

УДК 69.059.324.2

**М.А. Горбунова, В.И. Клевеко**

**M.A. Gorbunova, V.I. Kleveko**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

## **АНАЛИЗ МЕТОДОВ УСИЛЕНИЯ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫМ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ АРМИРОВАНИЕМ**

## **ANALYSIS OF METHODS OF STRENGTHENING OF THE SOIL FOUNDATION BY USING VERTICAL AND HORIZONTAL REINFORCEMENT**

Статья посвящена вопросу усиления грунтового основания с применением вертикального и горизонтального армирования. Представлен обзор изученности данного вопроса, анализ методов армирования. Рассмотрены конструкции и материалы, используемые для усиления основания, наиболее эффективные и экономически целесообразные способы вертикального и горизонтального армирования. Выявлены принципы работы усиленного основания в зависимости от инженерно-геологических условий и вида применяемого армирования. Произведен анализ методик расчета армированного грунтового основания. Большое внимание уделено способам вертикального армирования. Выявлены преимущества и недостатки существующих методов. Проведен анализ реализуемых методов усиления грунтового основания на предмете существующих объектов.

**Ключевые слова:** вертикальное армирование, горизонтальное армирование, усиленное основание, свая, геосинтетик, грунт, труба.

The article is dedicated to the issue of strengthening of the soil foundation by using vertical and horizontal reinforcement. The article represents a review of information that received from earlier research of this issue, an analysis of reinforcement methods. In this paper described construction and materials, than used for strengthening of soil foundation, most effect and economic advisable methods of vertical and horizontal reinforcement. The article is reviewed analyses of methods of calculation reinforced soil foundation. It gives conclusions about comparability of results of laboratory tests and theoretical research. Much attention is given to methods of vertical reinforcement. Advantages and disadvantages of existing methods are revealed bellow. It gives conclusions about using of vertical reinforcement at different soil conditions. It is analyzed the methods of strengthening the soil foundation, basing on existing objects. Also it gives conclusions about the existing methods of calculations and recommendations.

**Keywords:** vertical and horizontal reinforcement, strengthening of soil foundation, pile, geosynthetic, soil, tube.

При строительстве различных сооружений возникает проблема целенаправленного изменения жесткости основания по причине его недостаточной несущей способности, неблагоприятных инженерно-геологических условий

или изменения его физико-механических свойств с течением времени [1]. Один из способов повышения свойств грунтового основания – его армирование.

Целью исследования является анализ методов повышения физико-механических свойств грунтового массива. Для повышения жесткости грунтов широко применяются различные способы армирования: горизонтальное, вертикальное, наклонное [2–4]. К горизонтальным способам армирования относится высоконапорное инъецирование, закрепление грунтов химическим растворами и армирование геосинтетиками. К вертикальным методам относится устройство грунтоцементных, буроинъекционных, песчаных свай, а также забивных, буровых и винтовых. При этом в существующей городской застройке, характеризующейся стесненностью, или при наличии негативных инженерно-геологических условий применение тех или иных методов невозможно или требует использования совокупности методов. Перспективным вариантом армирования, удовлетворяющим вышеуказанным критериям, является армирование вертикальными элементами – сваями.

Применение забивных и буровых свай чаще всего встречается при новом строительстве для усиления существующего основания как отдельными элементами, образующими свайное поле, так и в составе фундамента здания.

Устройство грунтобетонных свай применяется как при новом строительстве, так и при усилении основания и фундаментов существующих зданий, однако оно сопровождается временным разупрочнением грунтов, в связи с этим требует обоснования и расчетов.

Вертикальные способы армирования грунтов распространены как в России, так и за рубежом. Применение данных методов уменьшает объем земляных работ, так как не требует разработки грунта в котловане, снижает затраты на возведение фундаментов строений и сооружений.

В работе [5] в части способов расчета армированных оснований предлагается методика расчета армированного вертикальными элементами основания, основанная на результатах экспериментальных и аналитических исследований. Предложенная методика расчета основывается на том, что армогрунтовый массив в зоне ядра сжатия воспринимает сжимающие напряжения, а в зоне сдвига воспринимает изгибающие усилия от непостоянных усилий сдвига, таким образом, сопротивление армированного массива складывается из сопротивления армированного грунтового массива сдвигу  $T$  и сопротивления армированного грунтового массива сжатию в средней части  $N_c$ :

$$P \leq \operatorname{ctg}\varphi T + N_c. \quad (1)$$

В то время как прочность армированного грунтового массива в краевых зонах состоит из сопротивления армирующих элементов изгибу и сопротивления грунта сжатию под армирующими элементами. Предложенная методика расчета позволяет прогнозировать прочность армированного грунтового массива.

