

## Дискретные и непрерывные модели в расчетах несущей способности грунтовых массивов, укрепленных геосинтетикой

УДК 624.154.5

Субботин И.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: ignat.subbotin@yandex.ru

Статья получена: 29.10.2020. Рассмотрена: 03.11.2020. Одобрена: 03.12.2020. Опубликовано онлайн: 30.12.2020. ©РИОР

**Аннотация.** В статье рассматриваются непрерывные и дискретные модели грунтовой среды на примерах расчетов при действии полосовой нагрузки с пригрузкой на плоскость. Рассмотрены варианты расчета как откосов, так и грунтового основания под фундаменты в условиях естественной, искусственной и композитной сред. Приводится теоретический метод расчета несущей способности композитной среды грунтового основания анизотропного по сопротивлению сдвигу. Приводятся формулы и графики результатов расчета сравниваемых грунтовых условий и дается их количественная оценка прочности по сравнению с естественной средой.

**Ключевые слова:** грунтовые массивы, непрерывные и дискретные модели грунтовой среды, грунтовое основание под фундаменты, расчета несущей способности композитной среды грунтового основания, анизотропное по сопротивлению сдвигу грунтовая среда, моделирования дискретной среды, предельный анализ пластических систем, песчано-гравийная смесь.

Модели непрерывных сред (линейно упругое тело, нелинейно упругое тело, жесткопластическое тело и т.п. [1–3]) широко используются в расчетах строительных конструкций, оснований, фундаментов потому что позволяют применять методы математического анализа, в частности, дифференциальные уравнения. При этом строительный материал может быть дискретным (нескальный грунт, железобетон и т.д.).

Развитие цифровых вычислительных машин вызвало обратную тенденцию сведения непрерывных задач к дискретным задачам. Непрерывные задачи линейной и нелинейной теории упругости дискретизируются методом конечных элементов (МКЭ). Эти задачи сводятся, в конечном счете, к алгебраическим системам линейных уравнений. Различные программные комплексы с помощью МКЭ успешно рассчитывают строительные конструкции по деформациям (по *SLS*). Однако при расчете по несущей способности (по *ULS*) появляются теоретические сложности.

### DISCRETE AND CONTINUOUS MODELS IN CALCULATING THE BEARING CAPACITY OF SOIL MASSIFS REINFORCED WITH GEOSYNTHETICS

Subbotin I.A.

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

**Manuscript received:** 29.10.2020. **Revised:** 03.11.2020. **Accepted:** 03.12.2020. **Published online:** 30.12.2020. ©РИОР

**Abstract.** The article discusses continuous and discrete models of the soil environment on the examples of calculations under the action of a strip load with surcharge on a plane. The options for

calculating both slopes and soil base for foundations in natural, artificial and composite environments are considered. A theoretical method for calculating the bearing capacity of a composite medium of a subsoil that is anisotropic in shear resistance is presented. Formulas and graphs of the results of calculating the compared soil conditions are given and their quantitative assessment of strength in comparison with the natural environment is given.

**Keywords:** soil masses, continuous and discrete soil models, soil base for foundations, calculation of the bearing capacity of a composite medium of a soil foundation, anisotropic soil medium in shear resistance, modeling of a discrete medium, limiting analysis of plastic systems, sand and gravel mixture.

Используемые в программных комплексах линейная и нелинейная упругие модели не могут описать разрушение тела и, следовательно, указать предельную силу. Проблема не снимается использованием моделей тел, описываемых деформационной теорией пластичности или теорией пластического течения с упрочнением. И в этом случае вопрос о возможности разрушения остается открытым, а сама модель упрочняющегося тела не содержит элемента, позволяющего ставить вопрос о разрушении. Поиск разрушающей силы возможен в рамках модели теории идеальной пластичности, используемой непосредственно или в виде предельной поверхности текучести в моделях с упрочнением.

Проблема расчета по *ULS* пластических систем, включающих грунтовые массивы, *укрепленные геосинтетикой* [4–8], может быть решена выбором непрерывной жестко пластической модели анизотропной по сопротивлению сдвигу среды.

Этому способствуют три обстоятельства.

Во-первых, существуют аналитические решения задачи о предельной полосовой нагрузке с пригрузкой на анизотропное по сопротивлению сдвигу грунтовое основание [9,10].

Во-вторых, есть методика моделирования дискретной среды (песчаной гравийной смеси, периодически переложенной геосинтетикой) непрерывной жестко пластической средой анизотропной по сопротивлению сдвигу [11].

Третьим условием успешного расчета является применение предельного анализа пластических систем.

2. Рассмотрим результаты исследований [10].

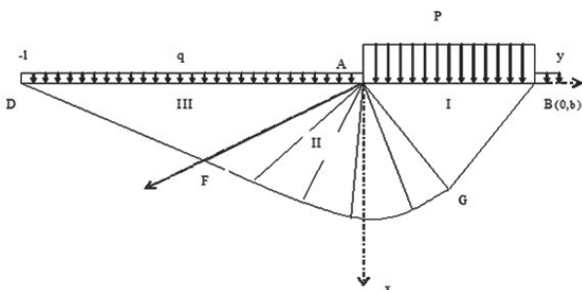


Рис. 1. Предельная полосовая нагрузка на анизотропное по сопротивлению сдвигу грунтовое основание

$$g'(\theta) = \frac{C'(\theta) - A'(\theta)g(\theta) \pm \sqrt{[A'(\theta)g(\theta) - C'(\theta)]^2 + 4A(\theta)[(A(\theta) - 1)g(\theta) - C(\theta)]^2}}{2A(\theta)} \quad (2)$$

При фиксированном положении системы *XOY* относительно анизотропного по сопротивлению сдвигу основания прочностные характеристики будут являться функциями угла  $\theta$  между первым главным направлением тензора напряжений и осью *OX*. Следовательно, подлежат экспериментальному определению функции  $A = A(\theta)$ ,  $C = C(\theta)$ , а условие прочности (пластичности) запишется так:

$$\sigma_3 = -C(\theta) + A(\theta)\sigma_1 \quad (1)$$

Решение задачи нахождения предельной нагрузки сводится к решению нелинейного дифференциального уравнения первого порядка (уравнение (2)).

