

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНДАМЕНТОВ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

В. Ф. Бай, В. С. Сафарян  
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF SHALLOW FOUNDATIONS

Vladimir F. Baj, Vage S. Safaryan  
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

**Аннотация.** Данная статья посвящена вопросу создания более эффективных конструкций фундаментов мелкого заложения. Рассмотрены способы оптимизации конструкций столбчатых и ленточных фундаментов, а также некоторые нестандартные фундаменты с «нетипичной», редко используемой в строительстве конструкцией; обозначены преимущества и недостатки тех или иных решений, их особенности.

**Ключевые слова:** строительство, фундамент, фундамент мелкого заложения, ленточный фундамент, столбчатый фундамент, неплоская подошва, измененная геометрия, механика грунтов, эффективность в строительстве

**Abstract.** This article focuses on the creation of more efficient designs of shallow foundations. The ways of optimizing the designs of pile foundations and strip foundations, as well as some non-standard foundations with rarely used ("atypical") construction are reviewed; the advantages and disadvantages of various solutions and their features are outlined.

**Key words:** construction, foundation, shallow foundation, strip foundation, pile foundation, non-flat base, modified geometry, soil mechanics, efficiency in construction

### Введение

Главным преимуществом любой строительной продукции, помимо прочности и надежности, является ее экономическая эффективность. Экономический эффект может быть выражен такими показателями, как трудоемкость и материалоемкость.

Несмотря на то, что в настоящее время можно строить невероятно высокие, глубокие подземные и крупнопролетные здания и сооружения в самых разных климатических условиях, потенциал показателей материалоемкости и трудоемкости существующих конструктивных решений еще не исчерпан. В данной статье будут

рассмотрены способы улучшения характеристик фундаментов неглубокого заложения.

Фундаменты мелкого заложения широко распространены во всем мире, их отличительной особенностью являются невысокая стоимость и трудоемкость. Данные фундаменты практически не имеют альтернативы, когда речь идет о строительстве зданий сельскохозяйственного назначения и одноэтажных промышленных сооружений, также они широко используются в частной застройке, малоэтажном строительстве зданий жилого, административного и общественного назначения. Несмотря на относительную дешевизну, расходы на устройство фундаментов мелкого заложения могут достигать до 10 % от общей стоимости строительства, а учитывая то, что к ним прибегают достаточно часто, экономия в несколько процентов при строительстве может принести в абсолютном эквиваленте существенную выгоду.

### Объект и методы исследования

Фундаменты мелкого заложения чаще всего используют, когда расчетное сопротивление подстилающего слоя варьируется в пределах

$R = 150 \div 250$  кПа, а модуль деформации принимает значения  $E_{10} \div 15$  МПа. Их возможно устраивать и на искусственном основании, созданном поверхностным или глубинным уплотнением, с помощью замены слабого грунтового основания на песчаную или созданную из минеральных отходов производств, таких как шлак и других, подушку [1, 2].

Фундаменты неглубокого заложения (рис. 1) можно классифицировать по:

1. технологии:
  - монолитные (устраиваются непосредственно в котловане на строительной площадке);
  - сборные (на стройплощадку привозят готовые заводские элементы, которые в дальнейшем монтируют).
2. конструкции:
  - столбчатые (здания или сооружения с полным или неполным каркасом);
  - ленточные фундаменты (строения с несущими стенами);
  - плитные (сплошные) фундаменты (представляют собой железобетонную плиту, устроенную под всей площадью постройки, в абсолютном большинстве случаев это монолитная конструкция под тяжелыми объектами, плита

