

и др. // Развитие городов и геотехническое строительство, М., НИИОСП №11, 2007 – с. 90-97.

5. Береснев, А.С. О распределении заданного нагружения между плитой и сваями в плитно – свайном фундаменте / А.С. Береснев, А.Ю. Большаков, Г.Н. Гусев, В.В. Коркодинов, Б.Н. Пименов // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2008. – Volume 4, Issue 2. – P. 33.

6. Мирсаяпов, И.Т. Моделирование напряженно – деформированного состояния плитно – свайного фундамента при совместном деформировании с окружающим грунтовым массивом / И.Т. Мирсаяпов, Д.А. Артемьев // Вестник гражданских университетов. – С-Петербург, 2009. – №2. – С. 121 – 124.

7. Тур, В.В. Применение пост – напряженных плоских плит при устройстве фундаментов на слабых грунтах /В.В. Тур/ Сб. статей Междунар. НТС по геотехнике в рамках ISSMGE «Теория и практика внедрения еврокодов по геотехнике в европейских странах и Республике Беларусь», БрГТУ, Брест, 2018 – с. 98 – 104.

УДК 624.15

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСАДОК ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ АРМИРОВАННЫХ ЖЕСТКИМИ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Шокарев В.С., Шокарев А.С., Шокарев Е.А., Шаповал В.Г.*

(Запорожское отделение Государственного предприятия
«Государственный научно-исследовательский институт
строительных конструкций», г. Запорожье, Украина

*Национальный технический университет «Днепровская
политехника», г. Днепр, Украина)

В статье приведена усовершенствованная методика расчета осадок грунтовых оснований армированных жесткими вертикальными элементами, разработанная благодаря проведению целого ряда научных исследований. Суть предложенной методики заключается в учете в значении рассчитываемой осадки: длины армирующих элементов, их прочности и деформационных свойств, а также

свойств грунта. Проверка разработанной методики на адекватность эксперимента показала более точные результаты, чем методика, изложенная в нормативных документах.

The advanced method of calculation of settlements of the ground bases reinforced by rigid vertical elements, developed thanks to carrying out a number of scientific research is given in article. The essence of the offered technique consists in account in value of the counted settling: lengths of reinforcing elements, their durability and straining properties and also properties of a soil. Check of the developed technique on adequacy of an experiment showed more precise results, than the technique explained in normative documents.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими задачами.

Основной задачей армирования грунтов является уменьшение просадочности лессовых грунтов, повышения прочности и устойчивости оснований, повышения устойчивости подпорных стен, откосов земляных сооружений и оползневых склонов. Исходя из того, что армирование грунтов, это довольно новое направление деятельности, соответственно возникает множество вопросов при проектировании, расчете и устройстве жестких армирующих элементов, поэтому достаточно актуальным является усовершенствование расчета осадок грунтовых оснований армированных жесткими вертикальными элементами.

Анализ последних исследований и публикаций, в которых положено начало решению данной проблемы.

В настоящее время при расчете осадок армированных оснований используется подход, основанный на использовании осредненных характеристик армированного грунта [1, 2]. При этом для того, чтобы была обеспечена работа армированного грунта в массиве, расстояние между армирующими элементами не должно превышать $(3...5) \cdot d$, где d – диаметр армирующего элемента с круглой формой поперечного сечения. Расстояние между армирующими элементами в этом диапазоне принимается из условия расчета необходимого значения модуля деформации усиленного основания E .

Выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена данная статья.

Принятый в настоящее время в нормативных документах для расчета конечных средних осадок оснований (в том числе

армированных) метод послойного суммирования ориентирован на неармированные грунтовые толщи. Поэтому он имеет такие недостатки:

– принятая в практике проектирования процедура назначения усредненных деформационных свойств грунта носит условный характер и не учитывает влияния на осадку фундаментов таких факторов: длины армирующих элементов, соотношения между значениями деформационных свойств грунта и армирующих элементов, соотношения между значениями, прочностных свойств грунта, армирующих элементов и среднего давления под подошвой фундамента;

– не учитывается влияние на осадки фундаментов реологических свойств грунта;

– непонятно, какое влияние на осадки основания имеют армирующие элементы, расположенные за пределами фундамента.

