

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭКВИВАЛЕНТНЫХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ, УПРОЧНЕННЫХ ЖЕСТКИМИ КРУПНЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ (АРМОЭЛЕМЕНТАМИ)

Кравцов В.Н.

Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие
по строительству «Институт БелНИИС»
г. Минск, Республика Беларусь

АНОТАЦІЯ: Описано сучасний метод підвищення міцності земляних масивів і підстав фундаментів з використанням жорстких великих елементів армування ґрунту), який не менш ніж на 30% економічніше існуючих традиційних вібродинамічних (укочування, трамбування та ін.) способів їх зміцнення. Дається аналітичне рішення про визначення еквівалентних властивостей ґрунту, що зміцнюється, і геометричних характеристик армоелементів в залежності від їх розмірів і кроку.

АННОТАЦИЯ: Описан современный метод повышения прочности земляных массивов и оснований фундаментов с использованием жестких крупных элементов (армирования грунта), который не менее чем на 30% экономичнее существующих традиционных вибродинамических (укатка, трамбовка и др.) способов их упрочнения. Дается аналитическое решение определения эквивалентных свойств упрочняемого грунта и геометрических характеристик армоэлементов в зависимости от их размеров и шага.

ABSTRACT: The up-to-date method of the strengthening soils and foundation's ground bases with the use of rigid large elements (ground reinforcing) which is cost-efficient than conventional vibration methods (heavy tamping, vibratory rollers) not less than 30% is described. The analytical solution of the determination of the equivalent improved grounds' properties and geometry characteristics of the reinforcement elements, depending on them size and increment, is considered.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: грунт пониженной прочности, жесткие крупные включения (армоэлементы), эквивалентные свойства грунта.

ВВЕДЕНИЕ

Сущность традиционного упрочнения грунтов способом армирования – повысить их несущую способность, улучшить работу на сдвиг и снизить деформативность за счет восприятия армозементами растягивающих напряжений, на которые грунт не работает [1 и др.]. В качестве армоземента, как правило, традиционно используются (рис. 1): металлическая полоса, круглая стержневая арматура из стали и алюминия, пластмасс (стеклопластика), геотекстиля, синтетических волоконных нитей (корд), полимерных пленок и других долговечных материалов, которые горизонтально-линейно укладываются в грунт при его планомерной отсыпке с послойным уплотнением или вертикально, с использованием свай, а также бетонно-цементных поясов (слоев) и стенок, выполненных по струйной технологии [1, 2-8 и др.].

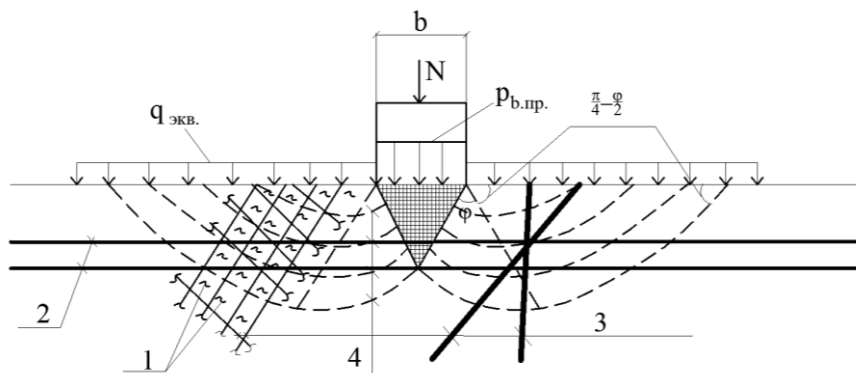


Рис. 1. Схема армирования основания плитного (жесткого) фундамента армозементами: 1 – дисперсное армирование фиброэлементами по всему объему; 2 – линейно-горизонтальное армирование; 3 – линейно-вертикальное и наклонное армирование; 4 – линии скольжения (выпора) грунта при предельной нагрузке на основание $P_{б.пр}$

Традиционные методы укрепления грунта технически не позволяют реализовать оптимальную схему его армирования: перекрыть все плоскости скольжения в пределах основания фундамента (геомассива) при приложении предельной нагрузки и воспринять главные растягивающие напряжения по всем возможным направлениям (рис. 1).

