

Обзор фундаментов мелкого заложения

В.Ф. Бай, В.С. Сафарян, С.А. Еренчинов

Тюменский индустриальный университет

Аннотация: Статья является обзорной и посвящена фундаментам мелкого заложения. Авторы классифицируют существующие фундаменты с неглубоким заложением по различным критериям; рассматривают нестандартные фундаменты с «нетипичной», редко используемой в строительстве конструкцией; подчеркивают преимущества и недостатки тех или иных решений, их особенности.

Ключевые слова: фундамент, строительство, фундамент мелкого заложения, ленточный фундамент, столбчатый фундамент, строительные конструкции.

Фундаменты мелкого заложения (далее ФМЗ) – фундаменты, отношение высоты к ширине которых не превышает 4. Такие фундаменты передают нагрузку на основание в большей степени через подошву.

Характерные особенности ФМЗ:

- передача нагрузки преимущественно через подошву фундамента;
- нижняя отметка фундамента не ниже 5 м относительно природного рельефа, но ниже глубины промерзания грунта;
- производство работ по устройству ФМЗ происходит в открытых котлованах.

Фундаменты мелкого заложения, как правило, используют в геологических условиях, когда расчетное сопротивление подстилающего слоя колеблется в диапазоне $R_0=150\div 250$ кПа, а модуль деформации $E_{10}\div 15$ Мпа. ФМЗ можно устраивать и на искусственном основании, созданном поверхностным или глубинным уплотнением, или посредством замены слабого грунтового основания на подушку из песчаного грунта, или минеральных отходов производств, таких как шлак и других.

Классификация ФМЗ:

1. По технологии изготовления:
 - монолитные, возводятся непосредственно на строительной площадке в котловане;
-

– сборные, на стройплощадку привозятся готовые заводские элементы, которые остается только смонтировать.

2. По конструктивным решениям:

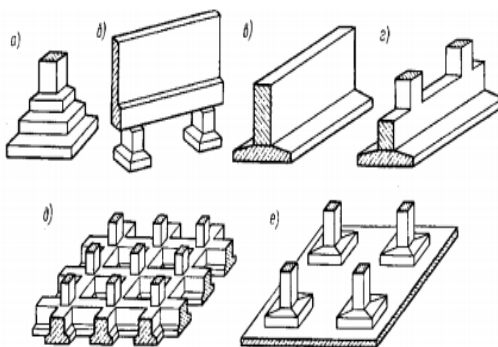
– отдельно стоящие фундаменты (строения с полным или неполным каркасом);

– ленточные фундаменты (в бескаркасных зданиях);

– сплошные (плитные) фундаменты, представляют из себя железобетонную плиту, устроенную под всей площадью здания или сооружения, как правило, монолитная конструкция, устраиваемая для тяжелых объектов, в плане плита разделяется осадочными швами для уменьшения неравномерности осадок фундамента;

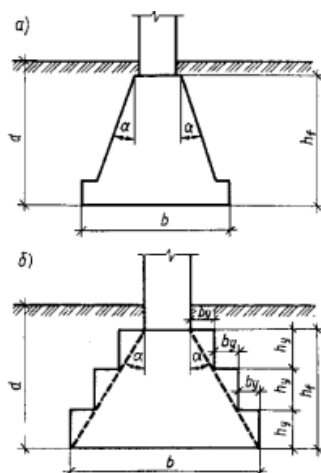
– массивные фундаменты, выполняются в виде жесткого компактного железобетонного массива под небольшие в плане тяжелые сооружения (башни, мачты, дымовые трубы, доменные печи, устои мостов и т.п.).

