**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**
Т. 8, № 3, 2017
**PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2017.3.08
УДК 624.154.5

МНОГОЯРУСНАЯ СИСТЕМА ПЕСЧАНЫХ ПОДУШЕК С ЗАМКНУТЫМ АРМИРОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ ФУНДАМЕНТОВ ДЛЯ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

В.Ф. Бай, А.Ю. Лузин

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 08 июня 2017
Принята: 24 июля 2017
Опубликована: 29 сентября 2017

Ключевые слова:

замкнутая система армирования,
криволинейная подошва опира-
ния, геосинтетическая арматура,
многоярусная система

АННОТАЦИЯ

Предлагается новый способ устройства фундаментов под малоэтажные здания на слабых глинистых водонасыщенных грунтах. Суть метода заключается в применении многоярусных песчаных подушек с замкнутым армированием. Данный способ объединяет в себе достоинства армированного грунта геосинтетиками и устройства в слабых грунтах малодеформируемой песчаной подушки. При устройстве системы песчаных подушек предлагается располагать арматуру замкнуто, что приведет к исключению выдавливания грунта между слоями арматуры и увеличению несущей способности за счет работы грунта в стесненных условиях. Приводится идеальная схема армирования по Джоунсу в пределах сектора растягивающих деформаций (зона в грунте, при размещении в которую армирующего элемента в нем возникают растягивающие усилия), описаны плюсы и минусы устройства армированного грунта и малодеформируемой песчаной подушки в слабых грунтах. Приводятся экспериментальные данные, что криволинейное очертание опорной подошвы песчаной подушки обеспечивает более равномерное распределение напряжений в основании, что приводит к исключению или уменьшению пластических зон подстилающего основания, поэтому криволинейная опорная поверхность песчаной подушки позволяет увеличить диапазон линейной работы основания за счет включения в работу грунта, расположенного по всей криволинейной поверхности. Дается технологическая последовательность устройства многоярусной системы криволинейных песчаных подушек с замкнутым армированием.

© ПНИПУ

© **Бай Владимир Федорович** – кандидат технических наук, доцент, e-mail: bay.vlad@yandex.ru.
Лузин Алексей Юрьевич – ассистент, e-mail: luzin@uniteh-group.ru.

Vladimir F. Bai – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: bay.vlad@yandex.ru.
Aleksei Iu. Luzin – Assistant, e-mail: luzin@uniteh-group.ru.

MULTILAYERED SYSTEM OF SAND BEDS WITH CLOSED REINFORCEMENT FOR LOW-RISE FOUNDATIONS

V.F. Bai, A.Iu. Luzin

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 08 June 2017

Accepted: 24 July 2017

Published: 29 September 2017

Keywords:

closed reinforcement system, curvilinear supporting base, geosynthetic reinforcement, multilayered system

ABSTRACT

The paper offers a new type of foundations for low-rise constructions in soft clay water-saturated soils. It is a multilayered system of sand beds with a closed reinforcement. This system combines the advantages of geosynthetic reinforcement and use of low deformable sand beds in soft soils. It is suggested to use the closed reinforcement in the system of sand beds, as it will exclude the soil extrusion between the reinforcement layers and increase the bearing capacity due to constraint conditions of soils. The authors suggest an ideal reinforcement design scheme by Jones within the sector of stretching strains (an area in the soil with emerging stretching forces when a reinforcement element is placed in it); describe the setting advantages and disadvantages of reinforcement and low deformable sand beds in soft soils. The paper presents the experimental results proving that the curvilinear form of the sand bed supporting base provides a more even distribution of stresses in the basement, which either excludes or decreases plastic zones of the bedding. Thus, the curvilinear supporting surface of the sand bed increases the range of the bedding linear work, as the soils located along the whole curvilinear surface start to act. In conclusion the authors present the process which make up the multilayered system of curvilinear sand beds with closed reinforcement.

© PNRPU

Строительство малоэтажных индивидуальных жилых домов достигает 40 % в городах и 100 % в сельской местности. Стоимость обычных железобетонных фундаментов в таких зданиях может составлять 15–25 % стоимости всего строительства.

В настоящее время для устройства фундаментов малоэтажных зданий используют те же конструкции фундаментов, что и для многоэтажных зданий. Это приводит к нерациональному вложению материальных средств, повышению трудоемкости и неполному использованию прочностных свойств бетона.

Большая часть территории юга Западной Сибири сложена слабыми водонасыщенными пылевато-глинистыми грунтами с модулем деформации 2–5 МПа мощностью от 8 до 15 м и более [1]. В таких условиях очень важной инженерной задачей является устройство экономичных фундаментов.