Исходя из этого, автором предложен новый метод дисперсного армирования грунта, лишенный вышеуказанных недостатков (АС СССР №1294918А, 1984, 1985 гг.).

Суть метода заключается в том, что дисперсная арматура, например, из синтетических или металлических отходов промышленности (химической, легкой и др.), требуемых по расчету размеров, в виде коротких фибр, в определенной пропорции вводится в грунтовый массив при его отсыпке или намыве. По сравнению с линейным армированием обеспечивается объемное насыщение арматурой активной зоны основания с усилением грунта по всем возможным площадкам скольжения, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях (поз. 1 на рис. 1).

Экспериментальные исследования, выполненные в РУП «Институт БелНИИС» в рамках программы Минстройархитектуры Республики Беларусь показали значительное, до 30 % и более, повышение несущей способности и снижение деформативности дисперсно и вертикально армированных грунтов по сравнению как с традиционными вибродинамическими методами упрочнения грунта (трамбовка, укатка), так и горизонтальным линейным армированием, а также позволили разработать методы их расчетов и конструирования [9, 10 и др.].

Общий результат собственных и опубликованных исследований неоднородных природных и армированных (искусственных) грунтов с жесткими крупными включениями показывает, что их следует рассматривать как двухкомпонентную структуру, работающую совместно, с эквивалентными, более высокими свойствами, чем у вмещающего армоэлементы исходного грунта [1, 4-11 и др.]. В связи с этим актуальной проблемой является определение эквивалентных характеристик армированных грунтов, армоэлементов и совершенствование методов их проектирования.

Цель настоящей работы – получить аналитический метод оценки эквивалентных свойств грунтов, упрочненных жесткими крупными включениями (армоэлементами) и их характеристик для повышения эффективности существующих эмпирических подходов к проектированию геомассивов из армированных грунтов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Армогрунтовый массив является сложной механической структурой, в которой присутствуют два основных компонента – вмещающий грунт и жесткие крупные включения (далее «арматура»), в виде отдельных армирующих элементов (вертикальных, горизонтальных, дисперсных), имеющих непосредственный контакт с вмещающим их грунтом посредством трения (сцепления) с ним, обеспечивающим непрерывность такой системы. В механическом плане армогрунтовая смесь может проходить через разные состояния. При малой концентрации жестких крупных армирующих элементов (ниже критической массы) они не

оказывают влияния на плотность смеси, механические свойства которой еще соответствуют характеристикам исходного вмещающего грунта.

Эквивалентную плотность рассматриваемой армогрунтовой смеси можно определить на основе теоретических положений механики грунтов из условия:

$$\rho_{\text{экс}} \cdot V = (V - V_a) \cdot \rho_0 + V_a \cdot \rho_a,$$

$$\rho_{\text{экс}} = \frac{(V - V_a) \rho_0 + V_a \rho_a}{V} = 1 + S(\rho_a - \rho_0), \quad (1)$$

где $\rho_{\text{экс}}$ - эквивалентная плотность армогрунтовой смеси, кН/м³;

V, V_a - соответственно объемы армогрунтовой смеси и арматуры, м³;

ρ_0, ρ_a - соответственно плотность упрочняемого (исходного) вмещающего грунта и арматуры, кН/м³;

$S = \frac{V_a}{V}$ - коэффициент объемной концентрации арматуры.

Откуда коэффициент объемной концентрации арматуры можно выразить через формулу

$$S = \frac{\rho_{\text{экс}} - 1}{\rho_a - \rho_0}, \quad (2)$$

Из опыта установлено [1, 11], что арматура не оказывает влияние на свойства исходного грунта до тех пор, пока каждый армоэлемент не займет в нем свободное кубическое пространство, в n раз превышающее его

относительные линейные размеры $\frac{D}{L}$ (где D - диаметр отдельного

жесткого объемного включения, см; L - расстояние между ними, см).