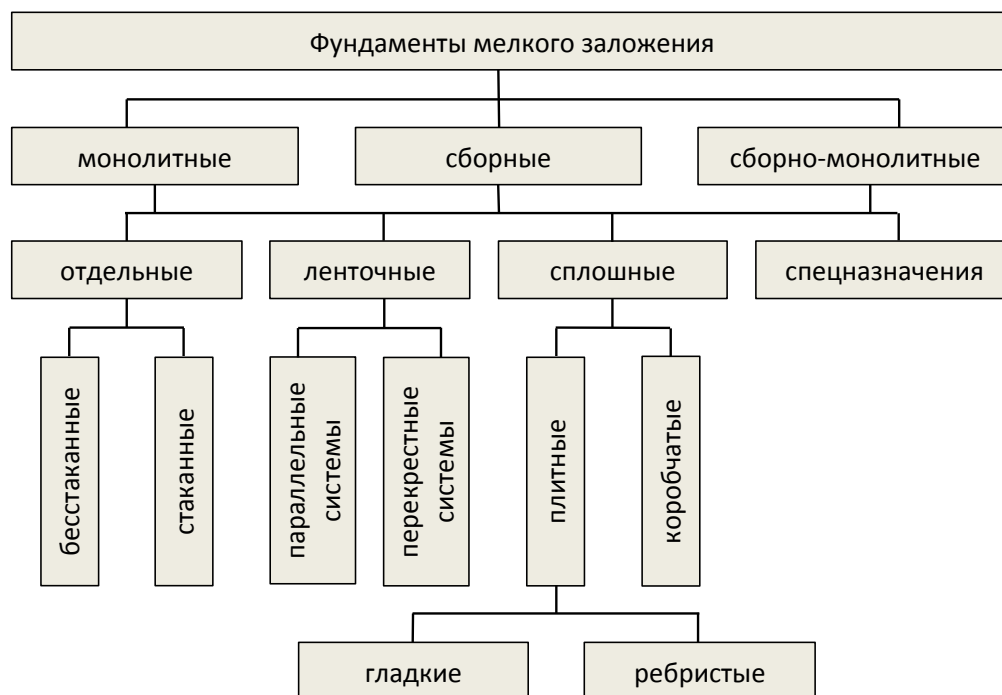


Рис. 1. Классификация фундаментов мелкого заложения

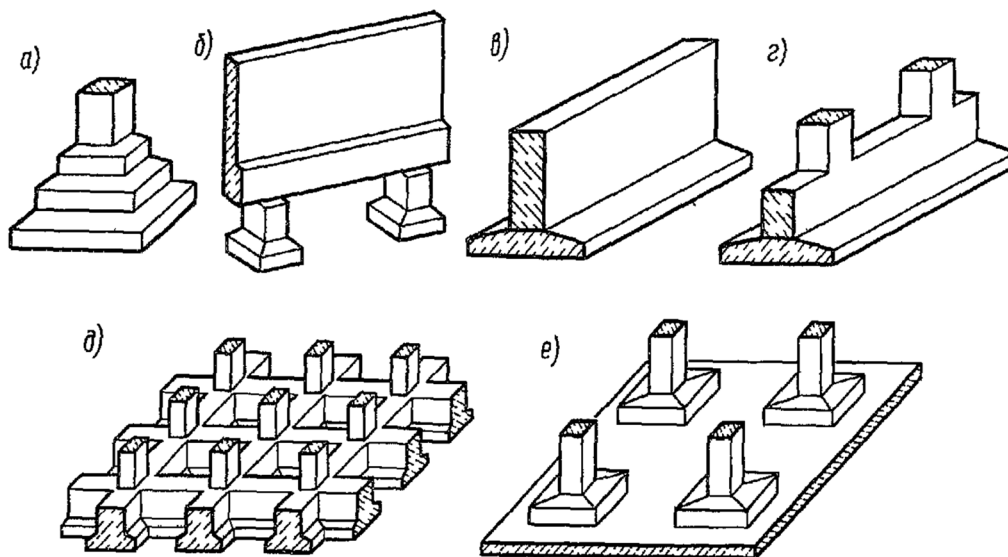


Рис. 2. Основные типы фундаментов мелкого заложения:  
 а) отдельный фундамент под колонну; б) отдельные фундаменты под стену;  
 в) ленточный фундамент под стену; г) то же под колонны; д) то же под сетку колонн;  
 е) сплошной (плитный) фундамент

разделяется осадочными швами с целью уменьшения неравномерности осадок);

- массивные фундаменты (устраиваются под небольшие в плане и тяжелые сооружения (мачты, башни, доменные печи, дымовые трубы и т. п.)).

Конструктивные типы фундаментов мелкого заложения представлены на рис. 2.

В фундаментостроении актуальными остаются вопросы повышения эффективности фундаментов с помощью корректировки расчетных схем основания, конструирования новых облегченных фундаментов и разработки способов их расчетов, а также разработки новых геометрических решений для традиционных фундаментов.