Основные виды фундаментов мелкозаложения представлены на рисунках 1, 2, 3, 4, 5:

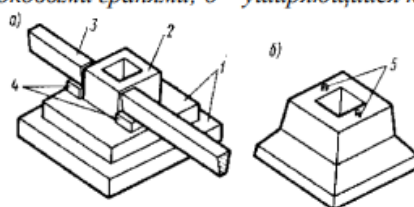


*Основные типы фундаментов мелкозаложения:
а – отдельный фундамент под колонну; б – отдельные фундаменты под стену; в – ленточный фундамент под стену; г – то же, под колонны; д – то же, под сетку колонн; е – сплошной (плитный) фундамент.*

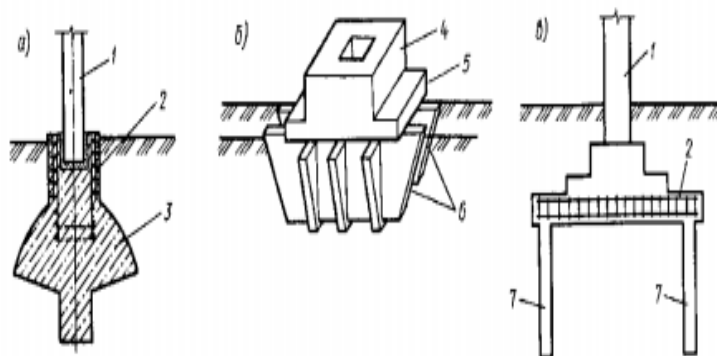
Рис. 1. Основные типы ФМЗ.



Конструкция жесткого фундамента:
а – с наклонными боковыми гранями; б – уширяющийся к подошве уступами.

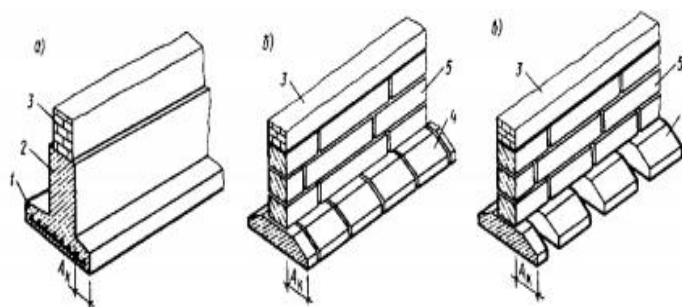


Сборный фундамент под колонну:
а – из нескольких элементов; б – из одного элемента; 1 – фундаментные плиты; 2 – подколонник; 3 – рандбалка; 4 – бетонные столбики; 5 – монтажные петли.



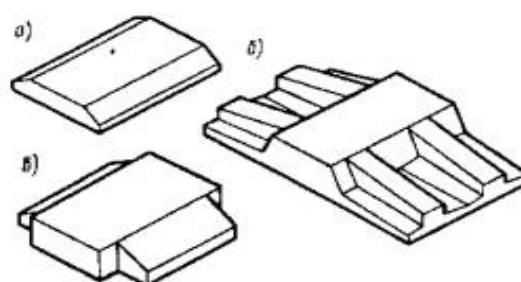
Буробетонные (а), щелевые (б) и анкерные (в) фундаменты:
1 – колонна; 2 – арматурный каркас; 3 – фундамент; 4 – подколонник; 5 – плитная часть; 6 – бетонные пластины; 7 – анкеры (бурунабивные сваи) $d=15-20\text{см}$, $l=3-4\text{м}$.

Рис. 2. Отдельные фундаменты.



Ленточные фундаменты:

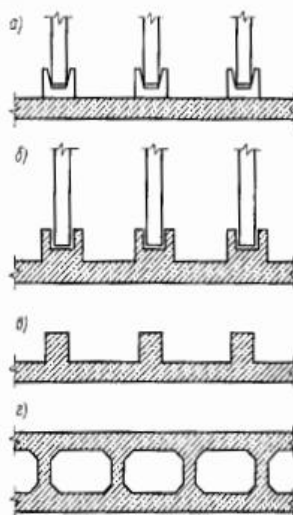
а – монолитный; б – сборный сплошной; в – сборный прерывистый; 1 – армированная лента; 2 – фундаментная стена; 3 – стена здания; 4 – фундаментная подушка; 5 – стеновой блок.



