профилированным листом по высоте на две части (верхнюю и нижнюю) с инъекционными скважинами для нагнетания твердеющего рас-

твора непосредственно под несъемную опалубку из профилированного листа.

Ключевые слова: условия моделирования, показатель гибкости, коэффициенты моделирования, числа моделирования, ленточные фундаменты, усиление фундаментов, фундаментная плита, инъекцирование, несъемная опалубка, напряжения, деформации, осадка, напряженно-деформированное состояние.

Одним из распространенных технических решений усиления ленточных фундаментов является устройство монолитной железобетонной плиты во внутреннем пространстве контура граней фундаментов [1–3], что значительно повышает их несущую способность, так как, увеличивая площадь фундамента, резко снижается значение среднего давления под его подошвой. Однако для того, чтобы фундаментная плита вступила в работу, необходимо, чтобы нагрузка от здания передалась на саму плиту через узлы сопряжения с существующей конструкцией лен-

MODELING THE WORK OF THE STRUCTURE STRENGTHENING STRUCTURE BY THE METHOD OF CONNECTING A FOUNDATION BOARD WITH A REMOVABLE FORMWORK IN A TRAY

Vitaliy Subbotin

Postgraduate Student, Department of Industrial Civil Engineering, Geotechnics and Foundation, Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk; e-mail: vitalii.subbotin93@yandex.ru

Manuscript received: 28.01.2020. **Revised:** 02.02.2020. **Accepted:** 04.03.2020. **Published online:** 30.03.2020. ©РИОР

Abstract. The conditions of creating a model for conducting experimental studies in a tray of a patented reinforcement design of existing strip foundations are considered. It is proposed to simulate and investigate the effectiveness of the new design of

reinforcement of the strip foundation, allowing to take into account the rheological processes in the soil of the base when performing measures for structural reinforcement using a profiled sheet in conjunction with monolithic elements.

Based on the rules of modeling and similarity theory, it is proposed to determine the optimal conditions for experimental modeling of a solution to strengthen existing monolithic reinforced concrete strip foundations by working together with a monolithic reinforced concrete slab divided by a profiled sheet in height into two parts (upper and lower) with injection wells for injection of a hardening mortar directly under fixed formwork from a profiled sheet.

Keywords: modeling conditions, flexibility indicator, modeling coefficients, modeling numbers, strip foundations, reinforcement of foundations, foundation slab, injection, fixed formwork, stress, deformation, settlement, stress-strain state.

точных фундаментов, а это возможно лишь спустя значительное время и при дополнительных осадках, которые мы хотим избежать.

Предложенный метод усиления ленточных фундаментов [4], оформленный патентом [5], предполагает их усиление способом совместной работы с монолитной железобетонной плитой, разделенной профилированным листом по высоте на две части (верхнюю и нижнюю) с инъекционными скважинами для нагнетания твердеющего раствора непосредственно под несъемную опалубку из профилированного листа (рис. 1). Такая конструкция фундаментной плиты позволяет вступить в работу с грунтом подвальной части здания сразу при усилении, избегая дополнительных осадок путем нагнетания в пространство между верхней и нижней частями твердеющего состава (рис. 2). При этом предполагается, что нагрузка от здания передается на плиту через узлы ее сопряжения с существующей конструкцией ленточных фундаментов. Давление, действующее с одной стороны на грунт подвальной части через нижнюю часть плиты, уплотняет его, а с другой стороны давит на верхнюю часть фундаментной плиты и поднимает ее, включая в работу всю конструкцию усиления фундамента.

Понятно, что в практике проектирования имеется достаточно большое количество успешно применяемых конструктивных методов усиления фундаментов [6–10]. Однако вовлечение в работу существующих ленточных фундаментов грунтов основания связано с технологически сложными и дорогостоящими методами усиления, эффективность которых очень сложно проконтролировать. Именно поэтому в практике проектирования зданий и сооружений, имеющих дефекты в несущих конструкциях, свидетельствующие о недостаточной несущей способности конструкций ленточных фундаментов или грунтов основания [11–13], а также при реконструкции, связанной с увеличением среднего давления под подошвой фундамента из-за надстройки или установки массивного технологического оборудования, зачастую проектировщики принимают конструктивные решения, которые гораздо проще проконтролировать при производстве работ [14].

Я.А. Пронзиным были предложены похожие конструктивные решения [15–18] для

устройства фундаментов с оболочкой под несущие стены здания, однако в данных конструкциях оболочки выполнялись по искусственно выполненному грунтовому основанию определенной кривизны с предварительным уплотнением при новом строительстве, а не при усилении.

Предложенное патентное решение [5] состоит в том (рис. 1), что в бетонные рубашки (1), устроенные по внутренней грани несущих стен, заводят опалубку (2) из профилированного листа с инъекторами (3), предварительно устроив там бетонное основание заданного сечения (4), армированное в нижней зоне (5). Затем поверх профилированного листа устраивают арматурную сетку (6) в верхней зоне вышерасположенной фундаментной плиты (7), после чего выполняется бетонирование верхней плиты заданной высоты сечения. После затвердевания бетона через инъекторы производится нагнетание твердеющего состава до величины, соизмеримой с проектным значением среднего давления в пространстве между профилированным листом и нижней частью фундаментной плиты (рис. 2).