Существуют следующие основные принципы конструктивного развития традиционных фундаментов, в том числе неглубокого заложения [3, 4]:

1. Уменьшение ресурсоемкости, за счет которого происходит экономия на материалах и снижается трудоемкость. Также это ведет к уменьшению собственного веса конструкции, что при прочих равных делает конструкцию фундамента более эффективной в техническом плане. Ресурсоемкость – ос-

новной показатель, влияющий на общую стоимость устройства фундаментов мелкого заложения, поэтому неудивительно, что он является одним из основополагающих для вариантного проектирования.

2. Наиболее эффективное использование существующих материалов или увеличение прочностных свойств используемых. Хорошим примером является разработка новой геометрии отдельных элементов или конструкции в целом, чтобы наименее нагруженная часть в сечении материала воспринималась минимальным объемом материала, а большие неблагоприятные внутренние усилия (изгибающий момент, крутящий момент, растяжение) воспринимались более эффективно.
3. Принципы решения технических (системных) противоречий, например, принцип «сфероидальности», заключающийся в переходе от плоских или угловатых поверхностей к сферическим и криволинейным, так куб или параллелепипед следует приводить к форме шара или эллипсоида.
4. Использование в работе максимального объема грунтового массива. Разработка новых и

использование существующих возможностей регулирования неравномерности осадок и величины абсолютной осадки зданий [5].

Современные ученые существенно продвинулись в изучении плитных фундаментов. Это связано с их универсальностью: область применения данных фундаментов по геологическим условиям почти не ограничена, их можно широко использовать в наиболее неблагоприятных условиях, будь то пучинистые, просадочные или любые другие слабые грунты. Кроме того, разность осадок у таких фундаментов в сравнении с другими типами фундаментов существенно меньше.

Достаточно широко на сегодняшний день распространены ленточные фундаменты. К их основным достоинствам можно отнести быстроту и простоту устройства. Данные фундаменты можно использовать под колонны, такое решение позволит уменьшить разницу в осадках отдельных колонн, а в случае необходимости выровнять осадку под всем строением, полезным будет использовать принцип перекрестных лент [6].

Отдельно стоящие фундаменты чаще всего являются основанием для каркасных зданий и специальных сооружений. Данный тип фундаментов не придает зданиям дополнительной жесткости и используется чаще всего в тех случаях, когда неравномерность осадок по расчетам не превышает допустимых значений.

В современном фундаментостроении существуют следующие принципы по разработке более эффективных конструкций фундаментов мелкого заложения:

1. Изменение тела фундамента (рис. 3).

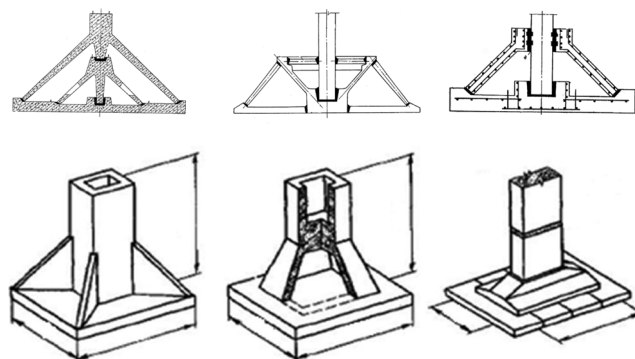


Рис. 3. Фундаменты с эффективным телом

2. Изменение подошвы фундамента:

- создание новой плоской подошвы фундамента (рис. 4);

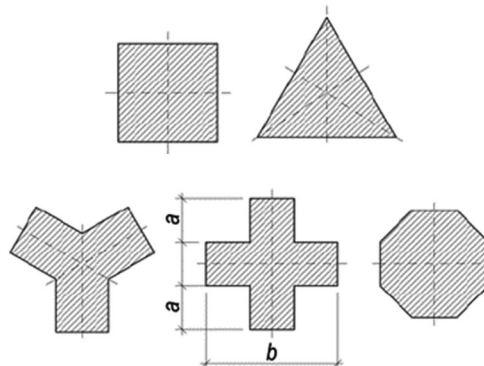


Рис. 4. Фундаменты с измененной плоской подошвой, испытанные А. В. Глушковым

- изменение подошвы фундамента в вертикальной плоскости, примеры таких фундаментов представлены на рис. 5 [7, 8].

