

УДК69.059.25:624.15:624.154.51

Абед С. Ф.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)

## ОБОСНОВАНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ФУНДАМЕНТА С ПОМОЩЬЮ ГРУНТОГЛИНОЦЕМЕНТНЫХ СВАЙ В ПРОСАДОЧНЫХ СУГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ

*В работе приведены результаты математического моделирования (МКЭ) осадок и просадок фундаментов в природном, водонасыщенном состоянии, и после реконструкции с помощью грунтоглиноцементной сваи (технология струйной цементации) в суглинистых грунтах.*

**Ключевые слова:** грунт, фундамент, моделирование, реконструкция, суглинок, сваи.

**Актуальность проблемы.** Как известно, к просадочным относят грунты, которые, находясь под нагрузкой от собственного веса и внешнего давления, дают при замачивании дополнительные большие осадки, вызванные нарушениями их структурных связей [1]. Определение неравномерных осадок фундамента одного и того же здания или сооружения называется разностью абсолютных осадок этих фундаментов, поскольку они имеют разные размеры, форму, глубину заложения, нагрузки и пригрузки; влиянием напряжений грунта в основании соседних фундаментов, а также разной по величине и времени протекания сжимаемости (неоднородности) грунта под ними. Причиной неравномерной осадки (крен, перекос, изгиб и т. д.) отдельного фундамента может быть как внецентренная нагрузка, так и различие в сжимаемости грунта основания в пределах контура подошвы здания и сооружения. Деформации оснований зданий и сооружений на просадочных грунтах определяются суммированием осадок и просадок [2]. Принимается, что неравномерные деформации грунтов в основании происходят только при местном их замачивании вследствие просадки в пределах деформируемой зоны в зависимости от нагрузки фундаментов и частично собственного веса грунта [4].

Одним из инженерных решений, обеспечивающих устойчивость и эксплуатационную надежность проектируемых соору-

жений, является технология струйной цементации. Технология струйной цементации грунтов получила широкое распространение при решении сложных задач в области подземного строительства [5].

**Цель работы.** Обоснование реконструкции фундамента с помощью грунтоглиноцементной сваи в просадочных суглинистых грунтах

**Изложение основного материала.** Для реконструкции фундамента в просадочных суглинистых грунтах с помощью технологии струйной цементации предусматривается и рассматривается задача работы при трех вариантах состояния грунта:

1. Моделирование грунтового основания в природном состоянии.
2. Моделирование грунтового основания в водонасыщенном состоянии.
3. Моделирование грунтового основания при усилении сваями с помощью технологии струйной цементации грунта.

Решение поставленных задач выполнялось на примере ленточных фундаментов мелкого заложения малоэтажных зданий с бескаркасной конструктивной схемой.

Краткое описание зданий: высота этажа не более 3 м; фундаменты ленточные из бутовой кладки с монолитной плитной частью, глубина заложения 1 м; стены из кирпичной кладки, пролет не более 6 м; перекрытия и покрытие из пустотных плит; кровля рулонная совмещенная.

## БУДІВНИЦТВО

Нагрузки: характеристическое значение нагрузки от собственного веса перекрытия не более 5 кПа, от веса покрытия не более 8 кПа; характеристическое значение полезной нагрузки на перекрытие не более 2 кПа; характеристическое значение снеговой нагрузки не более 1,6 кПа.

В зависимости от этажности зданий приняты следующие варианты погонной нагрузки на подошву фундамента: 100; 200; 300; 400 кН/м.