Пусть функция  $g(\theta)$  определена из уравнения (2), причем начальное условие к нему определяется из непрерывности напряжений на границе зон III и II:  $g(0) = -q$ . Тогда предельное давление определяется формулой

$$P = C\left(\frac{\pi}{2}\right) - g\left(\frac{\pi}{2}\right) \cdot A\left(\frac{\pi}{2}\right) \quad (3)$$

Ясно, что в общем случае произвольных функций  $A(\theta)$ ,  $C(\theta)$  уравнение (2) приходится решать численными методами. Однако в ряде частных случаев предельная сила (3) может быть представлена в замкнутой аналитической форме. Рассмотрим некоторые из них.

Допустим, что грунтовое основание сложено сыпучими грунтами, т.е.  $C(\theta) \equiv 0$ . Тогда формула (3) перейдет в формулу (4).

$$P = qA\left(\frac{\pi}{2}\right) e^{\frac{1}{2} \ln \frac{A(0)}{A\left(\frac{\pi}{2}\right)} + \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{[(\ln A(t))']^2 + \frac{[A(t)-1]^2}{A(t)}} dt} \quad (4)$$

Заметим, что при подстановке в формулу (4)

$$A(\theta) \equiv A = \text{const},$$

она перейдет в известную формулу несущей способности сыпучего основания

$$P = Ae^{\frac{\pi(A-1)}{2\sqrt{A}}} q.$$

Допустим, что грунтовое основание сложено связными грунтами с пренебрежимо малым внутренним трением. В этом случае условие прочности запишется так:

$$\sigma_3 = -C(\theta) + A(\theta)\sigma_1.$$

Отсюда вытекает формула несущей способности:

$$P = \frac{C\left(\frac{\pi}{2}\right) + C(0)}{2} + \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{[C'(\theta)]^2 + 4[C(\theta)]^2} d\theta + q. \quad (5)$$

Заметим, что при подстановке в формулу (5)  $C(\theta) = 2c_T$ , получим известную формулу несущей способности чисто связной среды:

$$P = q + (2 + \pi)c_T.$$

Формулы (3–5) определяют несущую способность невесомого грунтового основания и, следовательно, являются нижней оценкой реальной несущей способности основания.

Учесть удельный вес грунта, увеличив тем самым нижнюю оценку, можно с помощью приближенного приема, предложенного В.В. Соколовским [12] и обобщенного на условие (1) в работе [10].

3. Рассмотрим методику моделирования дискретной среды (песчаной гравийной смеси, периодически переложённой геосинтетикой) непрерывной жестко пластической средой анизотропной по сопротивлению сдвигу [11].

Рассмотрим произвольный представительский (репрезентативный) объем композитного основания (рис. 2), находящийся в предельном состоянии. Если этот объем расположен в зоне активного предельного напряженного состояния (см. рис. 1) III, то наличие слоев геосинтетички, перпендикулярных первому главному направлению, не приведет к значительному упрочнению этого объема грунта (рис. 2, а). Если же этот объем расположен в зоне пассивного предельного напряженного состояния I

(рис. 1), то наличие слоев геосинтетички, параллельных первому главному направлению, значительно упрочит этот объема грунта в зависимости от величины прочности геосинтетички на разрыв (рис. 2, б).

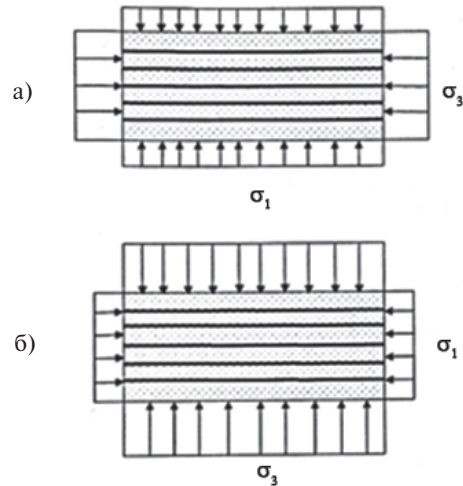


Рис. 2. К концепции прочности композитной среды

Пусть произвольный представительский объем основания, грани которого совпадают с главными площадками, находится в области централизованной волны II. Угол между первым главным направлением и слоями геосинтетички  $\theta$  равен  $\pi/2$  и изменяется от  $\pi/2$  до 0 по области II.

Вопрос об увеличении прочности объема грунтовой среды, укрепленной наклонными слоями геосинтетички, может быть исследован экспериментально.

В работе [11] выдвинута *расчетная гипотеза* о линейной зависимости прочностных характеристик  $A$  и  $C$  от угла  $\theta$ . При этом прочностные характеристики в области III принимаются как для грунта без геосинтетички. А в области I к сцеплению грунта добавляем «эквивалентное» сцепление, рассчитанное как отношение разрывного усилия геосинтетички к соответствующей площадке.

Пусть, например, основание из песчано-гравийной смеси, не имеющей сцепления, но обладающее углом внутреннего трения  $\varphi = 30^\circ$ , через каждый метр переложено горизонтальными слоями стабитекса. Разрывное усилие метровой полосы стабитекса 80 кН. Следовательно, в этом случае в области I появится «эквивалентное» сцепление  $c_s = 80 \text{ кН/м}^2$ . Допустим,

что пригрузка  $q = 20 \text{ кН/м}^2$ . Будем считать, что внедрение геосинтетики не увеличивает угол внутреннего трения и, следовательно, параметр  $A$ , равный 3.