Следовательно, имеет место проблема адаптации к реальным условиям изложенного в нормативных документах метода расчета осадок зданий и сооружений, возведенных на грунтовом основании, армированном жесткими вертикальными элементами.

При написании данной статьи преследовалась цель, изложить общие аспекты усовершенствованной методики расчета осадок грунтовых оснований армированных жесткими вертикальными элементами, а также описать основные результаты исследований которые были для этого выполнены.

Изложение основного материала исследования.

Для разработки усовершенствованной методики расчета осадок армированных грунтовых оснований решались следующие задачи:

- выполнены экспериментальные исследования осадок армированных грунтовых оснований фундаментов на модельном материале;
- произведен анализ результатов наблюдений за осадками здания и сооружений, возведенных на армированных основаниях;
- выполнен ряд теоретических исследований;
- разработана методика расчета армированных жесткими вертикальными элементами грунтовых оснований с проверкой ее на адекватность эксперименту;
- выполнено внедрение разработанной методики расчета осадок в практику проектирования и строительства.

Целью проведения экспериментальных исследований было выявление закономерности развития осадок армированного и неармиро-

ванного основания в зависимости от таких факторов: длины армирующих элементов, их расположения в плане, наличие или отсутствие под подошвой фундамента распределительной подушки, величина среднего давления под подошвой фундаментов, время проведения исследований.

Экспериментальные исследования были выполнены в грунтовой лотке. В качестве основания использовался модельный материал (полиуретан). Общий вид установки для проведения лотковых исследований приведен на рис. 1.

Всего было выполнено 13 разных видов исследований, которые включали в себя: исследования моделей фундаментов на неармированном основании; исследования моделей фундаментов на армированном основании при расположении армирующих элементов в пределах подошвы фундамента с распределительной подушкой и без нее; тоже самое, при расположении армирующих элементов в пределах подошвы фундамента и за его пределами с распределительной подушкой и без нее. Общий вид армированного основания представлен на рис. 2.



Рис. 1. Общий вид установки для проведения лотковых исследований

Всего было выполнено 13 разных видов исследований, которые включали в себя: исследования моделей фундаментов на неармированном основании; исследования моделей фундаментов на армированном основании при расположении армирующих элементов в пределах подошвы фундамента с распределительной подушкой и без нее; тоже самое, при расположении армирующих элементов в пределах подошвы фундамента и за его пределами с распределительной подушкой и без нее. Общий вид армированного основания представлен на рис. 2.

В ходе каждой из вариаций перечисленных видов исследований выполнялось четыре испытания, а полученные таким образом данные усреднялись.