Для первого варианта основания в природном состоянии в качестве грунта принят суглинок просадочный с характеристиками, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 — Характеристики суглинка

Наименование характеристик	Ед. изм.	Показатель
Влажность на границе текучести	доли ед.	0,35
Влажность на границе пластичности	доли ед.	0,21
Число пластичности		0,15
Влажность природная	доли ед.	0,19
Влажность водонасыщения	доли ед.	0,25
Показатель текучести		0,14
Показатель текучести в водонасыщенном грунте		0,30
Удельный вес частиц грунта	кН/м <sup>3</sup>	26,39
Удельный вес грунта	кН/м <sup>3</sup>	18,26
Удельный вес сухого грунта	кН/м <sup>3</sup>	15,34
Удельный вес в водонасыщенном грунте	кН/м <sup>3</sup>	19,14
Удельный вес взвешенного в воде грунта	кН/м <sup>3</sup>	9,63
Пористость	доли ед.	0,42
Коэффициент пористости природного слож.	доли ед.	0,72
Степень влажности в природном состоянии		0,70
Степень влажности в водонасыщенном состоянии		0,92
Недостаток водонасыщения	доли ед.	0,06
Полная влагоемкость		0,26
Относительная просадочность грунта при уплотняющем напряжении (МПа)		
	P = 0,050	0,0057
	P = 0,100	0,0082
	P = 0,150	0,0096
	P = 0,200	0,0114
	P = 0,250	0,0123
	P = 0,300	0,0129
Начальное просадочное давление	МПа	0,1603
Модуль деформации грунта в природном состоянии.	МПа	11,7
Модуль деформации грунта в заданном состоянии	МПа	5,9
Степень изменчивости сжимаемости по модулю деформации.		1,98
Угол внутреннего трения в заданном состоянии	град.	23
Удельное сцепление грунта в заданном состоянии	МПа	0,021

Для упрощения задачи принимается, что подошва фундамента расположена на уровне планировочной отметки, напряжения от собственного веса грунта, расположенного выше подошвы фундамента, отсутствуют, расчетные сопротивления грунта принимаются условно по таблице Е.4 [6]: для просадочного грунта в сухом

состоянии  $R_0 = 400$  кПа, для водонасыщенного – 200 кПа. Первоначально основание рассчитывалось по второй группе предельных состояний в соответствии с требованиями [6]: определялась осадка с использованием расчетной схемы в виде линейно-деформируемого пространства, и мощность сжимаемой толщи. Исходные

данные: планировочная отметка земли 0 м; отметка подошвы фундамента -1 м; ширина подошвы фундамента -1,2 м; мощность слоя грунта ниже подошвы фундамента 8 м; высота расчетного слоя - 0,5 м.

На следующем этапе выполнялось непосредственно моделирование грунтового основания. Расчет выполнялся методом конечных элементов (МКЭ) с использованием ПК ЛИРА.

Грунтовое основание аппроксимировалось конечными элементами типа КЭ281 – физически нелинейный прямоугольный элемент плоской задачи (грунт).

Габариты грунтового основания в расчетной схеме задавались с таким расчетом, чтобы убрать влияние краевого эффекта от наложенных связей закрепления, приблизительно на 7 м больше ширины подошвы – фундамента в каждую сторону и ниже границы сжимаемой толщи на 12 м. Шаг триангуляции принимался 0,3 м – 1 м.

Рассматривались два нагружения: первое — собственный вес грунта с коэффициентом 0,2; второе — давление под подошвой фундамента.

Результаты расчетов в линейной постановке задачи приведены на рисунках 1 и 2.