Аналогичные данные получены в работах [4, 5]. Исходя из этого факта геометрически “критическая” объемная концентрация, до достижения которой свойства армосмеси определяются только свойствами ее вмещающего грунта, составит

$$S_{\text{кр}} = \frac{\left(\frac{\pi D}{6}\right)^3}{n^3 \left(\frac{D}{L}\right)^3} = \frac{\pi L^3}{6n^3}. \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что коэффициент S пропорционален насыщению грунта арматурой, т.е. расстоянию между ней, и не зависит от ее размеров. Решая совместно (2) и (3), находим минимальную

эквивалентную плотность $\rho_{\text{экр. min}}$, а из формулы (3) требуемое для этого расстояние между арматурой:

$$\frac{\rho_{\text{экр}} - 1}{\rho_a - \rho_0} = \frac{\pi L^3}{6n^3},$$

$$\rho_{\text{экр. min}} = 1 + \frac{\pi L^3 (\rho_a - \rho_0)}{6n^3}; \quad (4)$$

$$L = nD = D \sqrt[3]{\frac{\pi (\rho_a - \rho_0)}{6(\rho_{\text{экр. min}} - 1)}}. \quad (5)$$

В частности, при использовании грунтобетонных свай в качестве арматуры для упрочнения основания плитного фундамента [11] с $D=0,25$ м, $\rho_a=3$ и $\rho_{\text{экр. min}} \approx 1,006$ при минимальном проценте армирования получим максимальное расстояние между арматурой (шаг)

$$L = D \sqrt[3]{\frac{\pi \cdot 1,7}{6 \cdot 0,006}} = 5,3D.$$

Для оценки состояния армогрунта в предельном состоянии, с концентрацией арматуры не ниже критической, можно использовать, принятое в механике, понятие “коэффициента вязкости”.

$$\eta = \frac{\tau - \tau_0}{dv/dL} \cdot \frac{H \cdot c}{\text{см}^2}, \quad (6)$$

где τ - напряжение сдвига по плоскости скольжения армированного грунта, Па;

τ_0 - то же, неармированного грунта, Па;

v - относительная скорость смещения слоев грунта на контактах с арматурой, см/с;

L - расстояние между арматурой, см.

ВЫВОДЫ

1. Техничко-экономические расчеты и экспериментальные исследования [1-11 и др.] показывают, что метод армирования грунта является наиболее экономичным и эффективным из существующих при повышении качества земляных массивов и оснований фундаментов, пониженной прочности (искусственных, многослойных со слабыми прослойками). Кроме того, метод позволяет использовать дешевые местные материалы (грунтобетон, щебень, гравий и др.), а также решать проблему утилизации отходов (корд, шлак, полимеры и др.) различных производств.

2. Полученное теоретическое решение позволяет уточнить существующие инженерные методы определения эквивалентных свойств армированных грунтов и обеспечить более полное совпадение их результатов с экспериментом, по сравнению с инженерными и эмпирическими подходами [9-11].

ЛИТЕРАТУРА

1. Джоунс, К.Д. Сооружения из армированного грунта / К.Д. Джоунс; пер. с англ. В.С. Заваина; под ред. В.Г. Мельника. – М.: Стройиздат, 1989. – 280 с.: Перевод изд.: Earth Reinforcement and Soil Structures / C. Jones. – Ltd, 1985.
2. Зоценко М.Л. Досвід і перспективи підсилення основ вертикальними грунтоцементними елементами у міському будівництві / М.Л. Зоценко, Ж.М. Бовкун, В.І. Маляренко // Бетон и железобетон в Украине. – 2006. – № 6 – С. 24 – 28.
3. Корчевський, Б.Б. Горизонтально армовані основи під фундаменти будівель: монографія / Б.Б. Корчевський. – Вінниця: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 2004. – 120 с.
4. Маковецкий, О.А. Оценка эффективных деформационных характеристик геомассива / О.А. Маковецкий, Д.К. Серебренникова // Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць. - Вип.3 (38). - Т2. – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – С. 234-240.
5. Тер-Мартirosян З.Г. Механика грунтов / З.Г. Тер-Мартirosян. – М.: АСВ, 2009. – 551 с.
6. Легенченко В.А. К вопросу определения приведенных деформационных характеристик армированных жесткими вертикальными элементами грунтовых оснований / В.А. Легенченко, В.Г. Шаповал и др. // Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць. - Вип.3 (38).Т1. – Полтава: – ПолтНТУ, 2013. – С.232-236.
7. Мирсаяпов И.Т. Оценка прочности и деформативности армированных грунтовых оснований / И.Т. Мирсаяпов, А.О. Попов // Геотехника. – 2010. – № 4. – С.58-67.
8. Мустакимов, В.Р. Прочность и деформативность просадочных грунтов оснований, армированных вертикальными армоэлементами: автореф. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – М.: МГСУ, 2004. – 24 с.
9. Сеськов В.Е. Расчет и конструирование вертикально армированных оснований плитных фундаментов / В.Е. Сеськов, В.Н. Кравцов, С.А. Якуненко // Будівельні конструкції: зб. наук. праць. – К.: ДП НДІБК, - 2013. - Вип.79. – С. 198-205.
10. Рекомендации по проектированию и устройству вертикально армированных оснований (геомассивов) для плитных фундаментов зданий и