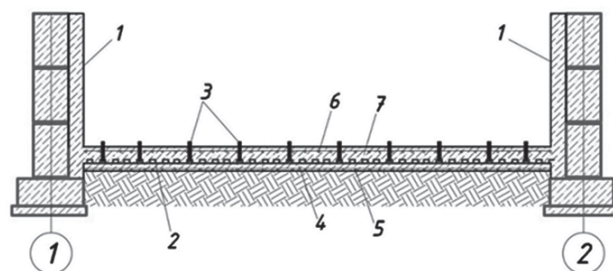


Рис. 1. Подведение фундаментной плиты с несъемной опалубкой:

1 — бетонные рубашки; 2 — опалубка из профилированного листа; 3 — инъекторы; 4 — нижняя часть фундаментной плиты; 5 — арматурная сетка в нижней зоне вышерасположенной фундаментной плиты; 6 — арматурная сетка в верхней зоне вышерасположенной фундаментной плиты; 7 — верхняя часть фундаментной плиты

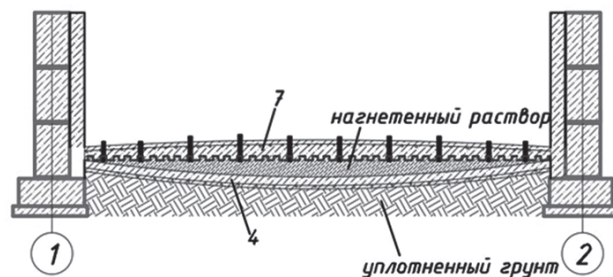


Рис. 2. Деформированная схема плиты

Самым достоверным способом подтверждения эффективности и работоспособности предложенного технического решения усиления конструкций фундаментов является экспериментальные исследования. Проведение их на натурном объекте затратно и трудоемко, поэтому планируется проведение исследований на модели. Это позволит воспроизвести на модели реальную картину взаимодействия усиленных фундаментов с грунтовым основанием и получить данные о напряженно-деформированном состоянии (НДС), показывая реальную картину протекающих в грунтовом основании процессов.

Проведение экспериментальных исследований предложенных технических решений планируется на базе лаборатории оснований и фундаментов кафедры «Промышленное гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение» ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова в лотке испытательной машины МФ-1 конструкции Ю.Н. Мурзенко (рис. 3), которая является центральным звеном автоматизированной системы научных исследований (АСНИ) оснований и фундаментов на моделях [19].

Силовая рама машины состоит из вертикальных колонн и балки — траверсы, к которой шарнирно подвешены через подвижную тележку