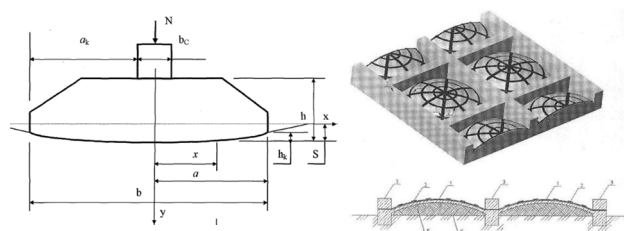


Рис. 5. Фундаменты с неплоской подошвой

### Экспериментальная часть и результаты

Сотрудниками Тюменского индустриального университета было проведено цифровое сравнительное моделирование работы фундамента с плоской и измененной геометрией подошвы. В качестве новой более эффективной формы опирания была выбрана конструкция со ступенчатой подошвой. Моделирование велось с двумя моделями грунта в разных геологических условиях, а также при разной собственной геометрии фундаментов. В зависимости от исходных данных и способа моделирования грунта при прочих равных фундамент со ступенчатой подошвой продемонстрировал лучшие показатели, эффективность доходила до 30 % [9].

В дальнейшем для более детального изучения работы фундаментов со ступенчатой подошвой были проведены постановочные опыты в экспериментальной лаборатории Тюменского индустриального университета. Принцип проведения остался тем же – сравнивались фундаменты с измененной и плоской геометрией

подошвы. Руководствуясь данными цифрового моделирования, было решено испытывать фундаменты в слабых водонасыщенных глинистых грунтах. Перед проведением опыта был подготовлен грунт одинаковой консистенции и определены его физико-механические свойства (табл. 1–4).

Таблица 1

**Определение плотности грунта методом режущего кольца**

| № кольца | Масса кольца с грунтом $m_1$ , г | Масса кольца $m_0$ , г | Масса грунта $m$ , г | Объем грунта, $\text{см}^3$ | Плотность грунта $\rho$ , $\text{г}/\text{см}^3$ |         |
|----------|----------------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------------|--|---------|
|          |                                  |                        |                      |                             | образца  | средняя |
| 4        | 146,88                           | 43,89                  | 102,99               | 49,59                       | 2,08   | 2,09    |
| 13       | 142,96                           | 42,39                  | 100,57               | 49,26                       | 2,04   |         |
| 17       | 147,67                           | 41,07                  | 106,6                | 49,33                       | 2,16   |         |

Таблица 2

**Определение влажности грунта методом высушивания до постоянной массы**

| № бюкса | Масса бюкса $m$ , г | Масса влажного грунта с бюксом $m_1$ , г | Масса высушенного грунта с бюксом $m_0$ , г | Влажность $W$ , % |         |
|---------|---------------------|--|---|-------------------|---------|
|         |                     |  |   | отдельной пробы   | средняя |
| 3       | 7,34                | 29,44                                    | 24,6  | 28,04             | 28      |
| 8       | 7,23                | 34,66                                    | 28,67                                       | 27,94             |         |
| 19      | 7,05                | 35,88                                    | 29,58                                       | 27,96             |         |

Таблица 3

**Определение границы текучести  $W_L$  глинистого грунта**

| № бюкса | Масса бюкса $m$ , г | Масса влажного грунта с бюксом $m_1$ , г | Масса высушенного грунта с бюксом $m_0$ , г | Граница текучести $W_L$ , % |         |
|---------|---------------------|--|---|-----------------------------|---------|
|         |                     |  |   | отдельной пробы             | средняя |
| 8       | 7,22                | 22,98                                    | 19,4  | 29,4                        | 29,4    |
| 17      | 12,62               | 28,8                                     | 25,14                                       | 29,2                        |         |
| 21      | 12,38               | 31,53                                    | 27,16                                       | 29,6                        |         |