Конструкции фундаментных плит:

а – сплошная; б – ребристая; в – с угловыми вырезами.

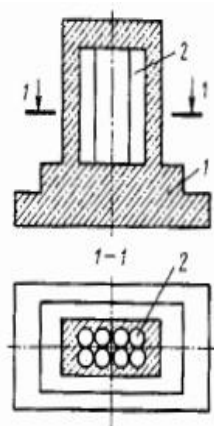
Рис. 3. Ленточные фундаменты.



Сплошные фундаменты:

а – гладкая плита со сборными стаканами; б – гладкая плита с монолитными стаканами; в – ребристая плита; г – плита коробчатого сечения.

Рис. 4. Сплошные фундаменты.



Массивный фундамент с пустообразователями: 1 – фундамент; 2 – пустообразователи.

Рис. 5. Массивный фундамент.

В современном фундаментастроении актуальными остаются такие вопросы, как: вопрос повышения эффективности фундаментов за счет корректировки расчетных схем основания; изменение геометрии традиционных фундаментов; разработка облегченных конструкций фундаментов и новых методов их расчетов взамен старых.

Основные принципы конструкционного развития традиционных фундаментов, в том числе и ФМЗ [1,2]:

1. Минимальная ресурсоемкость - за счет этого достигается экономический эффект экономии, как на материалах, так и на трудоемкости, а также, это уменьшает собственный вес конструкции, что при прочих равных делает его более эффективным в конструктивном плане.

Главным в строительстве является экономический критерий, а ресурсоемкость один из основных показателей, из которых складывается общая стоимость устройства фундамента. Таким образом, этот принцип является одним из основополагающих для вариантного проектирования.

2. Увеличение прочностных свойств используемых материалов, или наиболее эффективное использование существующих материалов – разработка такой геометрии, чтобы неработающая или плохо работающая часть в сечении материала была минимальна, чтобы возникаемые

неблагоприятные внутренние усилия (растяжение, изгибающий момент, крутящий момент) воспринимались рационально.

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 [3].

4. Вовлечение в работу максимального объема грунта. Разработка и использование возможностей регулирования осадок отдельных частей или здания в целом.