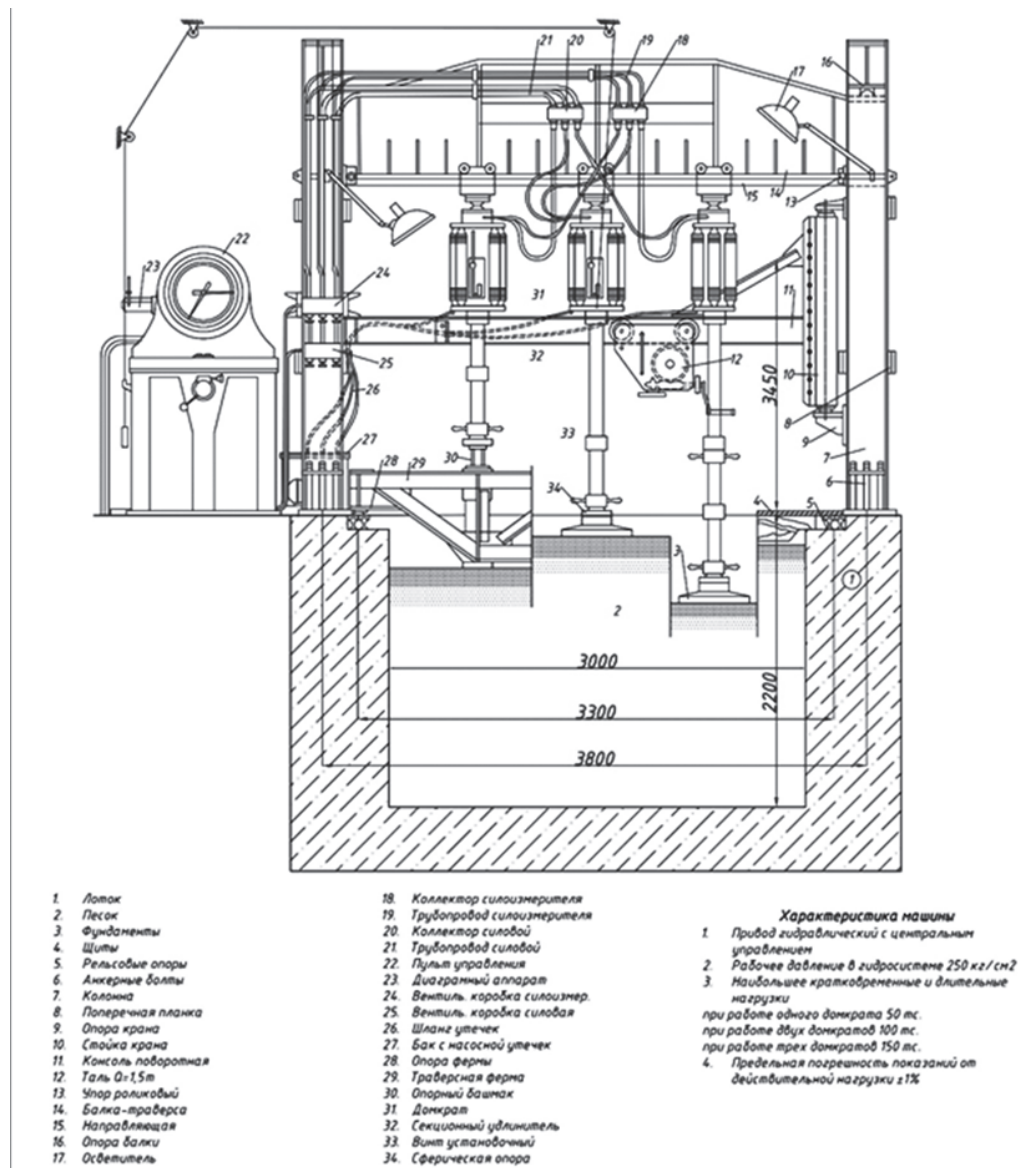


Рис. 3. Испытательная машина МФ-1 конструкции Ю.Н. Мурзенко

гидравлические домкраты. В зависимости от схемы испытаний в работу могут включаться один, два или три домкрата, которые могут фиксироваться на любом участке направляющей. Домкраты расположены плунжером вниз и снабжены возвратными пружинами. Передача нагрузки регулируется через пульт управления машиной, имеющий измерительную шкалу с тремя пределами измерений: до 100, 200 и 500 кН и ценой деления соответственно 200, 500 и 1000 Н. Лоток машины МФ-1 железобетонный, имеет внутренние размеры $3,0 \times 3,0 \times 2,2$ (глубина) м и заполнен среднезернистым воздушно-сухим песком Орловского карьера Волгоградской области, моделирующим собой песчаное основание со следующими физико-механическими показателями: плотность в рыхлом состоянии $\gamma = 1,565$ г/см³; плотность в уплотненном состоянии $\gamma = 1,89$ г/см³; угол внутреннего трения $\varphi = 43^\circ 16'$; модуль деформации $E = 20,75$ МПа.

Для того чтобы при проведении экспериментальных исследованиях получить достоверные результаты, сопоставимые с работой реальной системы «грунтовое основание — ленточный фундамент», необходимо выполнить модель, соответствующую основным условиям моделирования.

Условиям моделирования совместной работы оснований и фундаментов посвящены работы В.А. Флорина, П.Д. Евдокимова, Ю.Н. Мурзенко и др.

В.А. Флориным [20] были получены условия моделирования для плоской задачи теории упругости, используя теорию подобия, систему уравнений равновесия и предельного равновесия.

Аналогичные условия получены Ю.Н. Мурзенко [21]. Сопоставляя результаты проведенных экспериментальных исследований и анализируя условия подобия, Ю.Н. Мурзенко также установил, что при предельных состояниях грунтового массива для получения наиболее достоверных результатов необходимо использование нелинейных условий моделирования, учитывающих влияние масштаба моделей на изменение форм зон уплотнения, упругого ядра и поверхностей скольжения. Для песчаного основания такие условия моделирования получены и апробированы Ю.Н. Мурзенко и его учеников в работах [22–29].