Выдвинутая гипотеза о линейной зависимости прочностных характеристик  $A(\theta)$ ,  $B(\theta)$  от угла  $\theta$  требует экспериментального и теоретического исследования с дальнейшей возможной коррекцией.

4. Рассмотрим некоторые задачи о несущей способности дискретных пластических систем, решение которых облегчается переходом к непрерывной модели.

**1. Задача о предельной полосовой нагрузке на анизотропное по сопротивлению сдвигу грунтовое основание.**

Данная задача представлена в пункте 2 настоящего текста. Её решение может быть использовано: а) при уточнении формулы предельного сопротивления грунтов основания в строительных правилах; б) при определении предельной нагрузки на композитное основание в виде песчаной гравийной смеси, переложённой горизонтальными слоями геосинтетики.

Изучим *нерассмотренный* в пункте 2 и в работе [2] частный случай анизотропного по сопротивлению сдвигу грунтового основания (рис. 3) с условием прочности

$$\sigma_3 = -C(\theta) + A\sigma_1. \quad (6)$$

В условии (6) принимаем параметр  $A = 3$ , а функцию — в виде  $C(\theta) = \frac{2\theta}{\pi} C_0$ .

Тогда уравнение (2) упростится и запишется в виде:

$$6g'(\theta) = \frac{2C_0}{\pi} - \sqrt{\left(\frac{2C_0}{\pi}\right)^2 + 12\left[2g(\theta) - \frac{2C_0}{\pi}\right]^2}. \quad (7)$$

Дифференциальное уравнение первого порядка (7) относительно неизвестной функции  $g(\theta)$  является уравнением с разделяющимися переменными. Его общий интеграл записывается так:

$$\theta = \int \frac{6dg}{k - \sqrt{k^2 + 12(2g - k)^2}} + D, \quad (8)$$

где  $k = \frac{2\theta}{\pi}$ , а  $D$  — произвольная постоянная интегрирования.

Пусть  $c_3 = 80 \text{ кН/м}^2$ , тогда  $C(\pi/2) = C_0 = 273,6 \text{ кН/м}^2$ . Пусть пригрузка  $q = 20 \text{ кН/м}^2$ .

По графику на рис. 5 при  $\theta = \pi/2$  находим  $g = -450 \text{ кН/м}^2$ . Тогда по формуле (3)

$$P = 273,6 + 450 - 3 = 1624 \text{ кН/м}^2.$$

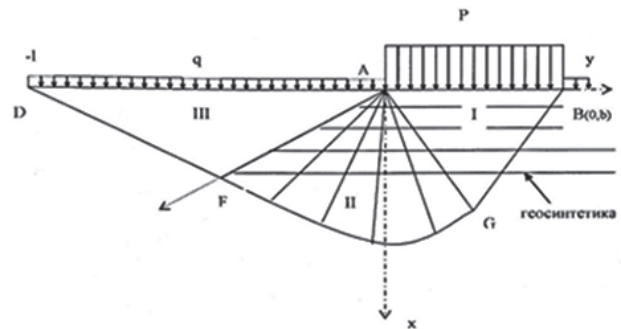


Рис. 3. Предельная полосовая нагрузка на композитное основание

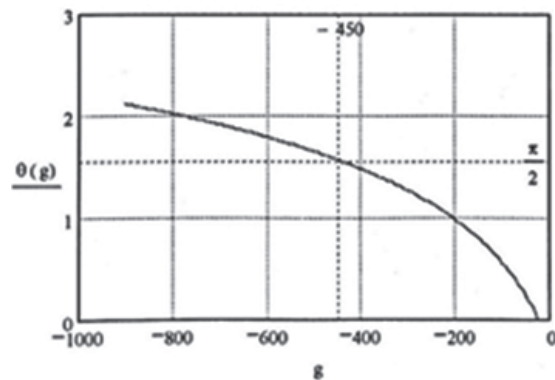


Рис. 4. График зависимости  $\theta$  от  $g$ , заданный формулой (8) при  $c_3 = 80 \text{ кН/м}^2$

**2. Увеличение несущей способности грунтов основания путем их замены на песчано-гравийную смесь, переложённую горизонтальными слоями геосинтетики**

5. Пусть, например, первоначальными грунтами основания под ленточные фундаменты здания служат связные грунты — суглинки, которые имеют угол внутреннего трения  $\varphi = 13,8^\circ$  и удельное сцепление  $c = 0,014 \text{ МПа}$ .

Предположим, что глубина заложения подошвы фундамента составляет  $h = 3,0 \text{ м}$ , где  $h$  — это глубина заложения подошвы фундамента, а удельный вес принятого в задаче суглинистого грунта  $\gamma = 1,69 \text{ г/см}^3$  или  $\gamma = 16,57 \text{ кН/м}^3$ . Тогда пригрузка  $q = \gamma h$  составит  $q = 3,0 \text{ м} * 16,57 \text{ кН/м}^3 = 49,71 \text{ кН/м}^2$  или  $0,0497 \text{ МПа}$ .



Предельное давление на грунт основания определяется известной формулой Кулона – Мора:

$$p_2 := A \cdot e^{\frac{\pi(A-1)}{2\sqrt{A}}} \left( q + \frac{C}{A-1} \right) - \frac{C}{A-1}, \quad (9),$$

где прочностные характеристики будут являться функциями угла  $\theta$  между первым главным направлением тензора напряжений и осью  $OX$  (рис. 1). Следовательно, подлежат экспериментальному определению функции  $A = A(\theta)$ ,  $C = C(\theta)$ :

$$C := \frac{2c \cos(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)} \quad A := \frac{1 + \sin(\varphi)}{1 - \sin(\varphi)},$$

откуда  $C = 0,036$  МПа и  $A = 1,627$ .

По итогу получим, что предельное давление на рассматриваемый грунт составит 0,316 МПа или 32,2 Т/м<sup>2</sup>, после чего произойдет его разрушение.