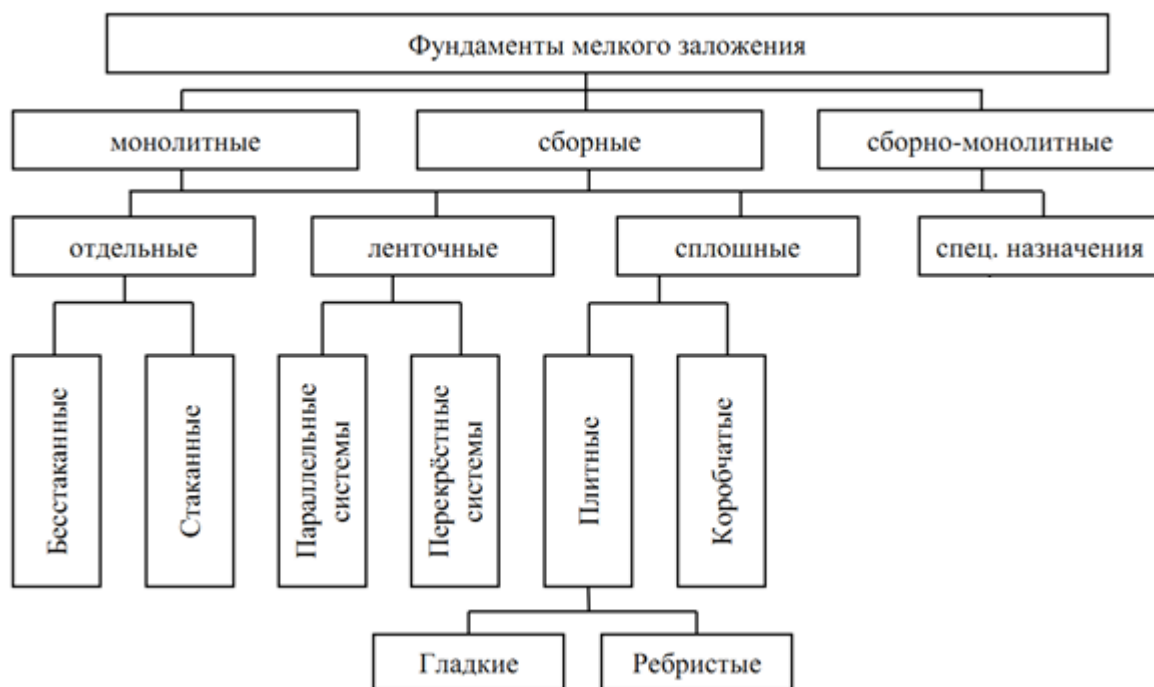


Рис. 6. Схема классификации ФМЗ.

Много трудов современных ученых посвящены работе плитного фундамента. Это во многом связано с их универсальностью, для таких фундаментов почти нет ограничений по геологическим условиям, их можно использовать в наиболее неблагоприятных условиях, будь то просадочные, пучинистые или просто очень слабые грунты. Еще одним важным свойством

таких фундаментов является меньшая разность осадков относительно других фундаментов.

В современном строительстве достаточно широко распространены ленточные фундаменты. Их основные достоинства – это простота и быстрота устройства. Ленточные фундаменты можно использовать под колонны, что позволит выровнять осадки отдельных колонн, а в случае необходимости выровнять осадку всего здания целиком, можно использовать принцип перекрестных лент [4].

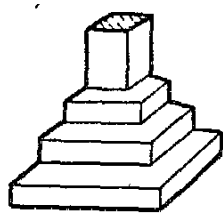
Основная область применения отдельно стоящих фундаментов – каркасные здания и специальные сооружения. Этот тип фундаментов не увеличивает жёсткость здания и используется в тех случаях, когда неравномерные осадки не превышают нормируемых значений и не несут критический характер.

В последнее десятилетие наибольшее внимание в изучении эффективных конструкций фундаментов на естественном основании уделяется щелевым фундаментам и фундаментам с эффективной формой [5].

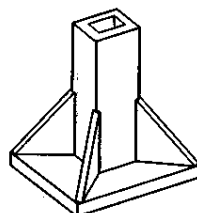
В свою очередь, поиск эффективных форм фундамента можно разделить на два подхода:

1. Поиск эффективной формы тела фундамента;
2. Поиск эффективной формы подошвы фундамента.

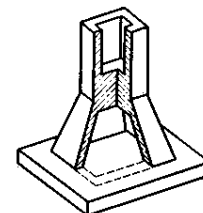
Тело фундамента (башмак для многоблочных фундаментов) передает и распределяет нагрузки от колонны на фундаментную плиту или непосредственно на грунт. Есть разные технологии его устройства, наиболее известные сегодня: сплошное, ребристое, пустотелое (рис. 7).



а) сплошной



б) ребристый



в) пустотелый

Рис. 7. Типы тела отдельных фундаментов под колонну.

Самыми разнообразными считаются пустотелые фундаменты. Чаще всего они представляют собой плиту с опирающейся на нее оболочкой, расширяющейся книзу.

