

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2018, №2, Том 10 / 2018, No 2, Vol 10 <https://esj.today/issue-2-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/49SAVN218.pdf>

Статья поступила в редакцию 10.04.2018; опубликована 04.06.2018

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Якименко И.В. К вопросу о несущей способности составных ленточных фундаментов // Вестник Евразийской науки, 2018 №2, <https://esj.today/PDF/49SAVN218.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Yakimenko I.V. (2018). On the issue of increasing the bearing capacity of composite tape foundations. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 2(10). Available at: <https://esj.today/PDF/49SAVN218.pdf> (in Russian)

УДК 624.131.524

**Якименко Игорь Валерьевич**

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
им. М.И. Платова», Новочеркасск, Россия

Доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение»

Кандидат технических наук

E-mail: [yakimigor.igor@yandex.ru](mailto:yakimigor.igor@yandex.ru)

## К вопросу о несущей способности составных ленточных фундаментов

**Аннотация.** В статье приведены результаты экспериментальных исследований и компьютерного моделирования по оценке несущей способности грунтового основания составных ленточных фундаментов в зависимости от расстояния между их элементами. Составной ленточный фундамент представляет собой систему параллельно расположенных элементов одинакового размера, уложенных на определенном расстоянии друг от друга.

Испытание моделей незаглубленных составных ленточных фундаментов, состоящих из пяти элементов, показало, что их основания способны воспринимать большие полезные нагрузки, чем основание одиночного ленточного фундамента шириной, равной суммарной ширине элементов составного фундамента.

Для сравнения результатов экспериментальных исследований с результатами математического моделирования были выполнены расчеты предельных нагрузок при помощи пакета прикладных программ ASV32. Характеристики грунтового песчаного основания, размеры элементов составного ленточного фундамента и расстояния между ними приняты такими же, как в эксперименте. Результаты экспериментальных исследований и компьютерных расчетов совпадают с достаточной точностью.

Результаты численного моделирования развития областей пластических деформаций в основании составного фундамента в зависимости от расстояния между его элементами при неизменной нагрузке позволили выявить интервал оптимальных расстояний между фундаментами, в пределах которого можно существенно увеличить нагрузку на систему параллельных ленточных фундаментов.

В статье показано, что увеличение нагрузок на составной фундамент происходит за счет эффекта непродавливания грунта в промежутки между фундаментами и вовлечения в работу большего объема грунта.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований и численного моделирования установлено, что использование составных ленточных фундаментов при

изменении расстояния между их отдельными элементами и прочих равных условиях позволяет существенно увеличить предельную нагрузку на основание при неизменной суммарной площади составляющих систему фундаментов. Это приводит к существенному снижению материалоемкости фундаментов.

**Ключевые слова:** составной фундамент; области пластических деформаций; несущая способность; напряженно-деформированное состояние; расчетное сопротивление; предельная нагрузка; осадка оснований

При достаточно близком расположении фундаментов отдельных сооружений или элементов фундаментов одного объекта в их основании возникает сложное напряженное состояние, вызванное наложением полей напряжений, создаваемых каждым фундаментом в отдельности. Методы расчета несущей способности оснований достаточно подробно разработаны для одиночных фундаментов. Однако, задача оценки напряженно-деформированного состояния грунтов оснований близко расположенных фундаментов требует дальнейшего изучения с целью разработки методов определения величины расчетного сопротивления и предельно допустимой нагрузки на основание с учетом их взаимного влияния.

Решениям различных аспектов задачи о взаимном влиянии близ расположенных фундаментов, в том числе и ленточных фундаментов, посвящены работы ученых М.И. Фидарова [1], А.Н. Богомолова [2], В.Г. Федоровского [3], М.Л. Холмянского [4], К.В. Королева [5] и др. Значительный практический интерес представляет решение задачи о несущей способности основания нескольких параллельных, расположенных с определенными разрывами, ленточных фундаментов одинаковой ширины (в дальнейшем будем употреблять термин – составной ленточный фундамент).