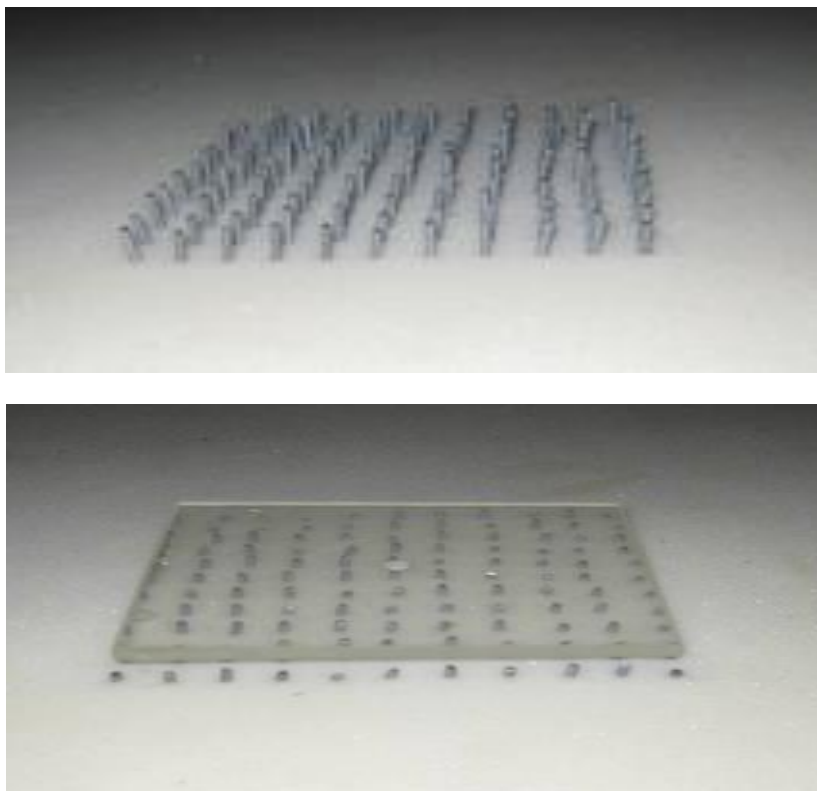


Рис. 2. Общий вид армированного основания

Наиболее характерные результаты данных исследований сведены и в табл. 1 и 2. Их анализ позволил сделать следующие выводы:

1. Осадки армированных вертикальными жесткими элементами оснований значительно меньше осадок неармированных оснований.

2. Осадки армированных оснований до некоторого предела нагрузки практически равны нулю.

3. При постоянной во времени нагрузке осадки фундамента как на армированном, так и на неармированном основании возрастают (т.е. имеет место процесс ползучести).

4. Осадки оснований при расположении армирующих элементов в пределах подошвы фундамента (см. табл. 1), а также в пределах подошвы фундамента и за ее пределами (см. табл. 2) практически совпадают. В этой связи устройство армированных оснований за пределами подошвы фундамента нецелесообразно с точки зрения экономики.

5. При прочих равных условиях осадка фундамента тем меньше, чем больше относительная длина армирующих элементов $\eta = L / b$, и среднее давление под подошвой фундамента P .

В ходе разработки усовершенствованной методики, были проанализированы результаты наблюдений за осадками оснований 6 силосов зернохранилищ и 16-ти этажного жилого дома, возведенных на основаниях армированных жесткими вертикальными грунтоцементными элементами.

Осадки оснований силосов зернохранилищ и жилого дома определялись геодезическим наблюдением, методом геометрического нивелирования. Геодезические наблюдения выполнялись по деформационным маркам, установленным на несущих конструкциях жилого здания и сооружениях.

В результате наблюдений были выявлены натурные осадки жилого дома и силосов, а также соответствующее им среднее давление под подошвами фундаментов. Наблюдения за осадками армированных оснований показали, что при постоянной нагрузке осадки изменяются во времени, это свидетельствует о наличии в грунтовом основании процесса ползучести.

Также был произведен ряд теоретических исследований, которые заключались в:

Таблица 1

Осадки неармированного и армированного в пределах подошвы моделей фундамента оснований.

Распределительная подушка отсутствует

№ п./ п.	Давление Р, кПа	Осадки основания S (мм) при $\eta = L/b$, где L – длина армирующего элемента, b – ширина фундамента			
		неармированное	0,5	1,0	1,5
1	4	4,65	3,82	0,02	0,02
2	8	16,48	9,67	7,92	6,16
3	12	31,11	15,72	13,16	10,59
4	16	39,47	19,65	17,12	14,58

Таблица 2

Осадки неармированного и армированного в пределах и за пределами подошвы моделей фундамента оснований.