Таблица 4

**Определение границы раскатывания  $W_p$  глинистого грунта**

| № бюкса                     | Масса бюкса $m$ , г | Масса влажного грунта с бюксом $m_1$ , г | Масса высушенного грунта с бюксом $m_0$ , г | Граница раскатывания $W_p$ , % |         |
|-----------------------------|---------------------|--|---|--------------------------------|---------|
|                             |                     |  |   | отдельной пробы                | средняя |
| 8                           | 7,22                | 17,81                                    | 16,26                                       | 17,15                          | 17,06   |
| 17                          | 12,62               | 26,97                                    | 24,89                                       | 16,95                          |         |
| 21                          | 25,2                | 25,2                                     | 23,33                                       | 17,08                          |         |
| $I_p = W_L - W_p = 12,34\%$ |                     |  |   |                                |         |

Механические свойства грунта были определены с помощью компрессионных испытаний. По их результатам: угол внутреннего трения составил  $\varphi = 20,64^\circ$ ; сцепление грунта  $c = 14,99$  кПа.

В ходе испытаний было установлено, что осадка фундамента со ступенчатой подошвой при прочих равных была приблизительно на 30 % меньше, чем у его аналога (рис. 6). Также в ходе исследо-

вания наглядным стало, что фундамент со ступенчатой подошвой более устойчив к случайным эксцентриситетам и внецентренному нагружению в целом, чем аналог с плоской подошвой [10].

### Выводы

Испытанные фундаменты мелкого заложения со ступенчатой подошвой продемонстрировали более высокую эффективность в условиях текучепластичных глинистых грунтов, преимущество достигало 30 %.

Данные исследования наглядно демонстрируют, что существующие решения в устройстве фундаментов мелкого заложения не являются конечной точкой развития фундаментостроения, а исследования в области разработки более эффективных конструкций фундаментов такого типа имеют существенный потенциал. Кроме того, в современных условиях постоянно увеличивающейся доли малоэтажного строительства более совершенные решения позволят значительно сэкономить ресурсы [11, 12].

### Экспериментальные значения осадки и напряжения под проекцией подошвы фундамента для ФМЗ с плоской и измененной геометрией опирания

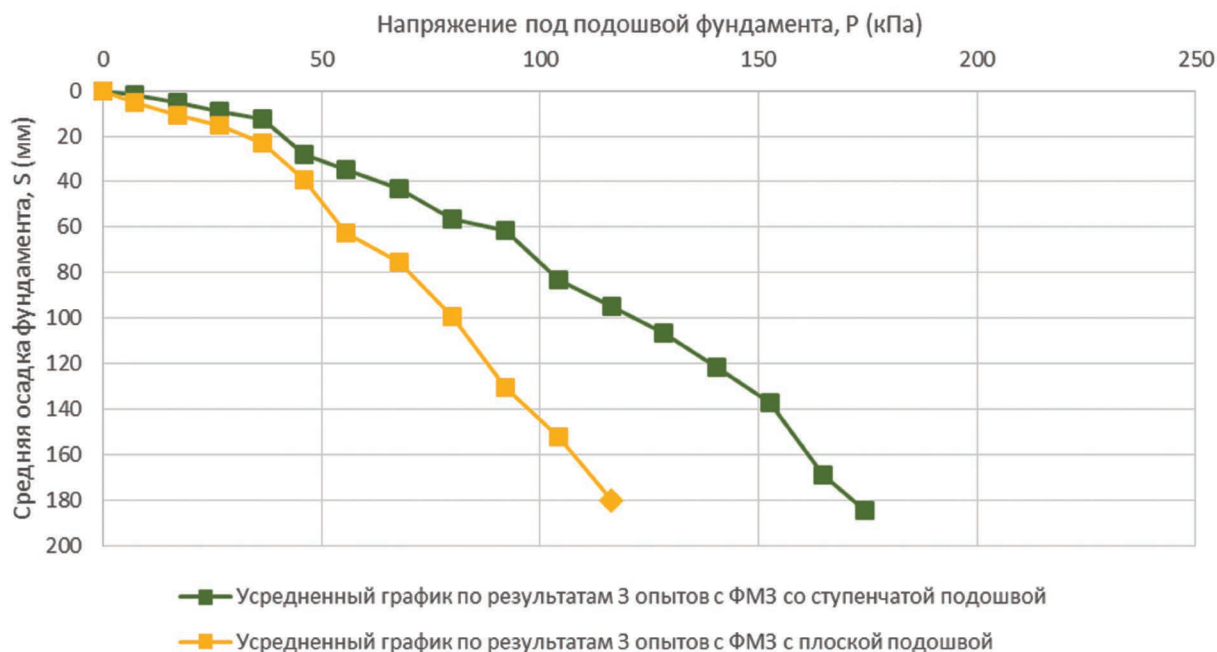


Рис. 6. Результаты лабораторного эксперимента моделирования работы столбчатых фундаментов со ступенчатой и плоской подошвами