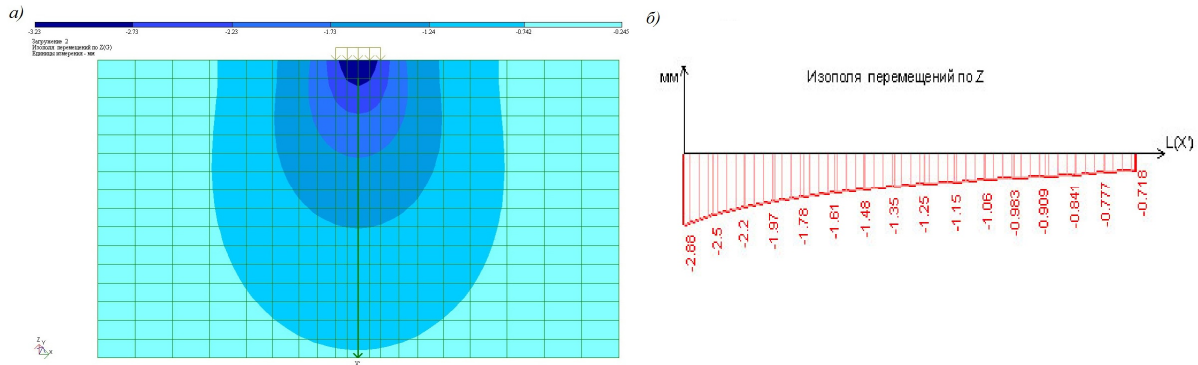


Рисунок 1 — Перемещения по  $Z$ , мм (а) и эпюры по сечению  $X'$  для 2 нагружения (б)

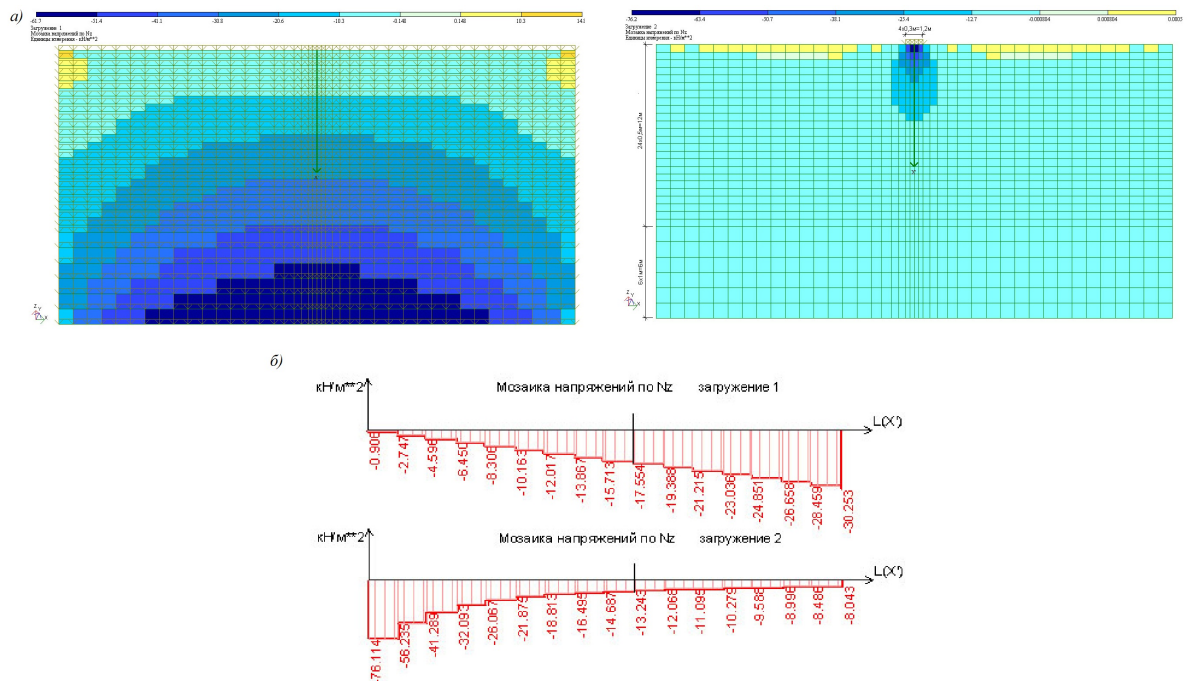


Рисунок 2 — Напряжения  $N_z$  кПа (а) и эпюры по сечению  $X'$  для 1 и 2 нагружений (б)

Сравнение результатов расчетов основания по [6] и методом конечных элементов при погонной нагрузке на подошву фундамента 100; 200; 300; 400 кН/м приведены на рисунках 3, 4.