При разработке эффективных форм тела фундамента можно выделить следующие задачи:

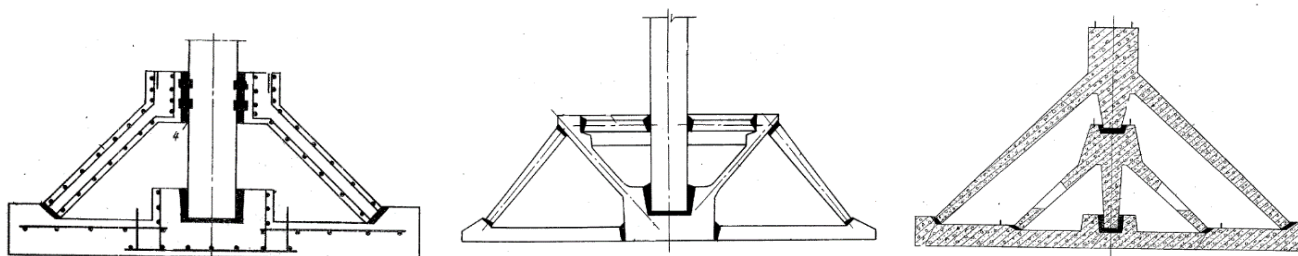
а) Разработка решений тела отдельно стоящих фундаментов для наиболее равномерной передачи нагрузки от вышележащих конструкций на опорную плиту и грунт впоследствии. Некоторые из решений представлены на рисунке 8.

Тело-оболочки используют, когда необходимо передать нагрузку от вышележащей конструкции на опорную плиту максимально равномерно. Такая конструкция фундамента может быть как «с окнами» (рис. 8а), так и сплошной (рис. 8 а,б)

Фундамент на рисунке 8а состоит из опорной плиты, сквозной оболочки и стакана. Оболочка «окнами» в теле, это делает ее конструкцию существенно легче. Такое решение способствует равномерной передачи нагрузок на опорную плиту [6].

На рисунке 8в фундамент, состоящий из опорной плиты, нескольких уровней оболочек и стакана. Такое решение тем равномернее передает нагрузки от вышележащих конструкций, чем больше уровней оболочек в конструкции фундамента. Нагрузка от вышележащих конструкций

передается через опорный стержень, а также распределяется на два или более контуров от оболочек, передающих нагрузку на плиту основания [7].



а) пример отдельно стоящего фундамента – оболочки

(В.И. Редькин, П.Н. Тыква)

б) пример отдельно стоящего фундамента – оболочки

(О.П. Краковский)

в) пример отдельно стоящего фундамента – оболочки (В.И. Редькин, П.Н. Тыква)

(В.И. Редькин, П.Н. Тыква)

Рис. 8. Примеры фундаментов в виде пустотелых оболочек на опорной плите.

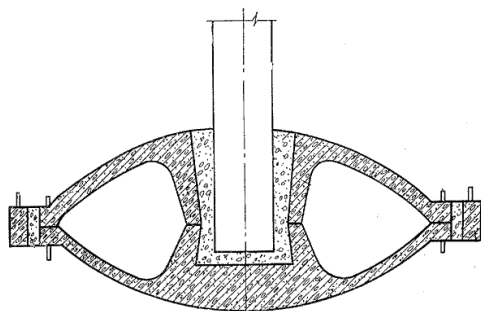
б) Варьирования конструктивного решения тела фундамента и опорной плиты для обеспечения работы оболочек преимущественно на сжатие. Варианты таких фундаментов представлены на рисунке 9.

На рисунке 9а фундамент с комбинированным подходом – здесь и изменение формы подошвы, и изменение тела фундамента. Как видно из рисунка, этот фундамент имеет криволинейную подошву и симметричный подошве верх тела фундамента, еще одной особенностью данной конструкции является наличие стяжного кольца по периметру фундамента. Основная идея такой формы в том, что отдельные элементы работают на один вид усилия. Так, опорная плита и оболочка данного фундамента работают на сжатие, а стяжное кольцо – на растяжение. Материалоемкость при таком решении уменьшается примерно на 75% в бетоне и 25% в металле [8].