6. Теперь рассмотрим несущую способность сыпучего грунта (ПГС), устроенного вместо существующего глинистого методом выемки первоначального и засыпки последующего на глубину, равную 1,5 от ширины подошвы фундамента, так как напряжения, возникающие ниже этого уровня пренебрежительно малы.

При использовании в качестве основания ПГС  $C(\theta) \equiv 0$ , так как используется несвязный грунт. Угол внутреннего трения для ПГС составляет  $\varphi = 31^\circ$ . Пригрузка будет составлять  $q = 3,0 \text{ м} * 20,0 \text{ кН/м}^3 = 60,0 \text{ кН/м}^2$ , или 0,06 МПа.

Далее получим следующие прочностные характеристики  $C = 0$  МПа и  $A = 3$ .

Для данной задачи справедлив частный случай анизотропного по сопротивлению сдвигу грунтового основания (рис. 3) с условием прочности (6)

В условии (6) принимаем параметр  $A = 3$ , а функцию в виде  $C(\theta) = \frac{2\theta}{\pi} C_0$ .

Тогда уравнение (2) упростится и запишется в виде (7).

Пусть сцепление  $c = 0$  кН/м<sup>2</sup>, тогда  $C(\pi/2) = C_0 = 0$  кН/м<sup>2</sup>. Тогда пригрузка  $q = \gamma h$  составит  $q = 3,0 \text{ м} * 20,0 \text{ кН/м}^3 = 60,0 \text{ кН/м}^2$ , или 0,06 МПа.

По графику на рис. 5 при  $\theta = \pi/2$  находим  $g = -120$  кН/м<sup>2</sup>.

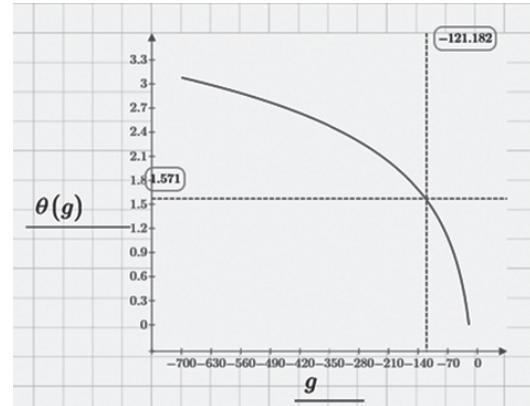


Рис. 5. График зависимости  $\theta$  от  $g$ , заданный формулой (8) при  $c = 0$  кН/м<sup>2</sup>

Тогда по формуле (3):

$$P = 0 + 120 * 3 = 360 \text{ кН/м}^2.$$

Предельное давление на грунт из ПГС, переложный горизонтальными слоями геосинтетики, составит 0,36 МПа или 36,7 Т/м<sup>2</sup>, после чего произойдет разрушение грунта. Однако несущая способность ПГС незначительно выше рассматриваемого ранее суглинистого грунта с определенными характеристиками из-за отсутствия сцепления частиц у несвязного грунта.

7. Поэтому в следующем примере, представленными ниже, рассмотрим несущую способность сыпучего грунта (ПГС), переложного горизонтальными слоями геосинтетики.

Пусть, например, основание из песчано-гравийной смеси, не имеющей сцепления, но обладающее углом внутреннего трения  $\gamma = 31^\circ$  через каждые 1,0 м переложено горизонтальными слоями «стабитекса» с разрывной нагрузкой 50 кН/м (прочность, обозначенная производителем). Тогда в области I появится «эквивалентное» сцепление  $c_s = 50$  кН/м<sup>2</sup>. Допустим, что пригрузка  $q = 20$  кН/м<sup>2</sup>. Будем считать, что внедрение геосинтетики не увеличивает угол *внутреннего трения* и, следовательно, параметр  $A$ , равный 3.

Для данной задачи справедлив частный случай анизотропного по сопротивлению сдвигу грунтового основания (рис. 3) с условием прочности (6).

В условии (6) принимаем параметр  $A = 3$  находим также (7) и (8).

Если принимаем  $c_s = 50$  кН/м<sup>2</sup>, тогда  $C(\pi/2) = C_0 = 177$  кН/м<sup>2</sup>. Пусть пригрузка  $q = \gamma h$  составит  $q = 3,0 \text{ м} * 20,0 \text{ кН/м}^3 = 60,0 \text{ кН/м}^2$ , или 0,06 МПа.

По графику на рис. 6 при  $\theta = \pi/2$  находим  $g = -336 \text{ кН/м}^2$ .

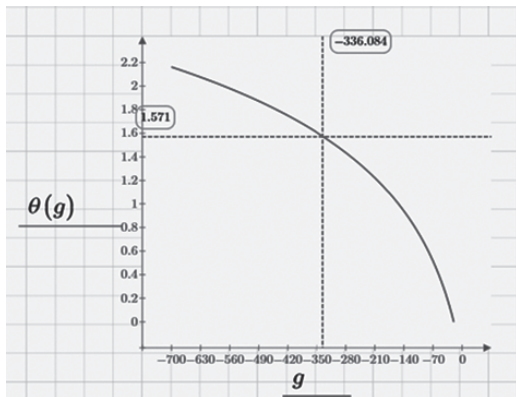


Рис. 6. График зависимости  $\theta$  от  $g$ , заданный формулой (8) при  $c_s = 50 \text{ кН/м}^2$

Тогда по формуле (3):

$$P = 177 + 336 * 3 = 1185 \text{ кН/м}^2.$$

Предельное давление на грунт из ПГС, переложенный горизонтальными слоями геосинтетики, составит 1,185 МПа или  $120,0 \text{ Т/м}^2$ , после чего произойдет разрушение грунта.

### 3. Заключение

Несущая способность несвязного грунта из ПГС, переложенного слоями геосинтетики, в данном рассмотренном случае увеличилась на 327% по сравнению с обычным слоем ПГС и на 372% по сравнению с принятым суглинистым грунтом.