В связи с тем, что моделируемый ленточный фундамент, протяженный в плане, используем условие В.А. Флорина для плоского предельного равновесия упругопластического основания, а также допредельного напряженного состояния:

$$\frac{k_b k_\gamma}{k_\sigma} = 1, \frac{k_c}{k_\sigma} = 1, \varphi = const,$$

где $k_b, k_\sigma, k_\gamma, k_c$ — коэффициенты или масштабные множители моделирования соответственно линейных размеров, напряжений, объемных сил и сил сцепления.

При введении понятия о числе моделирования N [26] для несвязного грунта при $c = 0$ и $\varphi = const$, получим:

$$N = \frac{\sigma}{b\gamma}, N_M = N_H = const,$$

где σ — среднее давление под подошвой фундамента;

N_M, N_H — числа моделирования соответственно для модели и натурального фундамента.

Примем в качестве натурального прототипа ленточный фундамент, состоящий из железобетонной ленты шириной 1,0 м с опирающейся на нее стены из бетонных блоков толщиной 500 мм.

Модель ленточного фундамента, исходя из условий моделирования и размеров лотка в плане, примем следующей конструкции (рис. 4):

- ширина ленты b_M — 300 мм, длина ленты l_M — 2400 мм, толщина ленты h_M — 60 мм;
- материал модели — фанера марки ФСФ и ФСБ.

В таком случае масштабный множитель моделирования для геометрических размеров $k_b = 0,3$.

Используя методику [21], определим условия моделирования, которые включают параметры грунтового основания и самой конструкции, необходимые для их совместной работы.

Чтобы соблюсти условия подобия, зададимся одинаковыми параметрами гибкости модели и натурального фундамента.

Согласно теории расчета балок и плит на упругом основании в качестве исходного уравнения связи используем известную формулу

М.И. Горбунова-Посадова [30] для показателя гибкости для балок:

$$t = \frac{(1 - \mu^2) \pi E_0 b L^3}{(1 - \mu_0^2) 4EI}, \quad (1)$$

где μ , μ_0 — коэффициенты Пуассона материала фундамента и грунтового основания соответственно; EI — жесткость фундамента; E_0 — модуль деформации грунтового основания; b — ширина подошвы фундамента; L — длина фундамента; I — момент инерции поперечного сечения.

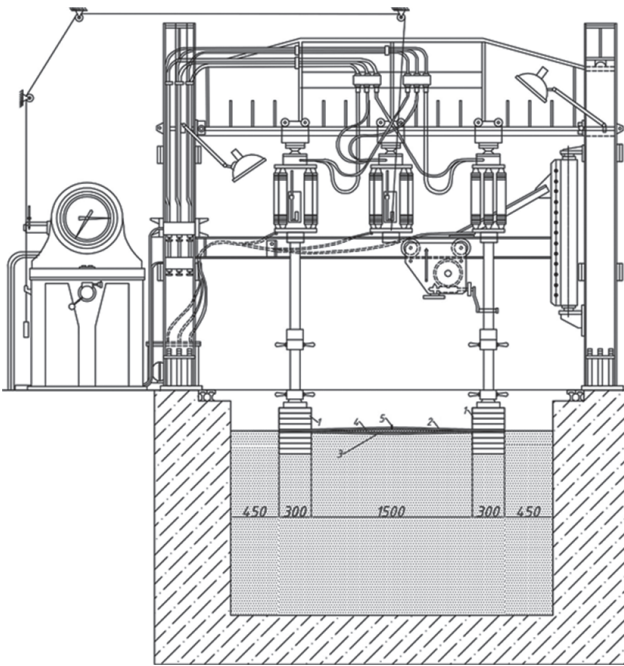


Рис. 4. Модель ленточного фундамента в лотке машины МФ-1:

1 — модель ленточного фундамента бетонные рубашки; 2 — лист фанеры, моделирующий верхнюю часть фундаментной плиты; 3 — лист фанеры, моделирующий нижнюю часть фундаментной плиты; 4 — резиновая камера, создающая давление, моделируя нагнетаемый через инжекторы раствор; 5 — штуцер резиновой камеры для подключения к воздушному компрессору

Обозначив гибкость модели как t_m , а гибкость натурального фундамента — как t_n , получим следующее условие: $t_n = t_m$, или

$$\frac{(1 - \mu_n^2) \pi E_0 b_n I_n^3}{(1 - \mu_0^2) 4E_n I_n} = \frac{(1 - \mu_m^2) \pi E_0 b_m I_m^3}{(1 - \mu_0^2) 4E_m I_m}.$$

После преобразования условие получит следующий вид:

$$\frac{(1 - \mu_n^2) b_n I_n^3}{E_n I_n} = \frac{(1 - \mu_m^2) b_m I_m^3}{E_m I_m}. \quad (2)$$

Если масштабный множитель линейных размеров принять как

$$k_b = \frac{b_m}{b_n}, \quad (3)$$

то геометрические параметры натурального фундамента можно определить согласно следующему условию:

$$\frac{I_m}{I_n} = \frac{k_b^4 E_n (1 - \mu_m^2)}{E_m (1 - \mu_n^2)}. \quad (4)$$

Модуль деформации модели из фанеры $E_m = 6000$ МПа, коэффициент Пуассона материала $\mu_m = 0,065$.

При значении начального модуля деформации железобетона $E_n = 265\,000$ МПа и $\mu_n = 0,2$, а также при коэффициенте линейных размеров $k_b = 0,2$ условие для определения размеров сечения натурального фундамента имеет вид:

$$I_n = \frac{6000(1 - 0,2^2)}{0,3^4 \cdot 26500(1 - 0,065^2)} I_m = 26,95 \cdot I_m. \quad (5)$$

Момент инерции сечения натурального фундамента:

$$I_n = \frac{b_n h_n^3}{12}. \quad (6)$$

Момент инерции сечения модели фундамента:

$$I_m = \frac{b_m h_m^3}{12}. \quad (7)$$

Таким образом, для модели ленточного фундамента прямоугольного сечения с размерами $b_m \times h_m$ ($0,3 \text{ м} \times 0,06 \text{ м}$) размеры сечения натурального фундамента $b_n \times h_n$, учитывая выражение 5, можно определить из выражений 6 и 7.

Высота сечения натурального фундамента:

$$h_n = \sqrt[3]{\frac{26,95 \cdot b_m h_m^3}{b_n}} = \sqrt[3]{\frac{26,95 \cdot 0,3 \cdot 0,06^3}{1,5}} = 0,11 \text{ м}. \quad (8)$$

Следовательно, принимаемая модель ленточного фундамента шириной 300 мм и высотой сечения 60 мм соответствует натурной ленте шириной 1000 мм и высотой сечения 110 мм.

С учетом размерного модуля между осями стен жилого дома, равного 6,0 м, самих толщин стен из блоков ФБС по 500 мм, а также толщины рубашки усиления по 250 мм с обеих сторон стен, ширина плиты усиления составит $l_{\text{п}} = 6,0 - 2 \times 0,25 - 2 \times 0,25 = 5,0$ м. Поэтому при размерах сечения натурной фундаментной плиты усиления $l_{\text{пн}} \times h_{\text{пн}}$ для определения размеров модели фундаментной плиты усиления в качестве исходного уравнения связи используем формулу М.И. Горбунова-Посадова [30] для показателя гибкости плит:

$$t = \frac{3\pi b^3 E_0 (1 - \mu^2)}{h^3 E (1 - \mu_0^2)}, \quad (9)$$

где b, h — длина, ширина и высота фундаментной плиты;

E_0, μ_0 — модуль деформации и коэффициент бокового расширения грунта;

E, μ — модуль деформации и коэффициент бокового расширения материала плиты.

Выражение (9) в интервале малых нагрузок является достаточно точным, в упругопластической стадии работы основания данная формула становится приближенной.

Обозначив

$$C_{\Gamma} = \frac{E_0}{1 - \mu_0^2} \text{ и } C_{\Pi} = \frac{E}{1 - \mu^2}, \quad (10)$$

перепишем (10) в виде

$$t = \frac{3\pi b^3 C_{\Gamma}}{h_{\text{п}}^3 C_{\Pi}}. \quad (11)$$

Рассмотрим критерий подобия исходя из равенства показателей гибкости t для модели и натурного фундамента.

При условии $k_t = 1$ и $k_{C_{\Gamma}} = 1$

$$\frac{k_b^3}{k_{\text{пн}}^3 k_{C_{\Pi}}} = 1. \quad (12)$$

Цилиндрический модуль деформации модели, определенный экспериментально, составил

$$C_{\Pi} = \frac{6000}{1 - 0,065^2} = 6025 \text{ МПа}. \quad (13)$$

При значениях для железобетона $E_{\text{п}} = 3 \times 10^4$ МПа и $\mu_{\text{п}} = 0,2$,

$$k_{C_{\Pi}} = \frac{C_{\text{пн}}}{C_{\text{пм}}} = \frac{3 \cdot 10^4}{(1 - 0,2^2) 0,6025 \cdot 10^4} = 5,2. \quad (14)$$

Таким образом, при принятых значениях $C_{\text{пн}}$ и $C_{\text{пм}}$

$$\frac{k_b^3}{k_{\text{пн}}^3} = 5,2. \quad (15)$$

При условии $k_b = 0,3$

$$k_{\text{пн}} = \sqrt[3]{\frac{0,3^3}{5,2}} = 0,17. \quad (16)$$

Таким образом, при коэффициенте линейных размеров $k_b = 0,3$ искомое значение равно $k_{\text{пн}} = 0,17$.