Анализ вышеуказанных работ и исследований, проведенных с участием автора [6, 7], показывает, что чем меньше промежутки между элементами составного фундамента, тем меньше, при всех прочих равных условиях, области пластических деформаций, образующихся под краями средних элементов. При определенном расстоянии между элементами составного фундамента области пластических деформаций образуются только под внешними краями первого и последнего элемента. При некотором значении расстояния между элементами составной фундамент начинает оказывать на основание такое же воздействие, как ленточный фундамент, ширина которого равна суммарной величине ширины элементов фундамента, включая промежутки между ними. При этом под составным фундаментом образуется единое грунтовое ядро, препятствующее продавливанию грунта в промежутки между отдельными элементами, образующими составной фундамент.

Это позволяет сделать вывод о возможности проектирования составных ленточных фундаментов, основания которых способны воспринимать большие полезные нагрузки, чем основания отдельно взятых фундаментов без зазоров эквивалентной ширины.

Ширина эквивалентной ленты составного фундамента

$$L = n \cdot d + (n - 1) \cdot \Delta d,$$

где:  $d$  – ширина отдельного элемента,  $\Delta d$  – величина расстояния между элементами,  $n$  – количество элементов в составном ленточном фундаменте

Критерием несущей способности грунтового основания является предельно допустимая нагрузка, представляющая собой величину внешнего воздействия, при превышении которой происходит разрушение основания, сопровождающееся резким увеличением осадок сооружения и выпором грунта. Считается, что предельно допустимая нагрузка соответствует моменту смыкания областей пластических деформаций, образующихся под краями фундамента

[2]. Процесс образования и развития областей пластических деформаций зависит от интенсивности внешнего воздействия, ширины фундамента и физико-механических свойств грунта основания.

В настоящей статье рассматривается вопрос изменения несущей способности оснований составных ленточных фундаментов, состоящих из отдельных элементов одинаковых геометрических размеров, уложенных параллельно на определенном расстоянии друг от друга. Количество элементов в системе принято равным пяти. Сравнение производилось с несущей способностью сплошного ленточного фундамента шириной  $5d$ , получаемого путем укладки элементов без зазоров.

Экспериментальные исследования производились с целью определения оптимального расстояния между элементами фундамента  $\Delta d$ , при котором несущая способность основания будет максимальной. Площадь подошвы самих фундаментов системы Гнт считается постоянной, а площадь грунтового основания, воспринимающего нагрузки, увеличивается соответственно увеличению промежутка между элементами ленточного фундамента.

Установка для проведения модельных испытаний состояла из светопрозрачного лотка, стенки которого выполнены из органического стекла толщиной 30 мм, заполненного песком, силовой рамы, гидравлического домкрата и приборов для измерения деформаций [8]. Нагрузки на модели фундаментов определялись при помощи тарированного образцового динамометра сжатия. Общий вид установки для испытаний показан на рисунке 1.



*Рисунок 1. Общий вид экспериментальной установки (разработано автором)*

В качестве грунтового основания принят среднезернистый воздушно-сухой песок средней плотности со следующими характеристиками: плотность грунта  $\rho = 17,5 \text{ кН/м}^3$ , плотность частиц грунта  $\rho_s = 22,6 \text{ кН/м}^3$ , пористость  $e = 0,53$ , естественная влажность  $W = 0,16 - 0,22$ , удельное сцепление  $c = 0$ , угол внутреннего трения  $\varphi = 43,0$ .

Модели для испытаний представляли собой составные фундаменты, состоящие из отдельных элементов прямоугольного сечения  $20 \times 27 \text{ мм}$ , длиной 100 мм, выполненных из деревянного бруса. Брусья укладывались параллельно друг другу на выровненное и уплотненное песчаное основание, а поверх них укладывалась распределительная балка сечением  $50 \times 50 \text{ мм}$ . Расстояние между соседними элементами моделей фундаментов принималось равным:  $\Delta d_1 = 0$ ,  $\Delta d_2 = 2 \text{ мм} = 0,1d$ ,  $\Delta d_3 = 4 \text{ мм} = 0,2d$ ,  $\Delta d_4 = 8 \text{ мм} = 0,4d$ . При  $\Delta d_1 = 0$  фундамент считается сплошным с общей шириной  $L = 5d$ .

В процессе испытаний производилось нагружение моделей статической нагрузкой с шагом нагружения 100 кг. На каждой ступени нагружения производились измерения деформаций грунтового основания по краям моделей фундаментов при заданных нагрузках. Наблюдение за деформациями песчаного основания осуществлялось через прозрачные стенки лотка. За начало отсчетов приняты показания измерительных приборов при нагрузке равной 0.