## Литература

1. *Цытович Н.А.* Основы прикладной геомеханики в строительстве [Текст] / Н.А. Цытович, З.Г. Тер-Мартirosян. — М.: Высшая школа, 1981. — 292 с.
2. *Зарецкий Ю.К.* Лекции по современной механике грунтов [Текст] / Ю.К. Зарецкий. — М.: Изд-во РГУ, 1989. — 608 с.
3. *Малышев М.В.* Прочность грунтов и устойчивость оснований сооружений [Текст] / М.В. Малышев. — М.: Стройиздат, 1980. — 137 с.
4. *Бугров А.К.* Анизотропные грунты и основания сооружений [Текст] / А.К. Бугров, А.И. Голубев. — СПб.: Недра, 1993. — 245 с.
5. *Школа А.В.* Анизотропия прочностных свойств лессовых грунтов и расчет несущей способности с ее учетом [Текст] / А.В. Школа / В кн.: Лессовые просадочные грунты как основания зданий и сооружений. Кн. 2. Ч. 2. — Барнаул, 1990. — С. 212–217.
6. *Батугин С.А.* Анизотропия массива горных пород [Текст] / С.А. Батугин. — Новосибирск: Наука, 1988. — 86 с.
7. *Дыба В.П.* Несущая способность анизотропного по сопротивлению сдвигу грунтового основания, нагружаемого полосовой нагрузкой с пригрузкой [Текст] / В.П. Дыба. — Новочеркасск: Изд-во НГТУ, 1995. — 9 с. Деп. в ВНИИТИ 19.07.95, № 2207-В95.
8. *Школа А.В.* Расчет несущей способности анизотропных по сопротивлению сдвигу нескальных оснований гидротехнических сооружений [Текст] / А.В. Школа // Гидротехническое строительство. — 1989. — № 4. — С. 22–24.
9. *Дыба В.П.* Оценки несущей способности фундаментов [Текст]: монография / В.П. Дыба. — Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ, 2008. — 200 с.
10. *Дыба П.В.* Несущая способность укрепленных геотекстилем откосов [Текст] / В.П. Дыба // Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении: материалы всероссийской научно-технической конференции, г. Новочеркасск 7–8 июня 2012 г. — Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ(НПИ), 2012. — С. 365–370.
11. *Соколовский В.В.* О приближенном приеме в статике сыпучей среды [Текст] / В.В. Соколовский // ПММ. — 1952. — Т. 16. — Вып. 2. — С. 246–248.
12. Справочник по общестроительным работам. Основания и фундаменты [Текст] / под общ. ред. М.И. Смородинова. — М.: Стройиздат, 1974. — 372 с.
13. *Горбунов-Посадов М.И.* Основания, фундаменты и подземные сооружения [Текст] / М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др.; Справочник проектировщика / под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. — М.: Стройиздат, 1985. — 480 с.
14. *Швец В.Б.* Усиление и реконструкция фундаментов [Текст] / В.Б. Швец, В.И. Феклин, Л.К. Гинзбург. — М.: Стройиздат, 1985. — 204 с.
15. *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 Всерос. национал. конф. с междунар. участием (г. Пермь, 29–31 мая 2017 г.) / Перм. национал. исслед. политехн. ун-та. — Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2017.
16. *Скибин Г.М.* Способ усиления ленточных фундаментов мелкого заложения [Текст] / Г.М. Скибин, В.А. Субботин / Пат. 2692383 Рос. Федерация: СПК Е03D 27/08/ Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. — № 2018134888; заявление 02.10.2018; опублик. 24.06.2019. Бюл. № 18.
17. *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.
18. *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 науч.-техн. конф. с междунар. участием, 27–29 окт. 2013 г. / Ин-т экономики и предпринимательства. — М.: ИНЭП, Палеотип, 2013. — С. 214–221.
19. *Зотов М.В.* Выравнивание многоэтажных зданий в условиях сейсмического воздействия [Текст] / М.В. Зотов // Основания, фундаменты и механика грунтов. — 2003. — № 4. — С. 24–27.

20. *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.
21. *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.
22. *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 и др. // *Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений: материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф.*, 30 окт. 2014 г., г. Новочеркасск / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) имени М.И. Платова. — Новочеркасск: Изд-во ЮРГПУ, 2014. — С. 194–201.
23. *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 Междунар. науч.-практ. конф.*, г. Новочеркасск, 30 окт. 2012 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). — Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ, 2012. — С. 152–154.
24. *Субботин А.И.* Некоторые ошибки при строительстве частных жилых домов [Текст] / А.И. Субботин, В.А. Субботин, И.А. Субботин, В.Э. Зяблищев // *Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений: материалы XVI Междунар. науч.-практ. конф.*, г. Новочеркасск, 15 ноя. 2016 г. / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ). — Новочеркасск: Изд-во ЮРГПУ, 2016. — С. 211–216.
25. *Скибин М.Г.* 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.
26. *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.
27. *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.
28. *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.
29. *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.
30. *Епифанцева Л.Р.* Экспериментальные исследования взаимодействия мембранного фундамента с глинистым основанием [Текст] / Л.Р. Епифанцева // *Вестник СПбГАСУ*. — 2013. — № 3. — С. 65–68.
31. *Subbotin A.I.* Automated System for Experimental Study of Foundation Bases Performance / A.I. Subbotin, M.G. Skibin // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150: 2<sup>nd</sup> International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016; Chelyabinsk; Russian Federation; 19 May 2016 through 20 May 2016. P. 2250–2254.
32. *Флорин В.А.* Расчеты оснований гидротехнических сооружений [Текст] / В.А. Флорин. — М.: Госстройиздат, 1948. — 188 с.
33. *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.
34. *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.
35. *Мурзенко Ю.Н.* Расчет оснований зданий и сооружений в упруго-пластической стадии работы с применением ЭВМ: науч. издание [Текст] / Ю.Н. Мурзенко. — Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1989. — 135 с.
36. *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.
37. *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. Сев.-Кавк. регион», 2008. — 248 с.
38. *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.
39. *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. Сев.-Кавк. регион», 2008. — 192 с.
40. *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.
41. *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 / 8<sup>th</sup> Asian Young Geotechnical Engineering Conference 8AYGEC 2016, Astana, Kazakhstan, 5–7 August 2016, Код 177939 // (2016) *Challenges and Innovations in Geotechnics: Proceedings of the 8<sup>th</sup> Asian Young Geotechnical Engineering Conference*, 8AYGEC 2016, pp. 147–150. DOI: 10.1201/b-9781315374949-29.
42. *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. Cytovich N.A., Ter-Martirosjan Z.G. *Osnovy prikladnoy geomehaniki v stroitel'stve* [Foundations of Applied Geomechanics in Construction]. Moscow, Vysshaja shkola Publ., 1981. 292 p.
2. Zareckij Ju.K. *Lekcii po sovremennoj mehanike gruntov* [Lectures on modern soil mechanics]. RGU Publ., 1989. 608 p.