Согласно принятым условиям натурная плита усиления длиной 5,0 м и толщиной 0,2 м соответствует модели плиты усиления длиной 1,5 м и толщиной 0,03 м.

Литература

1. Справочник по общестроительным работам. Основания и фундаменты [Текст] / под общ. ред. М.И. Смородинова. — М.: Стройиздат, 1974. — 372 с.
2. Горбунов-Посадов М.И. Основания, фундаменты и подземные сооружения [Текст]: Справочник проектировщика / М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов; под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. — М.: Стройиздат, 1985. — 480 с.
3. Швец В.Б. Усиление и реконструкция фундаментов [Текст] / В.Б. Швец, В.И. Феклин, Л.К. Гинзбург. — М.: Стройиздат, 1985. — 204 с.
4. Скибин Г.М. Усиление ленточного фундамента способом подведения фундаментной плиты с несъемной опалубкой [Текст] / Г.М. Скибин, В.А. Субботин // Фундаменты глубокого заложения и геотехнические проблемы территорий: материалы Всероссийской национальной конфе-

- ренции с Международным участием (г. Пермь, 29–31 мая 2017 г.) / Пермский национальный исследовательский политехнический университет. — Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2017.
5. Скибин Г.М. Способ усиления ленточных фундаментов мелкого заложения [Текст] / Г.М. Скибин, В.А. Субботин // Пат. 2692383 Рос. Федерация: СПК Е03Д 27/08/ Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова. — № 2018134888; заявл. 02.10.2018; опубл. 24.06.2019, Бюл. № 18.
 6. Саурин А.Н. Опыт устройства армированного буронабивными сваями основания фундаментной плиты [Текст] / А.Н. Саурин, Н.Ф. Рябинкин, М.В. Филатова // Инновационные конструкции и технологии в фундаментостроении и геотехнике: материалы науч.-техн. конф. с междунар. участием, 27–29 окт. 2013 г. / Ин-т экономики и предпринимательства. — М.: ИНЭП: Палеотип, 2013. — С. 299–303.
 7. Полищук А.И. Подход к расчету усиления ленточных фундаментов инъекционными сваями при их совместной работе в глинистых грунтах [Текст] / А.И. Полищук, Д.Г. Самарин, А.А. Филиппович // Инновационные конструкции и технологии в фундаментостроении и геотехнике: материалы научно-технической конференции с международным участием, 27–29 окт. 2013 г. / Ин-т экономики и предпринимательства. — М.: ИНЭП: Палеотип, 2013. — С. 214–221.
 8. Зотов М.В. Выравнивание многоэтажных зданий в условиях сейсмического воздействия [Текст] / М.В. Зотов // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 2003. — № 4. — С. 24–27.
 9. Зотов М.В. Повышение безопасности выравнивания зданий с использованием микропроцессорных систем регистрации параметров подъема [Текст] / М.В. Зотов // Georgian engineering news. — 2006. — № 1. — С. 220–226.
 10. Зотов М.В. Опыт подъема памятника культурного наследия в Москве с помощью гидродомкратной системы [Текст] / М.В. Зотов, В.Д. Зотов // Основания и фундаменты и механика грунтов. — 2008. — № 5. — С. 13–15.
 11. Скибин Г.М. Геотехнический анализ обследования технического состояния строительных конструкций здания Шахтинского института (филиала) ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова [Текст] / Г.М. Скибин, А.И. Субботин, М.Ю. Клименко, А.П. Приходько // Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений: материалы XIV Международной научно-практической конференции, 30 окт. 2014 г., г. Новочеркасск. — Новочеркасск: Изд-во ЮРГПУ, 2014. — С. 194–201.
 12. Субботин А.И. Определение причин развития дефектов в строительных конструкциях жилого дома по ул. Калинина, 77-а в г. Таганроге Ростовской области [Текст] / А.И. Субботин, В.А. Субботин, И.А. Субботин // Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений: материалы XII Международной научно-практической конференции, г. Новочеркасск, 30 окт. 2012 г. — Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ, 2012. — С. 152–154.
 13. Субботин А.И. Некоторые ошибки при строительстве частных жилых домов [Текст] / А.И. Субботин, В.А. Субботин, И.А. Субботин, В.Э. Зяблицев // Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений: материалы XVI Международной научно-практической конференции, г. Новочеркасск, 15 нояб. 2016 г. — Новочеркасск: Изд-во ЮРГПУ, 2016. — С. 211–216.
 14. Скибин Г.М. Особенности изменения напряжений в конструкциях зданий при устройстве в них регулируемых фундаментов [Текст] / М.Г. Скибин, С.П. Гусаренко, А.М. Зотов // Межвузов. темат. сборник трудов «Научно-практические и теоретические проблемы геотехники». — Т. 1. — СПб., 2009.
 15. Пронозин Я.А. Расчетное моделирование взаимодействия мембранного фундамента на грунтовом основании [Текст] / Я.А. Пронозин, Л.Р. Епифанцева // Всероссийская научно-практическая конференция «Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении». — Новочеркасск, 2012. — С. 256–263.
 16. Пронозин Я.А. Ленточные фундаменты мелкого заложения, объединенные пологими оболочками, на сильносжимаемых грунтах [Текст] / Я.А. Пронозин, З.Г. Тер-Мартirosян, Н.Ю. Киселев // Основания, фундаменты, механика грунтов. Серия «Механика грунтов». — 2014. — № 4. — С. 2–6.
 17. Пронозин Я.А. Устройство ленточных фундаментов мелкого заложения, объединенных пологими оболочками [Текст] / Я.А. Пронозин, Б.Г. Ким, Д.В. Волосюк // Механизация строительства. — 2014. — № 9. — С. 9–14.
 18. Пронозин Я.А. Ленточные фундаменты, объединенные пологими цилиндрическими оболочками, для зданий повышенной этажности [Текст] / Я.А. Пронозин, Ю.В. Наумкина, Л.Р. Епифанцева // Промышленное и гражданское строительство. — 2015. — № 12. — С. 58–62.
 19. Епифанцева Л.Р. Экспериментальные исследования взаимодействия мембранного фундамента с глинистым основанием [Текст] / Л.Р. Епифанцева // Вестник СПбГАСУ. — 2013. — № 3. — С. 65–68.
 20. Subbotin A.I. Automated System for Experimental Study of Foundation Bases Performance / Subbotin A.I., Skibin M.G. // Procedia Engineering. 2016. Vol. 150: 2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016; Chelyabinsk; Russian Federation; 19 May 2016 through 20 May 2016. P. 2250–2254.
 21. Флорин В.А. Расчеты оснований гидротехнических сооружений [Текст] / В.А. Флорин. — М.: Госстройиздат, 1948. — 188 с.
 22. Мурзенко Ю.Н. Экспериментально-теоретические исследования силового взаимодействия фундаментов и песчаного основания [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Ю.Н. Мурзенко. — Новочеркасск, 1972. — 576 с.
 23. Мурзенко Ю.Н. Результаты экспериментальных исследований характера распределения нормальных контактных напряжений по подошве жестких фундаментов на песчаном основании [Текст] / Ю.Н. Мурзенко // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 1965. — № 2.
 24. Мурзенко Ю.Н. Расчет оснований зданий и сооружений в упруго-пластической стадии работы с применением ЭВМ [Текст]: науч. издание / Ю.Н. Мурзенко. — Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1989. — 135 с.
 25. Мурзенко Ю.Н. Экспериментальные исследования тензора деформаций и тензора напряжений по оси круглого штампа на песчаном основании [Текст] / Ю.Н. Мурзенко, Ю.В. Галашев, В.П. Дыба // Исследование напряженно-деформированного состояния оснований и фундаментов. — Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1977. — С. 23–27.
 26. Мурзенко Ю.Н. Экспериментальные исследования работы краевой зоны сборных фундаментов под отдельную колонну и сетку колонн на песчаном основании [Текст]: монография / Ю.Н. Мурзенко, С.И. Евтушенко. — Ростов н/Д: Изд-во журн. «Известия вузов. Северо-Кавказский регион», 2008. — 248 с.
 27. Субботин А.И. Моделирование работы оснований фундаментных плит при экспериментальных исследованиях на моделях [Текст] / А.И. Субботин // Научно-технический вестник Поволжья. — 2015. — № 2. — С. 179–182.
 28. Скибин Г.М. Экспериментальные исследования работы краевой зоны протяженных в плане фундаментов на песчаном основании [Текст]: монография / Г.М. Скибин,