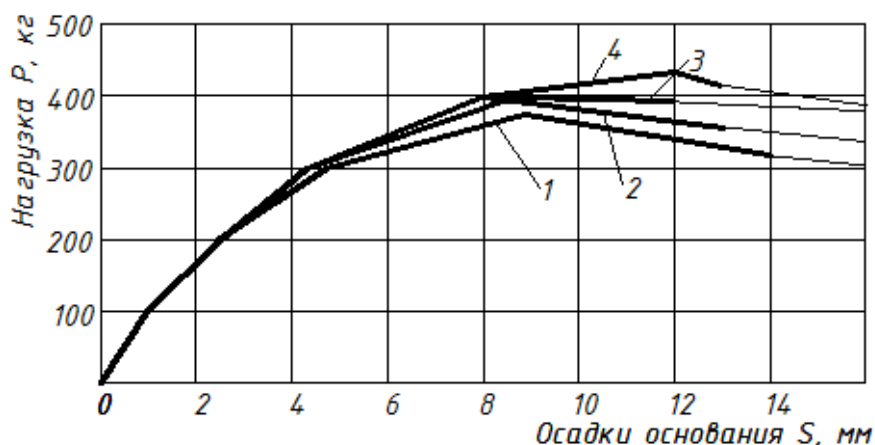
Увеличение нагрузки на модели производится до наступления неустойчивого состояния и исчерпания несущей способности грунта, при котором происходит выпор грунта по краям моделей и резкое прогрессирование осадок. Нагрузка, при которой наступает предельное состояние грунта  $R_{пр}$ , фиксируется по динамометру.

На рис. 2 в качестве примера приведена фотография модели системы фундаментов при зазоре между отдельными фундаментами  $\Delta d_3 = 4 \text{ мм} = 0,2d$  в момент потери устойчивости основанием. Под крайними элементами фундаментов наблюдаются выпоры, а в промежутках между соседними фундаментами выпоры грунта отсутствуют.



**Рисунок 2.** Модель составного фундамента при зазоре  $\Delta d_3 = 4 \text{ мм}$  в момент потери устойчивости основанием (разработано автором)

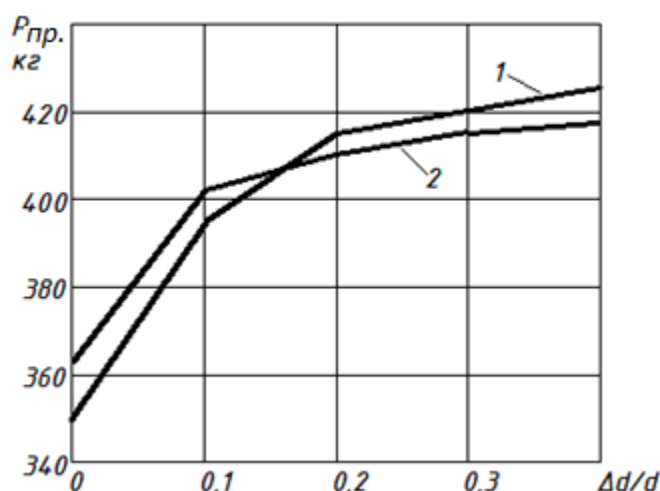
Всего было проведено 4 серии экспериментов по 6 образцов в каждой серии. На рис. 3 показаны графики зависимости осадки модели составных фундаментов от величины нагрузки при разных расстояниях между элементами.



**Рисунок 3.** Графики изменения осадок основания под модели составного фундамента из пяти параллельных незаглубленных элементов: 1 – при  $\Delta d_1 = 0$ , 2 –  $\Delta d_1 = 0,1d$ , 3 –  $\Delta d_3 = 0,2d$ , 4 –  $\Delta d_4 = 0,4d$  (разработано автором)

Из графиков видно, что в начальный период нагружения до нагрузки  $0,5R_{пр}$  изменение деформаций для всех моделей фундаментов происходит примерно одинаково и имеет практически упругий характер. Затем происходит резкое увеличение пластических деформаций и осадок грунтового основания. Нагрузки достигают максимальных значений, а затем при выдерживании в течение достаточно длительного времени уменьшаются за счет ускоренного нарастания пластических деформация грунта. Согласно экспериментальным данным осадки основания достигают 12-14 мм, а предельные нагрузки  $R_{пр}$  с возрастанием зазора между фундаментами от нуля до  $0,4d$  увеличиваются от 308 до 408 кг. При этом максимальное увеличение нагрузки достигается при  $\Delta d = 0,4d$ .