сооружений в грунтовых условиях Республики Беларусь: P1.02.133. – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2014. – 28 с.

11. Кравцов В.Н. Исследование вертикально армированных оснований плитных фундаментов грунтобетонными микросваями и апробация их результатов в производственных условиях / В.Н. Кравцов, С.А. Якуненко, П.В. Лапатин // Вестник Полоцкого государственного университета: Серия F. Строительство. Прикладные науки. – Полоцкий государственный университет. – 2015. – № 16. – С.40-47.

REFERENCES

1. Jones, C. Earth reinforcement and soil structures / C. Jones // translated by V.S. Zabavyna; editor V.G. Melnyka. – M.: Strojyzdat, 1989. – 280 p.
2. Zocenko, M. L. Experience and perspectives of strengthening ground bases by vertical soil-concrete elements in the urban construction / M.L. Zocenko, Zh.M. Bovkun, V.I. Malyarenko // Concrete and reinforced concrete in Ukraine. – 2006. – №6 – P. 24 – 28.
3. Korchevskiy, B.B. Horizontal reinforcement of foundations' bases. Monograph / B.B. Korchevskiy. – Vinnytsya: UNIVERSUM – Vinnytsya, 2004. – 120 p.
4. Makoveczkyj, O.A. Evaluation of effective deformation properties of geomassif / O.A. Makoveczkyj, D.K. Serebrennykova // Collection of scientific works (mechanical engineering industry, construction). Rel.3 (38). T2. – Poltava: – PoltNTU, – 2013. – P.234-240.
5. Ter-Matryosyan, Z.G. Ground mechanics / Z.G. Ter-Martyrosyan. – M.: ASV, 2009. – 551 p.
6. To the question of the determining of equivalent deformation properties of reinforced by rigid vertical elements ground bases / V.A. Legenchenko, V.G. Shapoval y` dr. // (mechanical engineering industry, construction). Rel.3 (38). T1. – Poltava: – PoltNTU, – 2013. – S.232-236.
7. Myrsayapov, Y.T. Evaluation of strength and deformability of the reinforced ground bases / Y.T. Myrsayapov, A.O. Popov // International magazine «Geotechnika». – 2010. – № 4. – P. 58-67.
8. Mustakymov, V.R. Strength and deformability of the collapsible ground bases reinforced by vertical elements. Abstract on PhD degree – M: MGSU, 2004. – 24 p.
9. Seskov, V.E. Calculation and designing vertical reinforced bases of slab foundations / V.E. Seskov, V.N. Kravczov, S.A. Yakunencko // Interdepartmental scientific collection «Construction structures»: Rel.79. – Kyiv: DP NDIBK, - 2013. – P. 198-205.
10. Recommendations on design and construction of the vertical reinforced bases (geomassifs) for slab foundations of the buildings and structures in the ground condition of The Republic of Belarus : R1.02.133. – Minsk: RUP «Strojtexnorm», 2014. – 28 p.

11. Kravtsov, V.N. Researching of the vertical reinforced bases of slab foundations by micropiles and application of these results in the industrial condition / V.N. Kravtsov, S.A. Yakunencko, P.V. Lapatsin // Magazine "Vestnik" of the Polotsk state university: Seria F. Construction. Applide science. – PGU. – 2015. – № 16. – P.40-47.

Статья поступила в редакцию 14.07.2016 г.