Произведены полевые испытания армированного грунтового массива монолитными железобетонными сваями диаметром 50 мм и длиной 2 м, в качестве модели фундамента использовалась монолитная бетонная плита. Испытания проводились для трех армированных массивов с различными физико-механическими характеристиками [6].

В ходе проведения полевых испытаний определены величины напряжений армированных массивов на разных этапах напряженного-деформированного состояния. По результатам исследования получены график осадок армированного грунтового массива, усилия в армирующих элементах, эпюра напряжения армогрунта и величины смещения армирующих элементов.

По результатам ранее проведенных лабораторных и теоретических исследований и результатам полевых испытаний армированных массивов разработана расчетная схема для определения величины осадок армированного вертикальными элементами основания (рисунок).

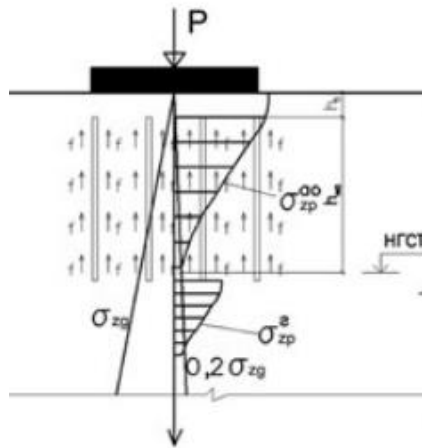


Рис. Схема для расчета осадки армированного вертикальными элементами грунтового основания

Общая осадка армированного основания складывается из осадки грунтовой подушки  $S_6$ , осадки армированного основания  $S_{a3}$  и осадки фундамента  $S_y$ :

$$S_{\text{общ}} \leq S_6 + S_{a3} + S_y \quad (2)$$

Полученная методика расчета позволяет определять несущую способность армированного основания и величину осадки данного основания (расхождения величины осадки с данными лабораторных и полевых испытаний 14,5%, расхождения несущей способности – 7,1 %).

В ходе исследования напряженно-деформированного состояния армированного грунтового массива произведены нагружения грунта, армированного вертикальными и горизонтальными элементами, статическим давлением прессиометра в лабораторных условиях [7, 8]. В качестве исследуемого грунта использован песчаный грунт с модулем деформации 1,3 МПа и углом внутреннего трения 23,8 градусов.

Для сравнения результатов осадок грунтового массива производились нагружения как усиленного массива, так и неармированного грунта. По результатам лабораторных испытаний величина осадок армированного грунта и неармированного грунтов различаются в 1,3–3,3 раза, в зависимости от типа армирования, в том числе различие величины осадки грунтового массива при одной и той же величине нагружения в случае армирования исключительно вертикальными элементами и грунтового массива без армирования практически в 2 раза.

Для сопоставления фактических и прогнозируемых значений осадок произведен расчет величины осадки аналитическим методом по формуле Шлейхера. Развитие осадок исследуемого песчаного грунта, по данным лабораторных испытаний, описывается по параболической зависимости, в то время как величина осадки, по данным расчетов, изменяется по линейному закону. Конечная величина осадки отличается в 3 раза.

Исследование несущей способности слабых армированных водонасыщенных грунтов заключалось в определении величины деформации армогрунтового массива под нагрузкой лабораторными и теоретическими методами [9]. В качестве объекта исследования принят водонасыщенный суглинок, армированный песчаными сваями в геотекстильной оболочке. По данным лабораторных испытаний, потеря несущей способности слабого водонасыщенного грунта происходит при выпоре грунта из-под штампа по достижении предельной величины прикладываемой нагрузки как армированного, так и неармированного грунта. Потеря несущей способности одного и того же грунта в неармированном состоянии происходит при давлении 105 кПа, в армированном – 200 кПа.

При исчислении несущей способности основания расчетным и экспериментальными методами получены следующие результаты: несущая способность основания, на основании согласно лабораторным испытаниям превышала несущую способность грунта согласно теоретическим исследованиям в 1,26 раз.

Проведены исследования практической реализации метода вертикального армирования основания девятнадцатиэтажного жилого дома высотой 63 м [10].

В качестве фундамента для исследуемого здания был принят свайно-плитный фундамент. По результатам предварительных расчетов максимальная осадка свайно-плитного фундамента здания превышала предельно допустимые значения.