Для оценки достоверности результатов экспериментальных исследований были проведены вычисления предельных нагрузок при помощи пакета компьютерных программ ASV32 [10]. Характеристики грунтового основания, конструкции составного фундамента и величины расстояния между элементами составного ленточного фундамента приняты такими же, как в эксперименте. По результатам экспериментальных исследований и компьютерных вычислений построены графики зависимости величины предельной нагрузки на основание системы моделей составных ленточных фундаментов от величины расстояния между ними (рис. 4).



**Рисунок 4.** Графики изменения величины нагрузки, воспринимаемой составным ленточным фундаментом из пяти элементов, в зависимости от расстояния между элементами системы: 1 – по экспериментальным данным; 2 – по результатам вычислений (разработано автором)

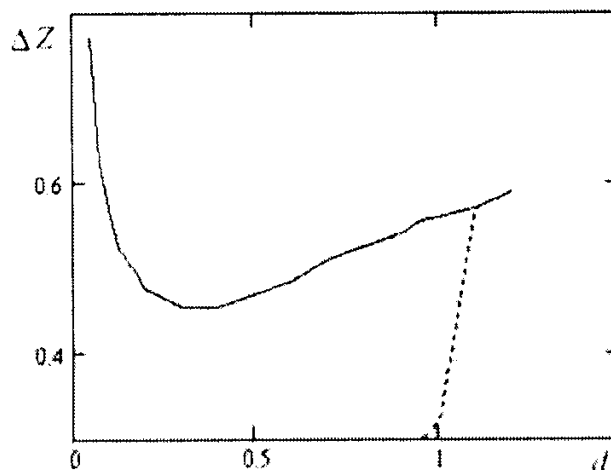
Сравнение экспериментальных и расчетных данных показывает, что:

- при увеличении расстояния между фундаментами несущая способность системы параллельных ленточных фундаментов увеличивается, достигая максимальных значений при величине промежутков между фундаментами  $\Delta d = 0,3 - 0,4d$ ;
- результаты экспериментальных исследований и компьютерных расчетов совпадают с достаточной точностью и отличаются не более, чем на 6 %.

На величину предельной нагрузки существенное влияние оказывает глубина развития областей пластических деформаций (далее ОПД), которая также зависит и от величины расстояния между элементами системы параллельных ленточных фундаментов. В работе [7] исследовано влияние расстояния между элементами системы двух параллельных ленточных фундаментов на глубину развития областей пластических деформаций, не изменяя величины интенсивности равномерно распределенной нагрузки. На графике, приведенном на рисунке 5,



показано, что при постепенном увеличении расстояния между элементами системы из двух фундаментов глубина развития ОПД под их внешними краями начинает уменьшаться, затем достигает минимального значения и после этого начинает постепенно возрастать.

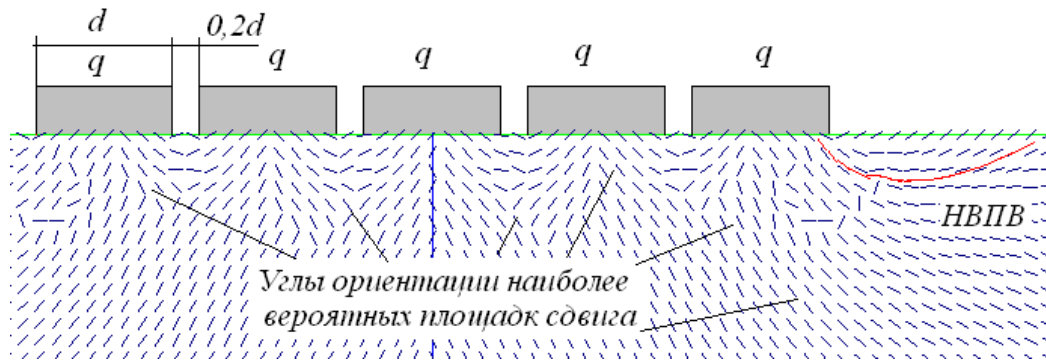


**Рисунок 5.** График зависимости глубины развития областей пластических деформаций от расстояния между элементами составного фундамента (сплошная линия для внешних ОПД, пунктирная линия – для внутренних ОПД) (разработано автором)