3. Malyshev M.V. *Prochnost' gruntov i ustojchivost' osnovanij sooruzhenij* [The strength of soils and the stability of the foundations of structures]. Moscow: Strojizdat Publ., 1980. 137 p.
4. Bugrov A.K., Golubev A.I. *Anizotropnye grunty i osnovanija sooruzhenij* [Anisotropic soils and foundations of structures]. St. Petersburg.: Nedra Publ., 1993. 245 p.
5. Shkola A.V. Anizotropija prochnostnyh svojstv lessovyh gruntov i raschet nesushhej sposobnosti s ee uchedom [Anisotropy of the strength properties of loess soils and calculation of the bearing capacity taking into account it]. *Lessovye prosadochnye grunty kak osnovanija zdaniy i sooruzheni* [Loess subsidence soils as foundations of buildings and structures]. Barnaul, 1990, pp. 212–217.
6. Batugin S.A. *Anizotropija massiva gornyh porod* [Anisotropy of the rock massif]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1988. 86 p.
7. Dyba V.P. *Nesushhaja sposobnost' anizotropnogo po soprotivleniju sdvigu gruntovogo osnovanija, nagruzaemogo polosovoj nagruzkoy s prigruzkoy* [Bearing capacity of a subgrade, anisotropic in shear resistance, loaded with a strip load with surcharge]. Novocheerkassk: NGTU Publ., 1995. 9 p.
8. Shkola A.V. Raschet nesushhej sposobnosti anizotropnyh po soprotivleniju sdvigu neskal'nyh osnovanij gidrotehnicheskikh sooruzhenij [Calculation of the bearing capacity of non-rocky foundations of hydraulic structures, anisotropic in shear resistance]. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical construction]. 1989, I. 4, pp. 22–24.
9. Dyba V.P. *Ocenki nesushhej sposobnosti fundamentov* [Estimates of the bearing capacity of foundations]. Juzh.-Ros. gos. tehn. u-t [Yuzh.-Ros. state tech. u-t]. Novocheerkassk: JuRGTU Publ., 2008. 200 p.
10. Dyba P.V. Nesushhaja sposobnost' ukreplennyh geotekstilom otkosov [Bearing capacity of slopes reinforced with geotextiles]. *Mehanika gruntov v geotehnike i fundamentostroenii: materialy vsrossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, g. Novocheerkassk 7–8 ijunja 2012g. / Juzh.-Ros. gos. tehn. un-t (NPI)* [Soil mechanics in geotechnics and foundation engineering: materials of the All-Russian scientific and technical conference, Novocheerkassk, June 7–8, 2012 / Yuzh.-Ros. state tech. un-t (NPI)]. Novocheerkassk: JuRGTU(NPI) Publ., 2012, pp. 365–370.
11. Sokolovskij V.V. *O priblizhennom prieme v statike sypuchej sredy. PMM* [Approximate reception in the statics of a granular medium. PMM]. V. 16, I. 2, 1952, pp. 246–248.
12. *Spravochnik po obshhestvoitel'nyh rabotam. Osnovanija i fundamente* [Reference book on general construction works. Foundations and foundations]. Moscow, Strojizdat Publ., 1974. 372 p.
13. Osnovanija, fundamente i podzemnye sooruzhenija [Bases, foundations and underground structures]. *Spravochnik proektirovshhika* [Designer handbook]. Moscow: Strojizdat Publ., 1985. 480 p.
14. *Usilenie i rekonstrukcija fundamentov* [Strengthening and reconstruction of foundations]. Moscow, Strojizdat Publ., 1985. 204 p.
15. Skibin G.M. Usilenie lentochnogo fundamenta sposobom podvedenija fundamentnoj plity s nes#emnoj opalubkoj [Strengthening the strip foundation by the method of bringing the foundation slab with fixed formwork]. *Fundamente glubokogo zalozenija i geotehnicheskie problemy territorij : materialy Vseros. nacional. konf. s Mezhdunar. uchastiem, (g. Perm', 29–31 maja 2017 g.) / Perm. nacional. issled. politehn. un-t* [Foundations of deep laying and geotechnical problems of territories: materials of All-Russian. national. conf. with Int. participation (Perm, May 29–31, 2017)]. Perm': PNIPU Publ., 2017.
16. Skibin G.M., Subbotin V.A. Sposob usilenija lentochnyh fundamentov melkogo zalozenija / Pat. 2692383 Ros. Federacija: SPK E03D 27/08 [Method for strengthening shallow strip foundations]. *Juzh.-Ros. gos. politehn. un-t (NPI) im. M.I. Platova* [Yuzh.-Ros. state polytechnic un-t (NPI) them. M.I. Platova].