- С.И. Евтушенко. — Ростов н/Д: Изд-во журн. «Известия вузов. Северо-Кавказский регион», 2008. — 192 с.
29. Evtushenko S.I., Krakhmal'nyi T.A. Investigation of the Behavior of Strip Foundations with Complex Configuration of the Base (2017) Soil Mechanics and Foundation Engineering, 54 (3), pp. 169–172. — DOI: 10.1007/s11204-017-9452-6.
 30. Evtushenko S.I., Krakhmal'nyi T.A., Krakhmal'naya M.P. New designs of the combined tape bases providing fuller use of the bearing ability of the basis / 8th Asian Young Geotechnical Engineering Conference 8AYGEC 2016, Astana, Kazakhstan, 5–7 August 2016, Код 177939 // (2016) Challenges and Innovations in Geotechnics: Proceedings of the 8th Asian Young Geotechnical Engineering Conference, 8AYGEC 2016, pp. 147–150. — DOI: 10.1201/b-9781315374949-29.
 31. Горбунов-Посадов М.И. Расчет конструкций на упругом основании [Текст] / М.И. Горбунов-Посадов, Т.А. Маликова; 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1973

References

1. *Spravochnik po obshchestroitel'nyim rabotam. Osnovaniya i fundamenti* [Directory of civil works. Foundations and foundations]. Moscow, Strojizdat Publ., 1974. 372 p.
2. Gorbunov-Posadov M.I., Il'ichev V.A., Krutov V.I. Osnovaniya, fundamenti i podzemnye sooruzheniya [Foundations, foundations and underground structures]. *Spravochnik proektirovshchika* [Designer Guide]. Moscow: Strojizdat Publ., 1985. 480 p.
3. Shvec V.B., Feklin V.I., Ginzburg L.K. *Usilenie i rekonstrukciya fundamentov* [Strengthening and reconstruction of foundations]. Moscow, Strojizdat Publ., 1985. 204 p.
4. Skibin G.M. Usilenie lentochного fundamenta sposobom podvedeniya fundamentnoj plity s nes'emnoy opalubkoj [Strengthening the strip foundation by means of laying the foundation plate with fixed formwork]. *Fundamenti glubokogo zalozeniya i geotekhnicheskie problemy territorij: materialy Vserossijskoj nacional'noj konferencii s Mezhdunarodnym uchastiem, (g. Perm', 29–31 maya 2017 g.)*. *Perm'skij nacional'nyj issledovatel'skij politekhnicheskij universitet* [Deep foundation and geotechnical problems of the territories: materials of the All-Russian National Conference with International Participation, (Perm, May 29–31, 2017 g.) / Perm National Research Polytechnic University]. Perm': PNIPU Publ., 2017.
5. Skibin G.M., Subbotin V.A. Sposob usileniya lentochnyh fundamentov melkogo zalozeniya/ Pat. 2692383 Ros. Federaciya: SPK E03D 27/08 [A method of strengthening the tape foundations of shallow laying / Pat. 2692383 Ros. Federation: СПК E03D 27/08]. *Yuzhno-Rossijskij gosudarstvennyj politekhnicheskij universitet (NPI) im. M.I. Platova. № 2018134888; zayavl. 02.10.2018; opubl. 24.06.2019, Byul. № 18* [South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platova. No. 2018134888; declared 10/02/2018; publ. 06/24/2019, Bull. Number 18].
6. Saurin A.N., Ryabinkin N.F., Filatova M.V. Opyt ustrojstva armirovannogo buronabivnymi svayami osnovaniya fundamentnoj plity [The experience of construction of foundation foundation slab reinforced with bored piles]. *Innovacionnye konstrukcii i tekhnologii v fundamentostroenii i geotekhnike: materialy nauch.-tekhn. konf. s mezhdunar. uchastiem, 27–29 okt. 2013 g.* / *In-t ekonomiki i predprinimatel'stva* [Innovative constructions and technologies in foundation engineering and geotechnics: materials of scientific and technical. conf. from the international participation, October 27–29. 2013 / Institute of Economics and Entrepreneurship]. Moscow, INEP: Paleotip Publ., 2013, pp. 299–303.
7. Polishchuk A.I., Samarin D.G., Filippovich A.A. Podhod k raschetu usileniya lentochnyh fundamentov in'ekcionnymi svayami pri ih sovmestnoj rabote v glinistyh gruntah / *Innovacionnye konstrukcii i tekhnologii v fundamentostroenii i geotekhnike: materialy nauchno-tekhnicheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, 27–29 okt. 2013 g.* [An approach to calculating the reinforcement of strip foundations by injection piles when they work together in clay soils / Innovative designs and technologies in foundation engineering and geotechnics: materials of a scientific and technical conference with international participation, October 27–29. 2013]. *In-t ekonomiki i predprinimatel'stva* [Institute of Economics and Entrepreneurship]. Moscow: INEP: Paleotip Publ., 2013, pp. 214–221.
8. Zotov M.V. Vyravnivanie mnogoetazhnyh zdaniy v usloviyah sejsmicheskogo vozdejstviya [Alignment of multi-storey buildings under seismic impact]. *Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov* [Foundations, foundations and soil mechanics]. 2003, I. 4, pp. 24–27.
9. Zotov M.V. Povyshenie bezopasnosti vyravnivaniya zdaniy s ispol'zovaniem mikroprocessornyh sistem registracii parametrov pod'ema [Improving the safety of building alignment using microprocessor-based systems for registering lift parameters]. *Georgian engineering news* [Georgian engineering news]. 2006, I. 1, pp. 220–226.
10. Zotov M.V. Opyt pod'ema pamyatnika kul'turnogo naslediya v Moskve s pomoshch'yu gidrodomkratnoj sistemy [The experience of raising a cultural heritage monument in Moscow using a hydraulic jack system]. *Osnovaniya i fundamenti i mekhanika gruntov* [Foundations and foundations and soil mechanics]. Moscow: 2008, I. 5, pp. 13–15.
11. Skibin G.M., Subbotin A.I., Klimentko M.Yu., Prihod'ko A.P. Geotekhnicheskij analiz obsledovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nyh konstrukcij zdaniya Shahtinskogo instituta (filiala) YuRGPU (NPI) imeni M.I. Platova [Geotechnical analysis of the inspection of the technical condition of building structures of the building of the Shakhty Institute (branch) of the SRIHPU (NPI) named after M.I. Platova]. *Informacionnye tekhnologii v obsledovanii ekspluatiruemyh zdaniy i sooruzhenij: materialy XIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 30 okt. 2014 g., g. Novoherkassk / Yuzhno-Rossijskij gosudarstvennyj politekhnicheskij universitet (NPI) imeni M.I. Platova* [Information technology in the survey of operated buildings and structures: materials of the XIV International Scientific and Practical Conference, October 30 2014, Novoherkassk / South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platova]. Novoherkassk YuRGPU Publ., 2014, pp. 194–201.
12. Subbotin A.I., Subbotin V.A., Subbotin I.A. Opredelenie prichin razvitiya defektov v stroitel'nyh konstrukciyah zhilogo doma po ul. Kalinina, 77-a v g. Taganroge Rostovskoj oblasti / *Informacionnye tekhnologii v obsledovanii ekspluatiruemyh zdaniy i sooruzhenij: materialy XII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, g. Novoherkassk, 30 okt. 2012 g.* [Determining the causes of the development of defects in the building structures of a residential building on the street. Kalinina, 77-a in Taganrog, Rostov Region / Information technology in the survey of operated buildings and structures: materials of the XII International Scientific and Practical Conference, Novoherkassk, October 30. 2012]. *Yuzhno-Rossijskij gosudarstvennyj politekhnicheskij universitet (NPI)* [South Russian State Technical University (NPI)]. Novoherkassk: YuRGTU Publ., 2012, pp. 152–154.