Как известно, в обычных плоских фундаментах вертикальные нормальные напряжения в грунте концентрируются непосредственно под подошвой, особенно по краям фундамента. Отсюда следует, что если в пределах области ожидаемых значительных уплотнений и сдвигов заменить слабый грунт на прочный и малосжимаемый, то деформации основания существенно уменьшатся. Такое конструктивное мероприятие носит название грунтовой подушки из малодеформированного грунта.

В 1970 г. Н.Н. Морарескул и А.Ф. Чичкин [2, 3] провели испытания песчаных подушек в полевых условиях. Исследования проводились на территории Тюменской области в торфяных грунтах. В работах отмечается, что под действием нагрузки на фундамент возникают горизонтальные напряжения, передающиеся на окружающий слабый грунт. Деформации песчаной подушки происходят в основном в результате отжатия песка в стороны, в результате чего происходит ее «раздавливание».

Более эффективным способом увеличения прочностных и деформационных свойств слабых грунтов является применение армированного грунта, который представляет собой комбинацию грунта и армирующих элементов [4–6]. В грунте, как известно, возникает поле исключительно сжимающих напряжений, при этом частицы грунта смещаются вниз и в

стороны. При устройстве упрочняющих элементов по направлению смещения частиц (зоны деформаций растяжения) упрочняющие элементы будут воспринимать растягивающие усилия, при условии что между грунтом и арматурой существует сцепление. Таким образом, происходит стеснение поперечных деформаций и, следовательно, увеличение несущей способности слабого грунта.

В работах В.В. Воронцова и А.Н. Краева [7, 8] говорится, что внедрение арматуры в слабый грунт повышает его жесткость и прочность на сдвиг. На начальных стадиях нагружения основания армирование не оказывает значительного влияния. Эффект армирования возникает при появлении усилий в арматуре, когда напряжение в грунте передается на элементы усиления. Нагрузка от сооружения вызывает деформацию основания, в результате деформации грунта из-за сцепления включается в работу арматура, что приводит к возрастанию прочности армированного грунта [9].

Значения несущей способности основания могут быть увеличены за счет создания более жесткого армированного массива в 2–3 раза (в зависимости от схемы армирования и вида армирующих элементов), соответственно, снижаются значения осадок до 60 %, и главное – уменьшается стоимость возведения фундаментов до 25 % по сравнению с традиционными конструкциями [10].

При размещении арматуры по направлению в пределах сектора растягивающих деформаций (зона в грунте, при размещении в которую армирующего элемента в нем возникают растягивающие усилия) происходит переориентация поля деформаций, что приводит к улучшению свойств жесткости и несущей способности. Джоунс в своей работе [11] показывает для направления главных деформаций растяжения идеальное распределение армирования, при этом под фундаментом арматура располагается горизонтально, а вне подошвы резко изменяет направление на вертикальное (рис. 1). Объяснить такое расположение арматуры можно тем, что при нагрузке на фундамент частицы грунта под самой подошвой стремятся вниз и в стороны от центра, а за пределами этого сектора частицы грунта при дальнейшем увеличении нагрузки меняют свою траекторию, и возникает так называемый выпор грунта.

Минусом такого расположения арматуры является возможность выдавливания грунта между рядами арматуры. Исключить данный эффект возможно при применении замкнутого контура армирования. Примером замкнутого армирования является способ усиления слабых грунтов армирующими конструкциями в виде ячеистых структур, предложенных НИИОСП (рис. 2).

Рис. 1. Идеальная схема армирования по Джоунсу
Fig. 1. Ideal reinforcement design by Jones

Рис. 2. Ячеистая структура, предложенная НИИОСП
Fig. 2. Cellular structure proposed by (NIIOSP)

Экспериментально-теоретические исследования данного способа армирования слабых грунтов отражены в работах А.П. Кремнева [12], П.А. Коновалова [13]. Ячеистая структура армирующего элемента с грунтом в ячейках повышает несущую способность слабого основания и уменьшает деформативность за счет того, что грунт находится в стесненных условиях.

Еще один пример замкнутого армирования предлагает в своей работе А.Н. Краев [14]. Песчаная подушка в данном случае армируется по контуру замкнуто, при этом контур получается криволинейным (рис. 3).

Рис. 3. Криволинейная песчаная подушка с замкнутым армированием по Краеву: 1 – песчаный массив грунта с криволинейной подошвой; 2 – геосинтетический армирующий материал
Fig. 3. Curvilinear sand bed with closed reinforcement by Kraev: 1 is the sand massif of soil with a curvilinear base; 2 is the geosynthetic reinforcing material

Внедрение армирующего элемента по контуру песчаной подушки стесняет ее поперечные деформации и, соответственно, деформации сжатия песчаного грунта, что уменьшает осадку фундамента. Контурное армирование песчаной подушки позволяет увеличить нагрузку на фундамент, при которой происходит «раздавливание» подушки.