17. Saurin A.N., Rjabinkin N.F., Filatova M.V. Opyt ustrojstva armirovannogo buronabivnymi svajami osnovanija fundamentnoj plity [Experience in the construction of a foundation slab base reinforced with bored piles]. *Innovacionnye konstrukcii i tehnologii v fundamentostroenii i geotehnike : materialy nauch.-tehn. konf. s mezhdunar. uchastiem, 27–29 okt. 2013 g. / In-t jekonomiki i predprinimatel'stva* [Innovative designs and technologies in foundation engineering and geotechnics: scientific and technical materials. conf. with int. participation, October 27–29. 2013 / Institute of Economics and Entrepreneurship]. Moscow: INJeP, Paleotip Publ., 2013, pp. 299–303.
18. Polishhuk A.I., Samarin D.G., Filippovich A.A. Podhod k raschetu usilenija lentochnyh fundamentov in#ekcionnymi svajami pri ih sovmestnoj rabote v glinistyh gruntah [An approach to calculating the reinforcement of strip foundations by injection piles when they work together in clayey soils]. *Innovacionnye konstrukcii i tehnologii v fundamentostroenii i geotehnike: materialy nauch.-tehn. konf. s mezhdunar. uchastiem, 27–29 okt. 2013 g. / In-t jekonomiki i predprinimatel'stva* [Innovative structures and technologies in foundation engineering and geotechnics: scientific and technical materials. conf. with int. participation, October 27–29. 2013 / Institute of Economics and Entrepreneurship]. Moscow: INJeP, Paleotip Publ., 2013, pp. 214–221.
19. Zotov M.V. Vyravnivanie mnogojetaznyh zdaniy v uslovijah sejsmicheskogo vozdejstvija [Leveling multi-storey buildings in seismic conditions]. *Osnovanija, fundamente i mehanika gruntov* [Foundations, foundations and soil mechanics]. 2003, I. 4, pp. 24–27.
20. Zotov M.V. *Povyshenie bezopasnosti vyravnivaniya zdaniy s ispol'zovaniem mikroprocessornyh sistem registracii parametrov pod#ema* [Improving the safety of leveling buildings using microprocessor-based systems for registering lift parameters]. Georgian engineering news. 2006, I. 1, pp. 220–226.
21. Zotov M. V. Opyt pod#ema pamjatnika kul'turnogo nasledija v Moskve s pomoshh'ju gidrodomkratnoj sistemy [Experience of lifting a cultural heritage monument in Moscow with the help of a hydraulic jack system]. *Osnovanija i fundamente i mehanika gruntov* [Foundations and foundations and soil mechanics]. Moscow: 2008, I. 5, pp. 13–15.
22. Skibin G.M., Subbotin A.I., Klimenko M.Ju., Prihod'ko A.P. i dr. Geotehnicheskij analiz obsledovanija tehniceskogo sostojanija stroitel'nyh konstrukcij zdaniya Shahtinskogo instituta (filiala) JuRGPU (NPI) imeni M.I. Platova [Geotechnical analysis of the survey of the technical condition of building structures of the building of the Shakhty Institute (branch) YRSPU (NPI) named after M.I. Platova]. *Informacionnye tehnologii v obsledovanii jekspluatiruemyh zdaniy i sooruzhenij: materialy XIV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 30 okt. 2014 g., g. Novocheerkassk / Juzh.-Ros. gos. politehn. un-t (NPI) imeni M.I. Platova* [Information technologies in the survey of buildings and structures in operation: materials of the XIV Intern. scientific-practical conf., 30 oct. 2014, Novocheerkassk / South-Ros. state polytechnic un-t (NPI) named after M.I. Platov]. Novocheerkassk: JuRGPU Publ., 2014, pp. 194–201.
23. Subbotin A.I., Subbotin V.A., Subbotin I.A. Opredelenie prichin razvitiya defektov v stroitel'nyh konstrukcijah zhilogo doma po ul. Kalinina, 77-a v g. Taganroge Rostovskoj oblasti [Determination of the reasons for the development of defects in the building structures of a residential building on the street. Kalinina, 77-a in the city of Taganrog, Rostov region]. *Informacionnye tehnologii v obsledovanii jekspluatiruemyh zdaniy i sooruzhenij: materialy XII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., g. Novocheerkassk, 30 okt. 2012 g. / Juzh.-Ros. gos. tehn. un-t (NPI)* [Information technology in the survey of buildings and structures in operation: materials of the XII Intern. scientific-practical conf., Novocheerkassk, October 30. 2012]. Novocheerkassk: JuRGTU Publ., 2012, pp. 152–154.