Для решения возникшей проблемы и ряда ограничений, таких как сейсмические воздействия на надземную конструкцию здания, основание, сложенное водонасыщенными грунтами, был рассмотрен и смоделирован в программных комплексах армированный буроинъекционными сваями диаметром 400 мм и длиной 35 м грунтовый массив, нагрузка на который от конструктивных элементов здания передавалась через распределительную послойно уплотненную щебеночную подушку. Преимущество использования распределительной подушки заключается в компенсации сейсмических воздействий на надземные конструкции дома относительно равномерной передачи и распределения давления от вышележащих элементов здания.

Данная конструкция усиления грунтового основания, по данным моделирования, позволила снизить величину осадки в 3 раза. Получившаяся по результатам расчетов максимальная осадка здания не превышает предельно допустимые значения, указанные в действующих на тот период нормативных документах.

По результатам проведенного исследования и численного моделирования сделан вывод о недопущении использования свайно-плитного фундамента ввиду неоднородной сжимаемости основания. Усиление основания жилого девятнадцатиэтажного здания путем введения вертикальных армирующих элементов и распределительной щебеночной подушки позволило снизить осадки здания, уменьшить затраты на возведение его подземной части.

Использование для усиления и армирования основания свай различного исполнения повышает несущую способность основания, снижает осадки возводимых конструкций, влияет на деформативность грунтового основания. Разработанные методики расчетов армогрунтовых массивов позволяют определить величину осадки и несущую способность основания с погрешностью до 20 %. Однако в настоящее время в существующих нормативных документах отсутствуют методики расчетов армированных грунтовых оснований, не разработаны рекомендации в части применимости тех или иных методов вертикального усиления основания, учитывающих грунтовые условия площадки строительства.

Пермский край со своими сложными инженерно-геологическими условиями строительства отлично подходит для изучения способов усиления оснований вертикальными свайными элементами и экспериментальных исследований в данной области.

### Список литературы

1. Пат. Р.Ф. № 2055968. Земляное полотно железных и автомобильных дорог в зоне примыкания к искусственному сооружению / Жорняк С.Г., Бойцов Е.А. – 10.03.1996.
2. Bearing capacity of strip foundations in horizontal-vertical reinforced soils / Hou Juan, Zhang Meng-xi, Dai Zhi-heng, Li Jia-zheng, Zeng Feng-fan // *Geotextiles and Geomembranes*. – 2017. – No 1. – P. 29–34.
3. Load transfer mechanism and deformation of reinforced piled embankments / Diego F. Fagundes, Márcio S.S. Almeida, Luc Thorel, Matthieu Blanc // *Geotextiles and Geomembranes*. – 2017. – No 2. – P. 1–10.
4. Large-scale tests of pile-supported earth platform with and without geogrid / Haofeng Xing, Zhen Zhang, Huabei Liu, Hua Wei // *Geotextiles and Geomembranes*. – 2014. – No 6. – P. 586–598.
5. Мирсяяпов И.Т., Попов А.О. Методика расчета армированных оснований // *Вестник гражданских инженеров*. – 2009. – №2(19). – С. 124–125.
6. Попов А.О. Несущая способность и осадки грунтовых оснований, армированных вертикальными элементами // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2014. – №11. – С. 27–31.
7. Мирсяяпов И.Т., Шарафутдинов Р.А. Напряженно-деформированное состояние грунтового основания, армированного вертикальными и горизонтальными элементами // *Изв. Казан. гос. арх.-строит. ун-та*. – 2016. – №2(36). – С. 111–116.
8. Мирсяяпов И.Т., Шарафутдинов Р.А. Расчетная модель несущей способности и осадок грунтового основания, армированного вертикальными и горизонтальными элементами // *Изв. Казан. гос. арх.-строит. ун-та*. – 2016. – №3(37). – С. 179–187.
9. Сафин Д.Р., Груздева В.А. Исследование несущей способности слабых водонасыщенных глинистых грунтов, армированных вертикальными армирующими элементами // *Методы проектирования и оптимизации технологических процессов*. – 2017. – С. 54–56.
10. Мариничев М.Б., Ткачев И.Г. Практическая реализация метода вертикального армирования неоднородного основания для компенсации неравномерной деформируемости грунтового массива и снижения сейсмических воздействий на надземное сооружение // *Науч. журн. Кубан. гос. агр. ун-та*. – 2013. – № 94(10). – С. 1–15.

Получено 28.02.2020

**Горбунова, Мария Александровна** – студентка, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: gorbunova\_45@mail.ru.

**Клевеко, Владимир Иванович** – кандидат технических наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: spstf@pstu.ac.ru.