При устройстве такой подушки подошва опирания представляет собой кривую поверхность. В своей работе автор доказывает экспериментально, что криволинейное очертание опорной подошвы песчаной подушки обеспечивает более равномерное распределение напряжений в основании, что приводит к исключению или уменьшению пластических зон подстилающего основания, поэтому криволинейная опорная поверхность песчаной подушки позволила увеличить диапазон линейной работы основания за счет включения в работу грунта, расположенного по всей криволинейной поверхности (рис. 4).

Рис. 4. Эпюры напряжений под подошвой фундаментов: а – радиальные нормальные напряжения под криволинейным фундаментом по Краеву; б – вертикальные нормальные напряжения под криволинейным фундаментом по Краеву; в – вертикальные нормальные напряжения под плоским жестким фундаментом

Fig. 4. Stress diagrams under the foundations base: а – radial normal stresses under the curvilinear foundation by Kraev; б – vertical normal stresses under curvilinear foundation by Kraev; в – vertical normal stresses under flat rigid foundation

Данный эффект криволинейной подошвы опирания на грунт основания также подтверждает в работе «Рациональные конструкции плит для ленточных фундаментов» М.С. Грищук [15]. Он утверждает, что выпуклая поверхность опирания плит позволяет более рационально распределять реактивные давления.

Исходя из всех вышеприведенных предпосылок для устройства фундаментов зданий и сооружений в слабых грунтах, предлагается применять многоярусную систему криволинейных песчаных подушек с замкнутым армированием (рис. 5), которая сочетает в себе следующие достоинства:

– криволинейная подошва опирания на слабый грунт обеспечивает наиболее равномерно распределение контактных напряжений и, следовательно, увеличивает линейную работу слабого основания, что увеличивает несущую способность за счет включения в работу грунта, расположенного по всей криволинейной поверхности;

Рис. 5. Многоярусная система криволинейных песчаных подушек с замкнутым армированием в слабых водонасыщенных глинистых грунтах

Fig. 5. Multilayered system of curvilinear sand beds with closed reinforcement in soft water-saturated clay soils

– замкнутое армирование обеспечивает ограничение деформаций грунта, что, соответственно, увеличивает несущую способность песчаной подушки и уменьшает деформативность, также замкнутое армирование уменьшает развитие областей предельного состояния в зонах сдвига, в связи с чем увеличивается линейная работа грунта;

– глубина заложения обеспечивается набором по высоте криволинейных песчаных подушек с замкнутым армированием, что позволяет экономить на материалах, таких как железобетон, а также получить строительный процесс устройства фундамента без «мокрых» процессов;

– применение дешевых материалов, таких как песок и геосетка;

– легкий вес геосетки позволяет транспортировать ее без больших затрат в труднодоступные районы;

– замена слабого грунта более прочным песчаным грунтом, который к тому же является непучинистым материалом.

Количество ярусов подушки зависит от глубины промерзания грунта и может варьироваться.

Библиографический список

1. Тетиор А.Н. Прогрессивные конструкции фундаментов для условий Урала и Тюменской области. – Свердловск: Среднеурал. изд-во, 1971. – 91 с.
2. Морарескул Н.Н. Основания и фундаменты в торфяных грунтах. – Л.: Стройиздат, 1979. – 80 с.
3. Чичкин А.Ф. Песчаные подушки в торфяных грунтах: дис. ... канд. техн. наук. – Л., 1970. – 191 с.
4. Антонов В.М. Экспериментальные исследования армированных оснований. – Тамбов: Изд-во Тамбов. гос. техн. ун-та, 2011. – 80 с.
5. Методы подготовки и устройства искусственных оснований / Р.А. Мангушев, Р.А. Усманов, С.В. Ланько, В.В. Конюшков. – М.; СПб.: Изд-во АСВ, 2012. – 280 с.
6. Методы строительства армогрунтовых конструкций / В.Г. Оффрихтер, А.Б. Пономарев, В.И. Клевеко, К.В. Решетникова. – М.: Изд-во АСВ, 2013. – 152 с.
7. Воронцов В.В. Вертикальное армирование деятельного слоя в основании дорожной конструкции: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02. – Тюмень, 2006. – 18 с.
8. Краев А.Н. Экспериментальные исследования влияния гибких армирующих элементов на деформированное состояние основания из водонасыщенного суглинка // Актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири: сб. всерос. науч.-практ. конф. – Тюмень, 2007. – С. 147–150.
9. Тажигулов А.А. Песчаные подушки с геотекстилем на слабых водонасыщенных глинистых грунтах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02. – М., 1993. – 20 с.
10. Клевеко В.И. Оценка напряженно-деформированного состояния армированных оснований в пылевато-глинистых грунтах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02. – Уфа, 2002. – 17 с.
11. Джоунс К.Д. Сооружения из армированного грунта / под ред. д-ра техн. наук В.Г. Мельника. – М.: Стройиздат, 1989. – 268 с.
12. Кремнев А.П. Исследование влияния армирования на деформируемость сильно-сжимаемых водонасыщенных грунтов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02. – М., 1993. – 25 с.
13. Коновалов П.А., Кушнир С.Я. Намывные грунты как основания сооружения. – М.: Недра, 1991. – 256 с.
14. Краев А.Н. Обоснование использования песчаной армированной подушки в слабых глинистых грунтах под ленточными фундаментами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 2014. – 19 с.
15. Грицук М.С. Рациональные конструкции плит для ленточных фундаментов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.02. – Брест, 1998. – 23 с.