Как видно из рисунка 3, характер распределения напряжений в грунтовой тол-

ще по разным методикам расчета одинаков. Величина напряжений в локальной зоне концентрации под подошвой фундамента по МКЭ незначительно меньше в сравнении с расчетом по [6], погрешность составляет не более 2,5%.

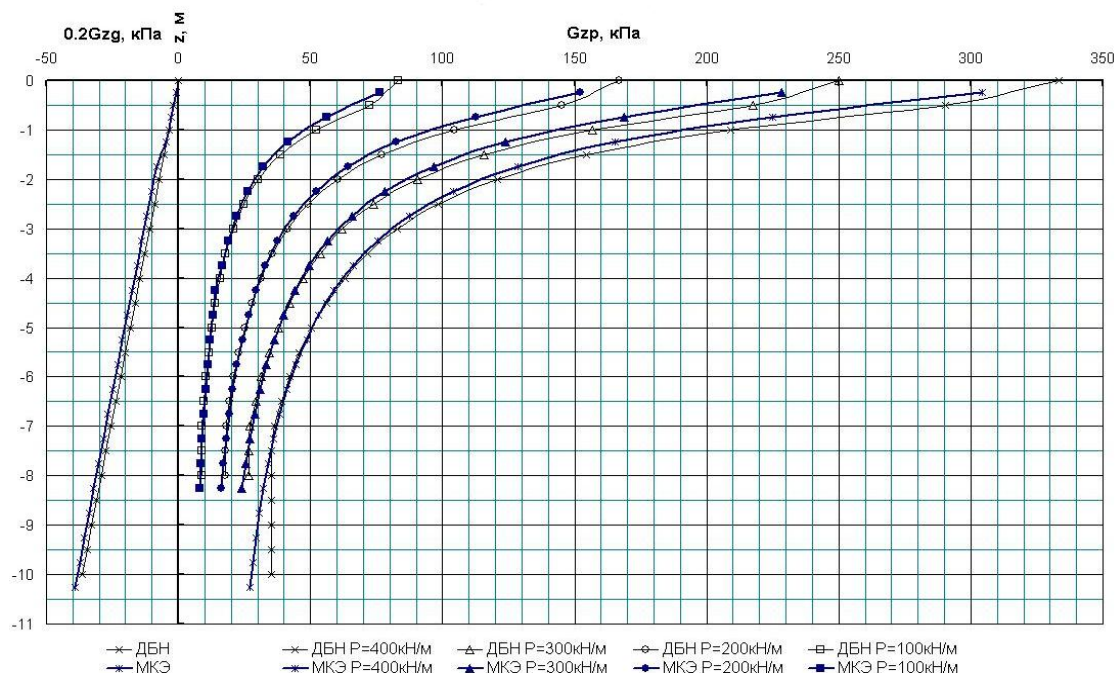


Рисунок 3 — График сравнения результатов расчета основания по напряжениям в природном состоянии