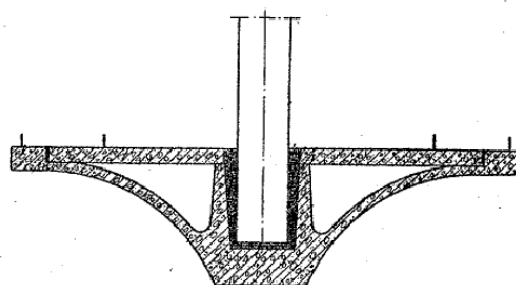
На рис. 9б еще один пример фундамента с комбинированным подходом. На грунт нагрузку передает расширяющаяся кверху

криволинейная оболочка со стаканом под колонну в центральной части. Верх фундамента – сквозная плита. Между плитой и оболочкой полость. Такая форма, во-первых, благодаря своей полой структуре менее материалоемка, выигрыш до 20%; во-вторых, благодаря криволинейной подошве имеет большую площадь опирания на грунт, что значит: несущая способность такого фундамента – больше [9].

Фундаменты на рис. 9, возможно, одни из наиболее эффективных отдельно стоящих фундаментов, однако их изготовление на строительной площадке очень трудоемко, фактические работы зачастую неверные и далеко не всегда экономически обоснованы.



а) Оболочка и опорная плита выполнены в виде симметричных сферических сегментов (В.И. Редькин, А.Н. Тетиор, Д.М. Москаленко)

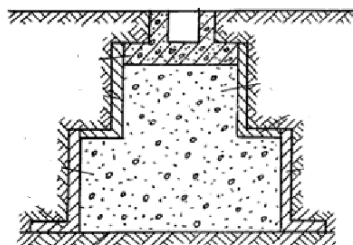


б) Оболочка с опорным горизонтальным участком, расширяющаяся кверху, и снабженная горизонтальной кольцевой плитой (А.Н. Тетиор, В.И. Редькин)

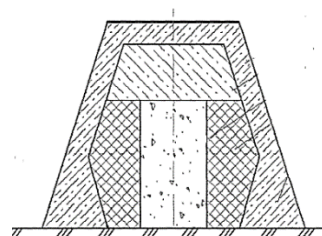
Рис. 9. Варианты пустотелых фундаментов в виде оболочек с выпуклой формой опирания на грунт.

Развивая идеи пустотелых фундаментов оболочек, стоит рассмотреть фундаменты без опорных плит. Идея заключается в том, что оболочка опирается на основание самостоятельно, а ее полости заполняются материалом, отличающимся прочностными характеристиками от материалов самой оболочки. Такие фундаменты тоже работают преимущественно на сжатие.

Фундамент на рис. 10а представляет собой секционную конструкцию с переменной прочностью заполнителя. Чем выше секция – тем выше прочность заполнителя. Данное решение позволяет сэкономить на материалах устройства тела фундамента [10].



а) Секционный фундамент, с горизонтальными секциями (В.И. Феклин)



б) Конический фундамент с горизонтальными и вертикальными секциями (С.В. Ланчиков, В.И. Феклин)

Рис.10. Варианты пустотелых фундаментов в виде оболочки.

Фундамент на рисунке 10б имеет тот же принцип, что и 10а, однако его секции с разными прочностными характеристиками расположены как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Данное решение является еще менее материалоемким, однако имеет сложную технологию изготовления.

В современных условиях постоянно увеличивающейся доли каркасного домостроения разработка эффективных решений отдельно стоящих фундаментов является неиспользованным большим резервом экономии ресурсов в строительстве, который необходимо освоить. Альтернативой отдельным фундаментам могут служить плитные или ленточные. Однако в случае плитных сложно говорить о какой-либо экономии ресурсов, а ленточные не всегда применимы и целесообразны. В частности, для некоторых сооружений, таких, как объекты сельскохозяйственного назначения или здания производственного назначения, столбчатые

фундаменты являются наиболее экономически и технологически обоснованными.