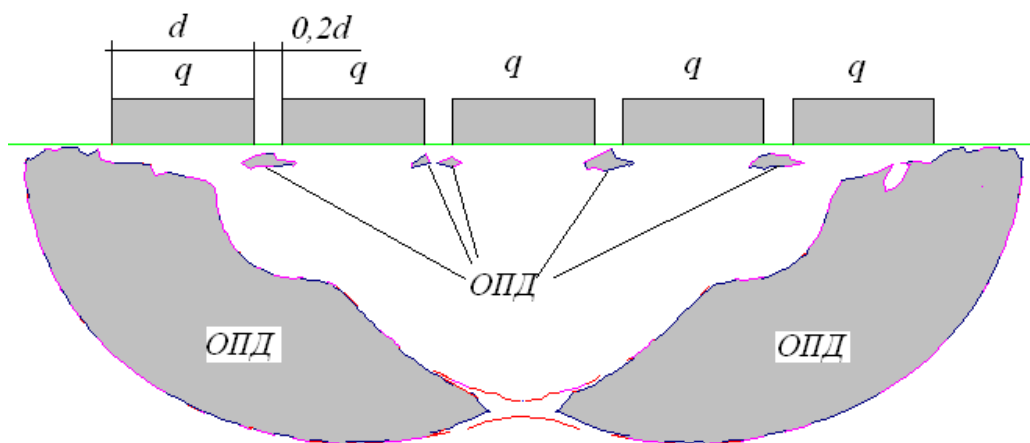
Процесс развития области пластических деформаций происходит при таком расстоянии между фундаментами, когда их взаимное влияние начинает ослабевать. При величине  $\Delta d \approx d$  происходит резкое развитие внутренней области пластических деформаций и её смыкание с внешней областью пластических деформаций под каждым фундаментом системы, и они работают как отдельные независимые фундаменты. Приведенный на рисунке 5 график показывает, что глубина развития пластических деформаций достигает минимального значения  $\Delta Z_{\min}$  при относительной величине расстояния между фундаментами в интервале 0,2 - 0,5d. Это указывает на то, что в данном интервале расстояний между фундаментами можно существенно увеличить нагрузку на систему параллельных ленточных фундаментов, не изменяя их общей площади  $F_{нт}$ .

В основании системы пяти ленточных фундаментов качественная картина процессов развития ОПД практически такая же, как и для системы двух ленточных фундаментов [11]. Отличие заключается только в определении ширины эквивалентной ленты, которая в данном случае будет состоять из пяти фундаментов и промежутков между ними  $L = 5d + 4\Delta d$ . Приведенные выше рассуждения будут справедливы и для системы из пяти фундаментов.

Для полученных при проведении экспериментальных исследований величин предельных нагрузок, при которых происходит потеря устойчивости основанием модели составного ленточного фундамента из пяти элементов, проведены расчеты коэффициента запаса устойчивости  $K$  и глубины развития ОПД. На рисунках 6,7 приведены результаты этих расчетов при  $\Delta d = 0,2d = 4$  мм,  $R_{пр} = 408$  кг. Геометрические размеры моделей системы фундаментов и характеристики грунтового основания приняты из эксперимента. Расчеты выполнялись по программам [10], в которых заложены методики построения областей пластических деформаций и построения наиболее вероятной поверхности выпора (НВПВ) [12].



**Рисунок 6.** Расчетная схема модели составного ленточного фундамента из пяти элементов, углы ориентации наиболее вероятных площадок сдвига и наиболее вероятная поверхность выпора ( $K = 1,09$ ) при  $\Delta d = 0,2d$  (разработано автором)



**Рисунок 7.** Области пластических деформаций в момент потери основанием устойчивости ( $P_{пр} = 408 \text{ к}\bar{з}$ ) при  $\Delta d = 0,2d$  (разработано автором)

Из рисунка 6 видно, что при действии предельной нагрузки выпор грунта в промежутки между фундаментами не происходит. Наиболее вероятная поверхность выпора находится под наружной гранью крайнего фундамента, что соответствует экспериментальным данным. В момент потери основанием устойчивости (рисунок 7) области пластических деформаций почти сомкнуты, а величина коэффициента запаса устойчивости основания  $K = 1,09$ . Аналогичные результаты были получены и при других исходных данных.