### Библиографический список

1. Бородачев, Н. М. Об управлении распределением реактивных давлений под подошвой фундамента / Н. М. Бородачев. – Текст : непосредственный // Сопротивление материалов и теория сооружений : республиканский межведомственный научно-технический сборник. Выпуск 18. – Киев: Будівельник, 1972. – С. 8–11.
2. Основания, фундаменты и подземные сооружения / М. И. Горбунов-Посадов, В. А. Ильичев, В. И. Крутов [и др.] ; Под общей редакцией Е. А. Сорочана, Ю. Г. Трофименкова. – Москва : Стройиздат, 1985. – 480 с. – Текст : непосредственный.

- 
3. Тетиор, А. Н. Фундаменты : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Строительство» / А. Н. Тетиор. – Москва : Академия, 2010. – 400 с. – Текст : непосредственный.
  4. Грицук, М. С. Рациональные конструкции плит для ленточных фундаментов : специальность 05.23.02. «Основания и фундаменты» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Грицук Михаил Степанович ; Брестский политехнический институт. – Брест, 1998. – 283 с. – Текст : непосредственный.
  5. Крутов, В. И. Фундаменты мелкозаложенного : рациональные конструкции и технологии устройства / В. И. Крутов, Е. А. Сорочан, В. А. Ковалев. – Москва : АСВ, 2008. – 232 с. – Текст : непосредственный.
  6. Герсеванов, Н. М. Теоретические основы механики грунтов и их практические применения / Н. М. Герсеванов, Д. Е. Польшин. – Москва : Госстройиздат, 1948. – 68 с. – Текст : непосредственный.
  7. Архипов, Д. Н. Взаимодействие грунтового основания и сборных ленточных основ с геометрической изменяемой видимостью подошвы : специальность 05.23.02. «Основания и фундаменты, подземные сооружения» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Архипов Дмитрий Николаевич ; Южно-Российский государственный технический университет. – Волгоград, 2006. – 24 с. – Место защиты : Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет. – Текст : непосредственный.
  8. Глушков, А. В. Влияние формы и размеров подошвы фундаментов на напряженно-деформированное состояние основания : специальность 05.23.02. «Основания и фундаменты, подземные сооружения» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Глушков Алексей Вячеславович ; Поволжский государственный технологический университет. – Тюмень, 2016. – 22 с. – Место защиты : Тюменский государственный архитектурно-строительный университет. – Текст : непосредственный.
  9. Мартюшева, А. И. Моделирование деформаций основания под штампами с различной формой подошвы / А. И. Мартюшева. – Текст : непосредственный // Нефть и газ Западной Сибири : материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 02–03 ноября 2017 года. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2017. – С. 154–157.
  10. Сафарян, В. С. Эффективные фундаменты мелкозаложенного / В. С. Сафарян, В. Ф. Бай, С. А. Еренчинов. – Текст : электронный // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 2. – С. 270–277. – URL : <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6825> (дата обращения : 02.03.2022).
  11. Красовицкий, М. Ю. Проектирование фундаментов промышленных и гражданских зданий / М. Ю. Красовицкий ; ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения», Кафедра «Строительные конструкции, здания и сооружения». – Москва : МИИТ, 2011. – 137 с. – Текст : непосредственный.
  12. The method of calculating the settlement of weak ground strengthened with the reinforced sandy piles / T. Maltseva, A. Nabokov, Y. Novikov, V. Sokolov. – DOI 10.1051/mateconf/20167301015. – Electronic text // MATEC Web of Conferences, Tyumen, April 27–29, 2016. – Tyumen : EDP Sciences, 2016. – P. 01015.