Литература

1. Тетиор А. Н. Фундаменты. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 400 с.
2. Грицук М.С. Рациональные конструкции плит для ленточных фундаментов. Основания и фундаменты. Диссертация на соискание ученой степени д.т.н.: Спец. 05.23.02. Брест: Брестский политехнический институт, 1998. 283 с.
3. Крутов В.И., Сорочан Е.А., Ковалев В.А. Фундаменты мелкого заложения. М.: Издательство АСВ, 2008. 232 с.
4. Герсеванов Н.М., Польшин Д.Е. Теоретические основы механики грунтов. М.:Госстройиздат, 1948. 68 с.
5. Бородачев Н. М. Об управлении распределением реактивных давлений под подошвой фундамента // Сопротивление материалов и теория сооружений. Вып. 18. Киев: Будивельник, 1972. С. 8-11.
6. Горбунов-Посадов М.И., Ильичев В.А., Крутов В.И. Основания, фундаменты и подземные сооружения. Под общей редакцией д.т.н., проф. Сорочана Е.А. и Трофименкова Ю.Г. М.: Стройиздат, 1985. 480 с.
7. Сафарян В.С., Бай В.Ф., Еренчинов С.А., Эффективные фундаменты мелкого заложения // Инженерный вестник Дона, 2021, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6825
8. Чмшкян А.В., Фундаменты с неплоской подошвой на неоднородном лессовом основании // Инженерный вестник Дона, 2017, №2. URL: ivdon.ru/ru/archive/N2y2017/4180
9. Maltseva T.V., Nabokov A., Chernikh A., Reinforced sandy piles for low-rise buildings. Procedia Engineering. 2015. V. 117. pp. 239-245.

10. Maltseva T., Nabokov A., Novikov Y., Sokolov V., The method of calculating the settlement of weak ground strengthened with the reinforced sandy piles. *Matec Web of Conferences*. 2016. V. 73. pp. 01015.

References

1. Tetior A. N. *Fundamenty [Foundations]*. M.: Izdatel'skij centr «Akademiya», 2010. 400 p.

2. Gricuk M.S. *Racional'nye konstrukcii plit dlya lentochnyh fundamentov. Osnovaniya i fundamenty. Dissertaciya na soiskanie uchennoj stepeni d.t.n. : Spec. 05.23.02 [Rational slab designs for strip foundations. Foundation engineering. Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences]*. Brest: Brestskij politekhnicheskij institut, 1998. 283 p.

3. Krutov V.I., Sorochan E.A., Kovalev V.A. *Fundamenty melkogo zalozheniya [Shallow foundations]*. M.: Izdatel'stvo ASV, 2008. 232 p.

4. Gersevanov N.M., Pol'shin D.E. *Teoreticheskie osnovy mekhaniki gruntov [Theoretical Foundations of Soil Mechanics]*. M.: Gosstrojizdat, 1948. 68 p.

5. Borodachev N. M., *Soprotivlenie materialov i teoriya sooruzhenij. Vyp. 18*. Kiev: Budivel'nik, 1972. pp. 8-11.

6. Gorbunov-Posadov M.I., Il'ichev V.A., Krutov V.I. *Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya [Base, foundations and underground structures]*. Pod obshchej redakciej d.t.n., prof. Sorochana E.A. i Trofimenkova YU.G. M.: Strojizdat, 1985. 480 p.

7. Safaryan V.S., Baj V.F., Erenchinov S.A., *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2021, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2021/6825

8. CHmshkyan A.V., *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2017, №2. URL: ivdon.ru/ru/archive/N2y2017/4180

9. Maltseva T.V., Nabokov A., Chernikh A., Reinforced sandy piles for low-rise buildings. *Procedia Engineering*. 2015. V. 117. pp. 239-245.



10. Maltseva T., Nabokov A., Novikov Y., Sokolov V., The method of calculating the settlement of weak ground strengthened with the reinforced sandy piles. Matec Web of Conferences. 2016. V. 73. pp. 01015.