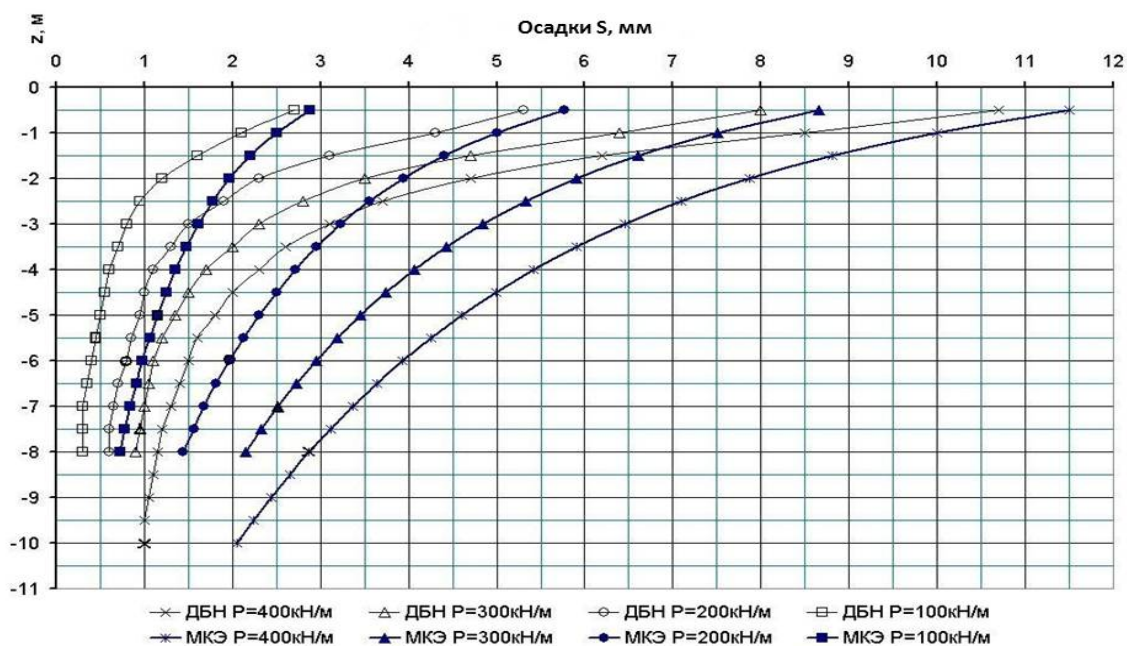


Рисунок 4 — График сравнения результатов расчета основания по осадкам в природном состоянии

В соответствии с рисунком 4 характер распределения осадок элементарных слоев по [6] и перемещений узлов по МКЭ значительно отличается. Величины осадок и перемещений в зоне под подошвой фундамента приблизительно одинаковые, с увеличением глубины определения осадок и полученных в результате расчета перемещений наблюдается увеличение значений вертикальных перемещений приблизительно в 2 раза. После прохождения границы сжимаемой толщи осадки и перемещения в виду своей малости отличаются незначительно.

Для второго варианта основания в водонасыщенном состоянии с характеристиками, приведенными выше, рассматривались следующие исходные данные: планировочная отметка земли 0 м; отметка подошвы фундамента —1 м; ширина подошвы фундамента 1,2 м; мощность слоя грунта ниже подошвы фундамента 10 м; высота расчетного слоя 0,5 м; грунты просадочные с начальным просадочным давлением 160 кПа. Погонные нагрузки на подошву фундамента 200; 300; 400 кН/м.

Основание рассчитывалось по второй группе предельных состояний в соответст-

вии с требованиями [6]: определялась осадка с использованием расчетной схемы в виде линейно-деформируемого пространства,  $S$ ; просадка слоев верхней зоны от действия суммарных напряжений собственного веса грунта и дополнительных напряжений от фундамента при полном водонасыщении,  $S_{sl}$ . При этом уровень грунтовых вод принимался на отметке подошвы фундамента; суммарная осадка,  $S+S_{sl}$ .

Рассматривались три загрузки: первое – собственный вес водонасыщенного грунта с коэффициентом 1; второе — давление под подошвой фундамента; третье — для учета сжимаемости водонасыщенного грунта от действия суммарной нагрузки в виде дополнительного давления под подошвой фундамента. Для анализа результатов задавались следующие сочетания нагрузок: 1 — загрузка №2 для определения осадок,  $S$ ; 2 — загрузка №2 + загрузка №3 — для определения суммарных осадок,  $S+S_{sl}$ ; 3 — загрузка №1 + загрузка №2 для определения суммарных напряжений под подошвой фундамента. Сравнительная характеристика результатов расчетов основания по [6] и МКЭ приведена на рисунках 5,6.