### References

1. Borodachev, N. M. (1972). Ob upravlenii raspredeleniem reaktivnykh davleniy pod podoshvoy fundamenta. Soprotivlenie materialov i teoriya sooruzheniy: respublikanskiy mezhvedomstvennyy nauchno-tekhnicheskiy sbornik. Vypusk 18. Kiev, Budivel'nik Publ., pp. 8-11. (In Russian).
2. Gorbunov-Posadov, M. I., Il'ichev, V. A., Krutov, V. I., Kononov, P. A., Smorodinov, M. I., Sorochan, E. A., ... Shapiro, A. V. (1985). Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya. Moscow, Stroyizdat Publ., 480 p. (In Russian).

3. Tetior, A. N. (2010). *Fundamenty*. Moscow, Academia Publ., 400 p. (In Russian).
4. Gritsuk, M. S. (1998). *Ratsional'nye konstruksii plit dlya lentochnykh fundamentov*. Diss. dokt. tekhn. nauk. Brest, 283 p. (In Russian).
5. Krutov, V. I., Sorochan, E. A., & Kovalev, V. A. (2008). *Fundamenty melkogo zalozheniya: ratsional'nye konstruksii i tekhnologii ustroystva*. Moscow, ASV Publ., 232 p. (In Russian).
6. Gersevanov, N. M., & Pol'shin, D. E. (1948). *Teoreticheskie osnovy mekhaniki gruntov i ikh prakticheskie primeneniya*. Moscow, Gosstroyizdat Publ., 68 p. (In Russian).
7. Arkhipov, D. N. (2006). *Vzaimodeystvie gruntovogo osnovaniya i sbornykh lentochnykh osnov s geometricheskoy izmenyaemoy vidimost'yu podoshvy*. Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Volgograd, 24 p. (In Russian).
8. Glushkov, A. V. (2016). *Vliyanie formy i razmerov podoshvy fundamentov na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie osnovaniya*. Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Tyumen, 22 p. (In Russian).
9. Martyusheva, A. I. (2017). *Modelirovanie deformatsiy osnovaniya pod shtampami s razlichnoy formoy podoshvy. Neft' i gaz Zapadnoy Sibiri: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*, November 2-3, 2017. Tyumen, Industrial University of Tyumen, pp. 154–157. (In Russian).
10. Safaryan, V. S., Baj, V. F., & Erenchinov, S. A. (2021). Effective shallow foundations. *Engineering Journal of Don*, (2), pp. 270-277. (In Russian). Available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6825> (date of the application: 02.03.2022).
11. Krasovitskiy, M. Yu. (2011). *Proektirovanie fundamentov promyshlennykh i grazhdanskiy zdaniy*. Moscow, MIIT Publ., 137 p. (In Russian).
12. Maltseva, T., Nabokov, A., Novikov, Y., & Sokolov, V. (2016). The method of calculating the settlement of weak ground strengthened with the reinforced sandy piles. *MATEC Web of Conferences*, April 27-29, 2016. Tyumen, EDP Sciences Publ., pp. 01015. (In Russian). Available at: <https://doi.org/10.1051/mateconf/20167301015>.

### Сведения об авторах

Бай Владимир Федорович, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, e-mail: [bajvf@tyuiu.ru](mailto:bajvf@tyuiu.ru)

Сафарян Ваге Суменович, ассистент кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, e-mail: [safaryanv@yandex.ru](mailto:safaryanv@yandex.ru)

### Information about the authors

Vladimir F. Baj, Candidate in Engineering, Associate Professor, Head at the Department of Building Constructions, Industrial University of Tyumen, e-mail: [bajvf@tyuiu.ru](mailto:bajvf@tyuiu.ru)

Vage S. Safaryan, Assistant at the Department of Building Constructions, Industrial University of Tyumen, e-mail: [safaryanv@yandex.ru](mailto:safaryanv@yandex.ru)

**Для цитирования:** Бай, В. Ф. Повышение эффективности фундаментов мелкого заложения / В. Ф. Бай, В. С. Сафарян. – DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-65-72. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2022. – № 1 (99). – С. 65–72.

**For citation:** Baj, V. F., & Safaryan, V. S. (2022). Improving the efficiency of shallow foundations. *Architecture, construction, transport*, (1), pp. 65-72. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2022-1-65-72.