References

1. Tetior A.N. Progressivnye konstruksii fundamentov dlia uslovii Urala i Tiumenskoï oblasti [Progressive constructions of foundations for the terms of Ural and Tyumen area]. Sverdlovsk, Sredne Ural'skoe izdatel'stvo, 1971, 91 p.
2. Morareskul N.N. Osnovaniia i fundamenti v torfianykh gruntakh [Grounds and foundations are in peat soils]. Leningrad, Stroiizdat, 1979, 80 p.
3. Chichkin A.F. Peschanye podushki v torfianykh gruntakh [Sandy pillows are in peat soils]. Ph.D. thesis. Leningrad, 1970, 191 p.

4. Antonov V.M. Eksperimentalnyie issledovaniya armirovannyih osnovaniy [Experimental study of reinforced bases]. Tambov, Tambovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2011, 80 p.
5. Mangushev R.A., Usmanov R.A., Lanko S.V., Konyushkov V.V. Metodyi podgotovki i ustroystva iskusstvennyih osnovaniy [Training methods and the device of artificial bases]. Moscow, Saint Petersburg, ASV, 2012, 280 p.
6. Ofrihter V.G., Ponomaryov A.B., Kleveko V.I., Reshetnikova K.V. Metodyi stroitelstva armogruntovyih konstruktsiy [Methods of construction of reinforced ground structures]. Moscow, ASV, 2013, 152 p.
7. Voroncov V.V. Vertikal'noe armirovanie deiatel'nogo sloia v osnovanii dorozhnoi konstruktsii [Vertical re-enforcement of active layer is in founding of travelling construction]. Abstract of Ph. D. thesis. Tiumen', 2006, 18 p.
8. Kraev A.N. Eksperimental'nye issledovaniia vliianiia gibkikh armiruiushchikh elementov na deformirovannoe sostoianie osnovaniia iz vodonassyshchenogo suglinka [Experimental study of the effect of flexible reinforcing elements on the deformed condition of vodonasosnaja loam]. *Sbornik Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Aktual'nye problemy stroitel'stva, ekologii i energosberezheniia v usloviiakh Zapadnoi Sibiri»*, Tiumen', 2007, pp. 147-150.
9. Tazhigulov A.A. Peschanyie podushki s geotekstilem na slabyih vodonasyishchennyih glinistyih gruntakh [Sand with geotextile on soft water-saturated clay soils]. Abstract of Ph.D. thesis. Moscow, 1993, 20 p.
10. Kleveko V.I. Otsenka napriazhenno-deformirovannogo sostoiianiia armirovannykh osnovanii v pyl'evato-glinistykh gruntakh [An estimation of the tensely-deformed state of the reinforced grounds is in clay soils]. Abstract of Ph. D. thesis. Ufa, 2002, 17 p.
11. Dgouns K.D. Sooruzheniia iz armirovannogo grunta [Building from the reinforced soil]. Ed. V.G.Mel'nik. Moscow, Stroizdat, 1989, 268 p.
12. Kremnev A.P., Issledovanie vliianiia armirovaniia na deformiruemost' sil'noszhimaemykh vodonasyishchennykh gruntov [Research of influence of re-enforcement on the deformability of strongly coercible moist grounds]. Abstract of Ph. D. thesis. Moscow, 1993, 25 p.
13. Konovalov P.A., Kushnir S.Ia. Namyvnye grunty kak osnovaniia sooruzheniia [Aggradational soils as grounds of building]. Moscow, Nedra, 1991, 256 p.
14. Kraev A.N. Obosnovanie ispol'zovaniia peschanoi armirovannoi podushki v slabykh glinistykh gruntakh pod lentochnymi fundamentami [Ground of the use of the sandy reinforced pillow in weak clay soils under band foundations]. Abstract of Ph.D. thesis. Tiumen', 2014, 19 p.
15. Grizuk M.S. Ratsional'nye konstruktsii plit dlia lentochnykh fundamentov [Rational constructions of flags for band foundations]. Abstract of Doctor's degree dissertation. Brest, 1998, 23 p.