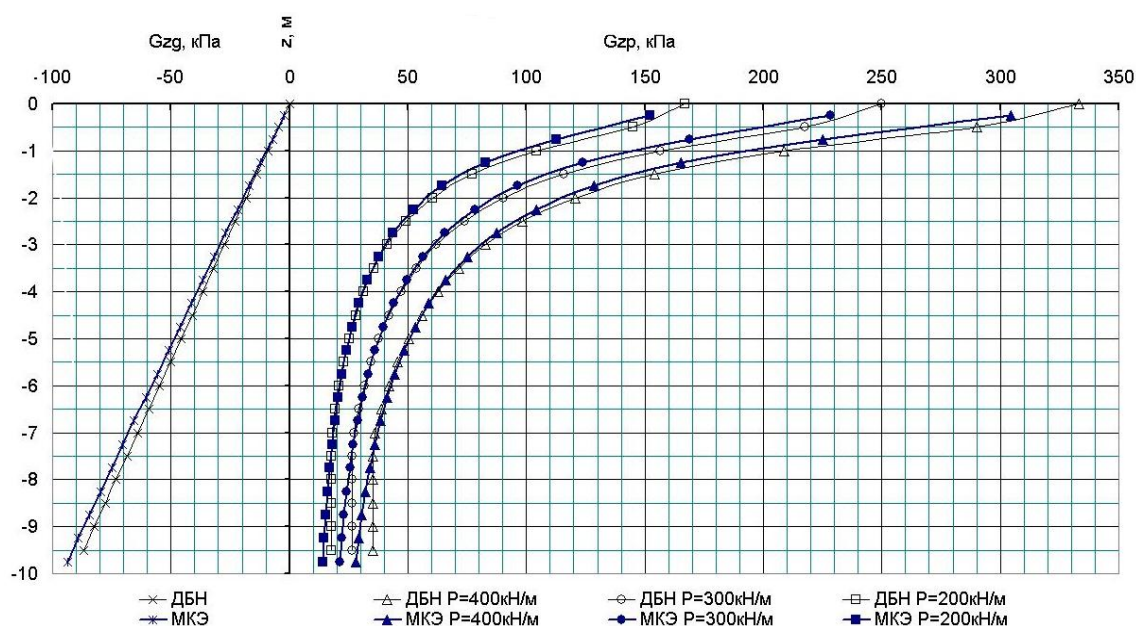


Рисунок 5 — График сравнения результатов расчета основания по напряжениям в водонасыщенном состоянии