24. Subbotin A.I., Subbotin V.A., Subbotin I.A., Zjablicev V.Je. Nekotorye oshibki pri stroitel'stve chastnyh zhilyh domov [Some mistakes in the construction of private residential buildings]. *Informacionnye tehnologii v obsledovanii jekspluatiruemyh zdaniy i sooruzhenij: materialy XVI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., g. Novocherkassk, 15 noja. 2016 g. / Juzh.-Ros. gos. politehn. un-t (NPI)* [Information technology in the survey of buildings and structures in use: materials of the XVI Intern. scientific-practical conf., Novocherkassk, 15 nov. 2016 / South-Ros. state polytechnic un-t (NPI)]. Novocherkassk: JuRGPU Publ., 2016, pp. 211–216.
25. Skibin M.G. Osobennosti izmenenija naprjazhenij v konstrukcijah zdaniy pri ustrojstve v nih reguliruemyh fundamentov [Peculiarities of changes in stresses in building structures during the device of adjustable foundations]. *Mezhvuzov. temat. sbornik trudov: Nauchno-prakticheskie i teoreticheskie problemy geotekhniki* [Interuniversity. topics. collection of works: Scientific, practical and theoretical problems of geotechnics]. St. Petersburg, 2009. V. 1.
26. Pronozin Ja.A. Raschetnoe modelirovanie vzaimodejstviya membrannogo fundamenta na gruntovom osnovanii [Computational modeling of the interaction of a membrane foundation on a soil foundation]. *Vserossijskaja nauchno-prakticheskaja konferencija: Mehanika gruntov v geotekhnike i fundamentostroenii* [All-Russian Scientific and Practical Conference: Soil Mechanics in Geotechnics and Foundation Engineering]. Novocherkassk, 2012, pp. 256–263.
27. Pronozin Ja.A. Lentochnye fundamenty melkogo zalozenija, ob#edinennye pologimi obolochkami, na sil'noszhimaemyh gruntah [Shallow strip foundations, united by gently sloping shells on highly compressible soils]. *Osnovaniya, fundamenty, mehanika gruntov. Ser.: "Mehanika gruntov"* [Foundations, foundations, soil mechanics. Ser.: Soil mechanics]. I. 4. Moscow, 2014, pp. 2–6.
28. Pronozin Ja.A. Ustrojstvo lentochnyh fundamentov melkogo zalozenija, ob#edinennyh pologimi obolochkami [The device of shallow strip foundations, united by gentle shells]. *Mehanizacija stroitel'stva* [Mechanization of construction]. 2014, I. 9, pp. 9–14.
29. Pronozin Ja.A. Lentochnye fundamenty, ob#edinennye pologimi cilindricheskimi obolochkami, dlja zdaniy povyshennoj jetazhnosti [Tape foundations united by gentle cylindrical shells for high-rise buildings]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil construction]. 2015, I. 12, pp. 58–62.
30. Epifanceva L.R. Jeksperimental'nye issledovanija vzaimodejstviya membrannogo fundamenta s glinistym osnovaniem [Experimental studies of the interaction of a membrane basement with a clay base]. *Vestnik SpbGASU* [Bulletin of SpbGASU]. St. Petersburg, 2013. I. 3, pp. 65–68.
31. Subbotin A.I. Automated System for Experimental Study of Foundation Bases Performance / A.I. Subbotin, M.G. Skibin // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 150: 2<sup>nd</sup> International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016; Chelyabinsk; Russian Federation; 19 May 2016 through 20 May 2016. Pp. 2250–2254.
32. Florin V.A. *Raschety osnovanij gidrotehnicheskikh sooruzhenij* [Calculations of the foundations of hydraulic structures]. Moscow: Gosstrojizdat Publ., 1948. 188 p.
33. Murzenko Ju.N. *Jeksperimental'no-teoreticheskie issledovanija silovogo vzaimodejstviya fundamentov i peschanogo osnovanija. Dokt. Diss.* [Experimental and theoretical studies of the force interaction of foundations and sandy foundation. Doct. Diss.]. Novocherkassk, 1972. 576 p.
34. Murzenko Ju.N. Rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij haraktera raspredelenija normal'nyh kontaktnykh naprjazhenij po podoshve zhestkikh fundamentov na peschanom osnovanii [Results of experimental studies of the nature of the distribution of normal contact stresses along the bottom of rigid foundations on a sandy foundation]. *Osnovaniya, fundamenty i mehanika gruntov* [Foundations, foundations and soil mechanics], 1965, I. 2.
35. Murzenko Ju.N. *Raschet osnovanij zdaniy i sooruzhenij v uprugoplasticheskoj stadii raboty s primeneniem JeVM: nauch. izdanie* [Calculation of the foundations of buildings and structures in the elastic-plastic stage of work with the use of computers]. Leningrad: Strojizdat Publ., Leningr. otd-nie, 1989. 135 p.
36. Murzenko Ju.N., Galashev Ju.V., Dyba V.P. Jeksperimental'nye issledovanija tenzora deformacij i tenzora naprjazhenij po osi kruglogo shtampa na peschanom osnovanii [Experimental studies of the deformation tensor and stress tensor along the axis of a round stamp on a sandy foundation]. *Issledovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija osnovanij i fundamenov* [Research of the stress-strain state of foundations and foundations]. NPI Publ., Novocherkassk, 1977, pp. 23–27.
37. Murzenko Ju.N., Evtushenko S.I. *Jeksperimental'nye issledovanija raboty kraevoj zony sbornyh fundamentov pod otdel'nuju kolonnu i setku kolonn na peschanom osnovanii* [Experimental studies of the operation of the edge zone of prefabricated foundations for a separate column and a grid of columns on a sandy base]. Rostov on Don: "Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region" Publ., 2008. 248 p.
38. Subbotin A.I. Modelirovanie raboty osnovanij fundamentnyh plit pri jeksperimental'nyh issledovanijah na modeljah [Modeling the work of the foundations of foundation slabs in experimental studies on models]. *Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja* [Scientific and technical bulletin of the Volga region]. 2015, I. 2, pp. 179–182.
39. Skibin G.M., Evtushenko S.I. *Jeksperimental'nye issledovanija raboty kraevoj zony protjazhennyh v plane fundamentov na peschanom osnovanii* [Experimental studies of the operation of the marginal zone of foundations extended in plan on a sandy base]. Rostov on Don: "Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region" Publ., 2008. 192 p.
40. 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.
41. Evtushenko S.I., Krakhmal'nyi T.A., Krakhmal'nyj M.P. New designs of the combined tape bases providing fuller use of the bearing ability of the basis / 8<sup>th</sup> Asian Young Geotechnical Engineering Conference 8AYGEC 2016, Astana, Kazakhstan, 5–7 August 2016, Kod 177939 // (2016) Challenges and Innovations in Geotechnics: Proceedings of the 8<sup>th</sup> Asian Young Geotechnical Engineering Conference, 8AYGEC 2016, pp. 147–150. DOI: 10.1201/b-9781315374949-29.
42. Gorbunov-Posadov M.I., Malikova T.A. *Raschet konstrukcij na uprugom osnovanii* [Calculation of structures on an elastic foundation]. Moscow: Strojizdat Publ., 1973.