13. Subbotin A.I., Subbotin V.A., Subbotin I.A., Zyablicev V.E. Nekotorye oshibki pri stroitel'stve chastnyh zhilyh domov [Some errors in the construction of private residential buildings]. *Informacionnye tekhnologii v obsledovanii ekspluatiruemyykh zdaniy i sooruzheniy: materialy XVI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii, g. Novochoerkassk, 15 noya. 2016 g. / Yuzhno-Rossiyskiy gosudarstvennyy politekhnicheskij universitet (NPI)* [Information technology in the survey of operated buildings and structures: materials of the XVI International scientific and practical conference, Novochoerkassk, November 15. 2016]. Novochoerkassk: YuRGPU Publ., 2016, pp. 211–216.
14. Skibin M.G. Osobennosti izmeneniya napryazheniy v konstrukciyah zdaniy pri ustrojstve v nih reguliruemyykh fundamentov [Features of changes in stresses in the structures of buildings with the installation of adjustable foundations in them]. *Mezhvuzov. temat. sbornik trudov: Nauchno-prakticheskie i teoreticheskie problemy geotekhniki* [Interuniversity. topics Proceedings: Scientific, practical and theoretical problems of geotechnics]. V. 1. St. Petersburg, 2009.
15. Pronozin Ya.A. Raschetnoe modelirovanie vzaimodejstviya membrannogo fundamenta na gruntovom osnovanii [Numerical simulation of the interaction of the membrane foundation on a soil foundation]. *Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya: Mekhanika gruntov v geotekhnike i fundamentostroenii* [All-Russian Scientific and Practical Conference: Soil Mechanics in Geotechnics and Foundation Engineering]. Novochoerkassk, 2012, pp. 256–263.
16. Pronozin Ya.A. Lentochnye fundamenty melkogo zalozheniya, ob"edinennye pologimi obolochkami, na sil'noszhimayemykh gruntah [Tape foundations of shallow laying united by gently sloping shells on highly compressible soils]. *Osnovaniya, fundamenty, mekhanika gruntov. Ser.: Mekhanika gruntov* [Foundations, foundations, soil mechanics]. I. 4, Moscow, 2014, pp. 2–6.
17. Pronozin Ya.A. Ustrojstvo lentochnykh fundamentov melkogo zalozheniya, ob"edinennykh pologimi obolochkami [The device of tape foundations of shallow laying united by gently sloping shells]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva* [Mechanization of construction]. 2014, I. 9, pp. 9–14.
18. Pronozin Ya.A. Lentochnye fundamenty, ob"edinennye pologimi cilindricheskimi obolochkami, dlya zdaniy povyshennoj etazhnosti [Strip foundations united by gently sloping cylindrical shells for high-rise buildings]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil engineering]. 2015, I. 12, pp. 58–62.
19. Epifanceva L.R. Eksperimental'nye issledovaniya vzaimodejstviya membrannogo fundamenta s glinistym osnovaniem [Experimental studies of the interaction of the membrane base with a clay base]. *Vestnik SpbGASU* [Bulletin of SPbGASU]. St. Petersburg, 2013, I. 3, pp. 65–68.
20. Subbotin A.I. Automated System for Experimental Study of Foundation Bases Performance / A.I. Subbotin, M.G. Skibin // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150: 2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016; Chelyabinsk; Russian Federation; 19 May 2016 through 20 May 2016. P. 2250–2254.
21. Florin V.A. *Raschetnyy gidrotekhnicheskij sooruzheniy* [Calculations of the foundations of hydraulic structures]. Moscow: Gosstrojizdat Publ., 1948. 188 p.
22. Murzenko Yu.N. *Eksperimental'no-teoreticheskie issledovaniya silovogo vzaimodejstviya fundamentov i peschanogo osnovaniya. Dokt. Diss.* [Experimental and theoretical studies of the force interaction of foundations and sandy foundations. Doct. Diss.]. Novochoerkassk, 1972. 576 p.
23. Murzenko Yu.N. *Rezultaty eksperimental'nykh issledovaniy haraktera raspredeleniya normal'nykh kontaktnykh napryazhenij po podoshve zhestkih fundamentov na peschanom osnovanii. Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov* [The results of experimental studies of the nature of the distribution of normal contact stresses on the soles of rigid foundations on a sandy foundation. Foundations, foundations and soil mechanics]. 1965, I. 2.
24. Murzenko Yu.N. *Raschet osnovanij zdaniy i sooruzhenij v uprugoplasticheskoj stadii raboty s primeneniem EVM* [The calculation of the foundations of buildings and structures in the elastic-plastic stage of work with the use of computers]. Leningrad: Strojizdat, Leningr. otd-nie Publ., 1989. 135 p.
25. Murzenko Yu.N., Galashev Yu.V., Dyba V.P. Eksperimental'nye issledovaniya tenzora deformatsii i tenzora napryazhenij po osi kruglogo shtampa na peschanom osnovanii [Experimental studies of the strain tensor and stress tensor along the axis of a circular stamp on a sandy foundation]. *Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya osnovanij i fundamentov. NPI* [Research of the stress-strain state of foundations and foundations]. Novochoerkassk, 1977, pp. 23–27.
26. Murzenko Yu.N., Evtushenko S.I. *Eksperimental'nye issledovaniya raboty kraevoy zony sbornyykh fundamentov pod otdel'nuyu kolonnu i setku kolonn na peschanom osnovanii* [Experimental studies of the work of the marginal zone of prefabricated foundations for a separate column and a grid of columns on a sandy base]. Rostov-on-Don: "Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region" Publ., 2008. 248 p.
27. Subbotin A.I. Modelirovanie raboty osnovanij fundamentnykh plit pri eksperimental'nykh issledovaniyakh na modelyah [Modeling the work of the foundations of foundation slabs during experimental studies on models]. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Povolzh'ya* [Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region]. 2015, I. 2, pp. 179–182.
28. Skibin G.M., Evtushenko S.I. *Eksperimental'nye issledovaniya raboty kraevoy zony protyazhennykh v plane fundamentov na peschanom osnovanii* [Experimental studies of the work of the edge zone of long foundations in terms of foundations on a sandy base]. Rostov-on-Don: "Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region" Publ., 2008. 192 p.
29. Evtushenko S.I., Krakhmal'nyi T.A. Investigation of the Behavior of Strip Foundations with Complex Configuration of the Base (2017) *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 54 (3), pp. 169–172. DOI: 10.1007/s11204-017-9452-6.
30. Evtushenko S.I., Krakhmal'nyi T.A., Krakhmal'nay M.P. New designs of the combined tape bases providing fuller use of the bearing ability of the basis / 8th Asian Young Geotechnical Engineering Conference 8AYGEC 2016, Astana, Kazakhstan, 5–7 August 2016, Kod 177939 // (2016) Challenges and Innovations in Geotechnics : Proceedings of the 8th Asian Young Geotechnical Engineering Conference, 8AYGEC 2016, pp. 147–150. DOI: 10.1201/b-9781315374949-29.
31. Gorbunov-Posadov M.I., Malikova T.A. *Raschet konstrukcij na uprugom osnovanii* [Calculation of structures on an elastic foundation]. Moscow: Strojizdat Publ., 1973.