### Выводы

Установлено, что использование составных ленточных фундаментов при изменении расстояния между их отдельными элементами и остальных равных условиях позволяет увеличить величину расчетного сопротивления и предельно допустимой нагрузки на основание от 3,5 до 32,6 %, не изменяя площадь составляющих систему фундаментов  $F_{нт}$ . Это приводит к сокращению расхода материалов на возведение фундаментов примерно в тех же пределах.

Экспериментальные и теоретические исследования показали, что наиболее существенное увеличение предельной нагрузки на систему ленточных фундаментов достигается при расстояниях между соседними фундаментами системы в интервале от  $0,2d$  до  $0,5d$ .

Увеличение нагрузок на составной фундамент происходит вследствие эффекта непродавливания грунта в промежутки между элементами составного фундамента. При этом в работу вовлекается больший объем грунта при неизменной площади подошвы элементов составного фундамента.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Фидаров М.И. Проектирование и возведение прерывистых фундаментов. – М.: Стройиздат, 1986. 157 с.
2. Богомолов А.Н. Расчет несущей способности оснований сооружений и устойчивости грунтовых массивов в упругопластической постановке. Пермь: Изд-во ПГТУ, 1996. 150 с.
3. Федоровский В.Г. Предельное давление на ряд ленточных штампов и эффект «непродавливания» // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2006. № 3. С. 9-13.
4. Холмянский М.Л. Напряженное состояние грунта при действии периодической системы полосовых нагрузок // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2005. № 5. С. 2-6.
5. Королев К.В. Исследование несущей способности оснований близко расположенных ленточных фундаментов мелкого заложения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Томск: Изд-во ТГАСУ, 2003.
6. Якименко И.В. Несущая способность слабого связного однородного основания системы параллельных ленточных фундаментов: дис. канд. техн. наук / И.В. Якименко. – Волгоград, 2011. – 142 с.
7. Богомолов А.Н., Якименко И.В., Богомоллова О.А. Повышение несущей способности основания как следствие использования составных ленточных фундаментов // Вестник Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер.: Строительство и архитектура. – 2010. – Вып. 19(38). – С. 5-11.
8. Богомолов А.Н., Якименко И.В., Качурин Я.В., Соловьев А.В., Богомоллова О.А. Экспериментальные исследования несущей способности основания системы пяти параллельных незаглубленных фундаментов // Городские агломерации на оползневых территориях: материалы V Международной конференции по геотехнике. – Волгоград: Изд-во ВолгГАСУ, 2010. – С. 343-349.
9. Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии механики грунтов. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1982. 511 с.
10. Богомолов А.Н., Вихарева О.А., Редин А.В. Пакет прикладных компьютерных программ ASV32 для исследования устойчивости грунтовых массивов // Город, экология, строительство: материалы междунар. науч.-практ. конф. Каир, 1999. С. 33-34.
11. Богомолов А.Н., Якименко И.В., Богомоллова О.А., Качурин Я.В. Результаты компьютерного моделирования процесса образования и развития областей предельного состояния грунта в основании системы параллельных ленточных фундаментов // Городские агломерации на оползневых территориях: материалы V Международной конференции по геотехнике. – Волгоград: Изд-во ВолгГАСУ, 2010. – С. 319-335.
12. Цветков В.К. Расчет устойчивости откосов и склонов. Волгоград: Нижн.-Волж. кн. изд-во, 1979. 238 с.



**Yakimenko Igor Valeryevich**

Platov South-Russian state polytechnic university (NPI), Novocherkassk, Russia  
E-mail: yakimigor.igor@yandex.ru

## **On the issue of increasing the bearing capacity of composite tape foundations**

**Abstract.** The article presents the results of experimental studies and computer modeling to assess the bearing capacity of the soil base of composite tape foundations, depending on the distance between their elements. Composite strip Foundation is a system of parallel elements of the same size, laid at a certain distance from each other.