Распределительная подушка отсутствует

№ п./ п.	Давление Р, кПа	Осадки основания S (мм) при $\eta = L/b$, где L – длина армирующего элемента, b – ширина фундамента			
		неармированное	0,5	1,0	1,5
1	4	4,65	3,84	0,02	0,02
2	8	16,48	14,08	10,47	6,85
3	12	31,11	19,39	15,43	11,46
4	16	39,47	21,88	18,64	15,40

– определении оптимального соотношения между прочностью армирующих элементов и расчетным сопротивлением армирующих элементов [3];

– выявлении влияния на точность определения осадок армированных жесткими вертикальными элементами грунтовых оснований их приведенных характеристик [4];

– теоретических исследованиях ползучести слоистого основания.

Решив ряд поставленных задач изложенных выше, была усовершенствована методика расчета осадок грунтовых оснований армированных жесткими вертикальными элементами.

Осадку отдельно расположенного фундамента S с использованием расчетной схемы в виде линейно-деформированного полупространства методом послойного суммирования в настоящее время вычисляются по формуле (1) согласно [5].

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{z\gamma,i})h_i}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{z\gamma,i}h_i}{E_{e,i}}, \quad (1)$$

Суть усовершенствованной методики заключается в учете в значении рассчитываемой осадки: длины армирующих элементов, их прочности и деформационных свойств, а также свойств грунта. Усовершенствованная методика заключается в следующем:

1. Если ширина подошвы фундамента либо меньше, либо равна 10 м, расчет осадок фундаментов следует выполнять по формуле (1), положив в ней коэффициент бокового расширения равным:

$$\beta = \frac{0,8}{K}, \quad (2)$$

2. При этом, если ширина подошвы фундамента либо больше, либо равна 30 м, для расчета осадок фундаментов следует использовать формулу (1), положив в ней коэффициент бокового расширения равным:

$$\beta = \frac{\nu \cdot (1 - \nu)}{K}, \quad (3)$$

3. Если размеры фундамента находятся в диапазоне $10 < b < 30$ м, то расчет осадок фундаментов следует выполнять по формуле (1), приняв в ней коэффициент β по интерполяции.

4. Коэффициент K следует определять по формуле (4).

$$K = \begin{cases} 1 - n\rho\eta \leq 0,5; \\ \frac{0,345 \cdot \eta}{\eta - 0,359} - n\rho\eta \text{ ф } 0,5; , \\ \eta = \frac{L}{b}. \end{cases} \quad (4)$$

где K – коэффициент пропорциональности, численно равный отношению натуральных осадок фундаментов на армированном основании к их расчетным значениям;

L – длина армирующих элементов;

b – ширина подошвы фундамента.

В табл. 3...5 приведены данные осадок фундаментов рассчитанные по методике [5] и предложенной методике, эти данные сравнивались с фактическими осадками. Полученные результаты свидетельствуют о том, что рассчитанные с использованием усовершенствованной методики осадки имеют хорошее соответствие с их натурными значениями.

Таблица 3
Осадки неармированного и армированного оснований

№ п./п.	Осадки моделей фундаментов	Осадки основания S (мм) при $\eta = L/b$,			
		неарм.	0,5	1,0	1,5
1	Фактические	39,47	19,65	17,12	14,58
2	Расчетные (согласно [5])	38,30	21,14	11,06	6,10
3	Расчетные (предлагаемая методика)	38,30	21,14	20,55	13,45
4	Расхождение между фактическими осадками и осадками по [5], %	3	7	55	141
5	Расхождение между фактическими осадками и осадками, рассчитанными по предлагаемой методике, %	3	7	17	9

Таблица 4

Результаты расчета осадок силосов

№ п./п.	Номера силосов	Вид расчета осадки	Осадка фундамента, мм	Расхождение между фактической и расчетной осадками, %
1	25 – 26	Фактическая	88,5	-
		По методике [5]	151	71
		По предлагаемой методике	96,5	8
2	1.1 – 1.4	Фактическая	38,3-49,5	-
		По методике [5]	104,4	111-173
		По предлагаемой методике	40,0	4-19