Testing models of non-buried composite strip foundations, consisting of five elements, showed that their bases are able to accept large payloads than the base of a single strip Foundation width equal to the total width of the elements of the composite Foundation.

For comparison of experimental results with results of mathematical modeling were performed the calculations of limit loads using the software package ASV32. The characteristics of the ground sand base, the size of the elements of the composite strip Foundation and the distance between them are taken the same as in the experiment. The results of experimental studies and computer calculations coincide with sufficient accuracy.

The results of numerical modeling of the development of plastic deformation areas at the base of the composite Foundation, depending on the distance between its elements under constant load, revealed the interval of optimal distances between the foundations, within which it is possible to significantly increase the load on the system of parallel strip foundations.

The article shows that the increase in loads on the composite Foundation is due to the effect of non-compaction of the soil in the intervals between the foundations and the involvement in the work of a larger volume of soil.

Thus, as a result of experimental studies and numerical modeling, it was found that the use of composite tape foundations when changing the distance between their individual elements and other equal conditions can significantly increase the maximum load on the base with the same total area of the foundations that make up the system. This leads to a significant reduction in the material intensity of the foundations.

**Keywords:** composite Foundation; areas of plastic deformation; bearing capacity; stress-strain state; design resistance; limiting load; sediment bases

## REFERENCES

1. Fidarov M.I. Design and construction of foundations intermittent. – M.: Stroiizdat, 1986. 157 p.
2. Bogomolov A.N. Calculation of bearing capacity of foundations and stability of soil masses in the elastic-plastic formulation. Perm: Publishing house Perm state technical University, 1996. 150 p.
3. Fedorovskiy V.G. Pressure Limit for the number of strip stamps and the effect of "no extrusion" // Bases, foundations and soil mechanics. 2006. No. 3. pp. 9-13.
4. Kholmyansky M.L. soil Stress state under the action of the periodic system of strip loads // Bases, foundations and soil mechanics. 2005. No. 5. pp. 2-6.
5. Korolev K.V. research of the bearing capacity of the bases of closely spaced strip foundations of small deposits: the author. dis. ... kand. tech. sciences. Tomsk: publishing house of the Tomsk state University of architecture and civil engineering, 2003.
6. Yakimenko I.V. Load-bearing capacity of a weak coherent homogeneous base of a system of parallel strip foundations: dis. kand. tech. Sciences / I.V. Yakimenko. – Volgograd, 2011. 142 p.
7. Bogomolov A.N., Yakimenko, I.V., Bogomolova O.A. Enhance the bearing capacity of the Foundation as a result of the use of composite strip foundations // the Bulletin of the Volgograd state University of architecture and civil engineering. Ser.: Construction and architecture. – 2010. – Vol. 19 (38). – pp. 5-11.
8. Bogomolov A.N., Yakimenko I.V., Kachurin Ya.V., Solov'ev A.V., Bogomolova O.A. Experimental studies of the bearing capacity of the Foundation of the system of five parallel undeveloped foundations // Urban agglomerations in landslide areas: proceedings of the V international conference on geotechnical engineering. – Volgograd: publishing house of the Volgograd state University of architecture and civil engineering, 2010. – P. 343-349.
9. Maslov N.H. Fundamentals of engineering Geology soil mechanics. Ed. 2nd Rev. and extra – M.: Higher. SHK. 1982. 511 p.
10. Bogomolov A.N., Single O.A., Redin, A.V., the applications software Package ASV32 for the study of the stability of soil slopes // City, environment, building and construction: proceedings of the international. science.-prakt. Conf. Cairo, 1999. pp. 33-34.
11. Bogomolov A.N., Yakimenko I.V., Bogomolova O.A., Kachurin Ya.V. results of computer modeling of the formation and development of soil limit state areas in the basis of the system of parallel strip foundations // Urban agglomerations in landslide areas: proceedings of the V international conference on geotechnical engineering. – Volgograd: publishing house of the Volgograd state University of architecture and civil engineering, 2010. – pp. 319-335.
12. Tsvetkov V.K. Calculation of slope and slope stability. Volgograd: Lower. – Volga. kN. publishing house, 1979. 238 p.