Таблица 5

Результаты расчета осадок жилого 16-ти этажного здания

№ п./п.	Вид расчета осадки	Осадка фундамента, мм	Расхождение между фактической и расчетной осадками, %
1	Фактическая	74,3	-
	По методике [5]	135,5	82
	По предлагаемой методике	87,9	18

Усовершенствованная методика была внедрена в практику проектирования и строительства. В результате чего были получены следующие результаты:

1. Рассчитаны осадки армированного жесткими вертикальными элементами основания склада подсолнечного масла емкостью 26 тыс. тонн и наливной причал в Мариупольском торговом порту.

2. Выполнен подбор характеристик армированного массива, достаточных для обеспечения требуемых в соответствии с поставленным заданием прочностных и деформационных характеристик основания.

3. Расчетный экономический эффект от внедрения разработки по сравнению со свайными фундаментами составил 2 млн. 187 тыс. гривен.

Выводы.

1. Анализ опыта изготовления и эксплуатации, армированных жесткими вертикальными элементами грунтовых оснований показал, что дальнейшее развитие этого направления фундаментостроения связано с совершенствованием методов определения осадок расположенных на них фундаментов при учете свойства ползучести грунта и выявлении дополнительных взаимосвязей между жесткостными свойствами основания и армирующих элементов, а также геометрическими характеристиками последних.

2. На основе анализа результатов эксперимента по определению осадок расположенных на армированных грунтовых основаниях фундаментов была получена нелинейная зависимость, связывающая относительную длину жестких армирующих элементов с осадками фундаментов, что позволяет уточнить значения расчетных осадок фундаментов.

3. Выявлена нелинейная взаимосвязь между жесткостными характеристиками элементов армированного грунтового основания (т.е. модулями деформации армирующих элементов и грунта), величиной приложенной к армированному основанию внешней нагрузки, диаметром армирующих элементов и расстояния между ними, что позволяет обоснованно выполнять проектирование этих оснований.

4. Обоснована возможность при определении осадок обладающих свойством ползучести оснований (в том числе армированных жесткими вертикальными элементами) использования метода послойного суммирования, что позволяет существенно упростить процедуру расчета.

5. Предложена методика определения осадок армированных жесткими вертикальными элементами оснований, позволяющая благодаря учету дополнительных факторов (в том числе ползучести грунта) существенно уточнить их значения (по сравнению с изложенной в [5]) методикой).

6. Результаты работы были использованы при определении осадок армированного жесткими вертикальными элементами основания склада подсолнечного масла емкостью 26 тыс. тонн в Мариупольском торговом порту.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование и устройство оснований и сооружений из армированного грунта. Строительные нормы республики Беларусь. Приложение П10-01 к СНБ 5.01.01-99. – Минск: Минстройархитектуры республики Беларусь, 1999. – 36 с.

2. ДБН В.2.1-10-2009. Изменение №2. Основания и фундаменты сооружений. Основные положения проектирования – К.: Минрегион Украины, 2012. – 18 с.

3. Шокарев Е.А. К вопросу определения приведенных характеристик грунтовых оснований, армированных жесткими вертикальными элементами / А.В. Шаповал, Е.А. Шокарев, В.Г. Шаповал, А.В. Шокарев // Світ геотехніки. – 2012. – № 2 (34). – С. 28-30.

4. Шокарев Е.А. К вопросу определения приведенных деформационных характеристик армированных жесткими вертикальными элементами грунтовых оснований / В.А. Легенченко, В.Г. Шаповал, А.В. Шаповал, Е.А. Шокарев, В.С. Андреев // Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – Вип. 3 (38), т.1. – С. 232-236.

5. ДБН В.2.1-10-2009. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Основные положения проектирования – К.: Минрегион Украины. – 2009. – 107 с.