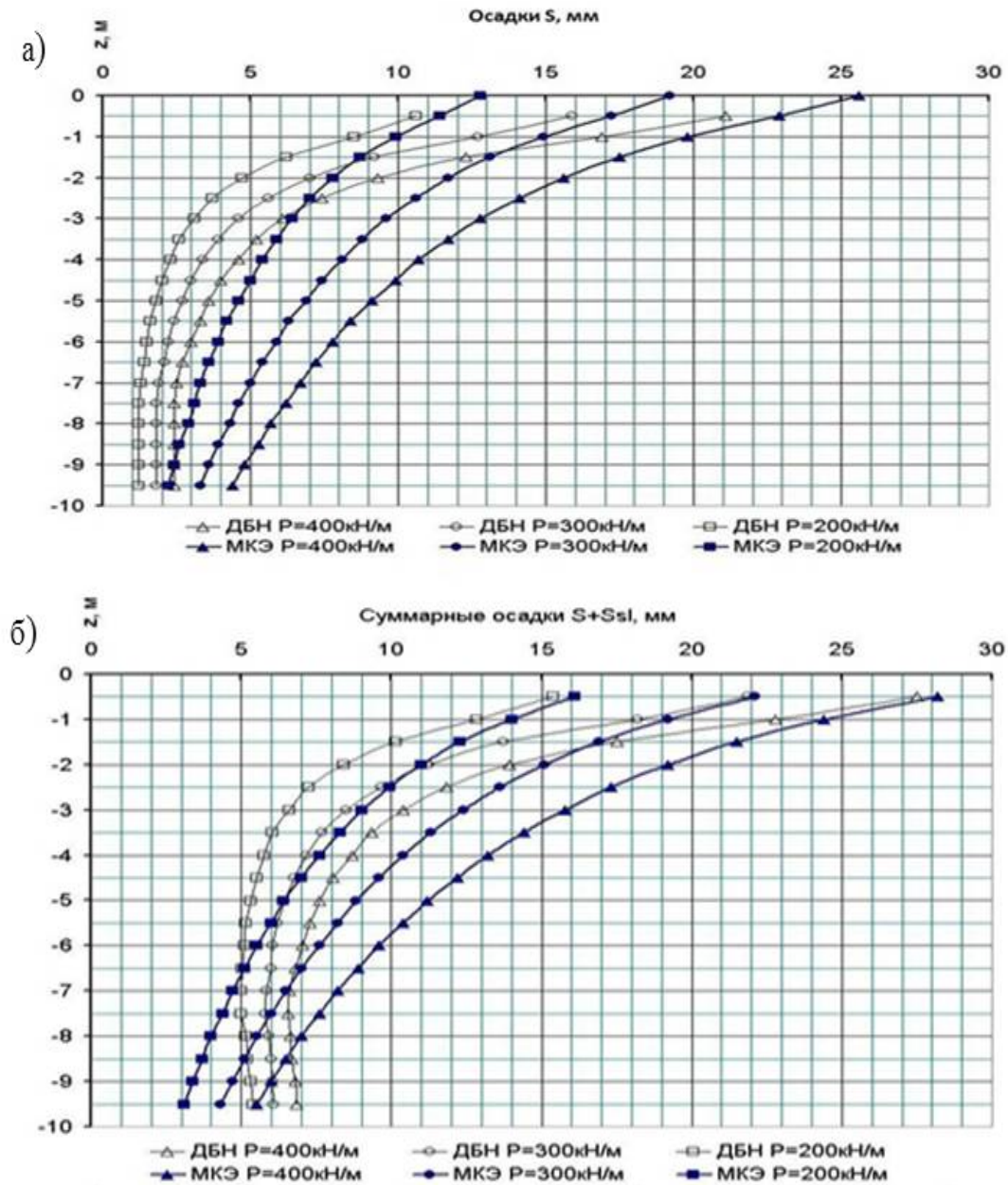


Рисунок 6 — График сравнения результатов расчета основания по деформации а) осадки, мм, (б) суммарные осадки, мм в водонасыщенном состоянии

Для третьего варианта водонасыщенного просадочного грунта, усиленного взаимносекущимися грунтоцементными сваями, с помощью технологии струйной цементации, расположенными возле ленточного фундамента с шириной основания  $b = 1,2$  м (рис. 7).

В расчетной схеме задачи принимались следующие допущения:

– физико-механические характеристики грунтоцементной сваи приняты одинаковыми по всему объему;

– к расчету принимается поперечное сечение 1 п.м. «стены в грунте» шириной  $b_1$  и высотой  $h_1$ , образованное из взаимносекущихся грунтоцементных свай;

– расчетная ширина сечения  $b_1 \approx d_1 = k \cdot D$ , где  $k$  — коэффициент, определяющий степень взаимного пересечения свай.

Характеристики суглинка принимались по таблице 1.

Исходные данные для расчета: ширина подошвы фундамента 1,2 м; мощность слоя грунта ниже подошвы фундамента 12 м; высота расчетного слоя 0,5 м; грунты

просадочные с начальным просадочным давлением 160 кПа. Погонные нагрузки на подошву фундамента 200; 300; 400 кН/м.

Характеристики грунтоцементной сваи приведены в таблице 2.

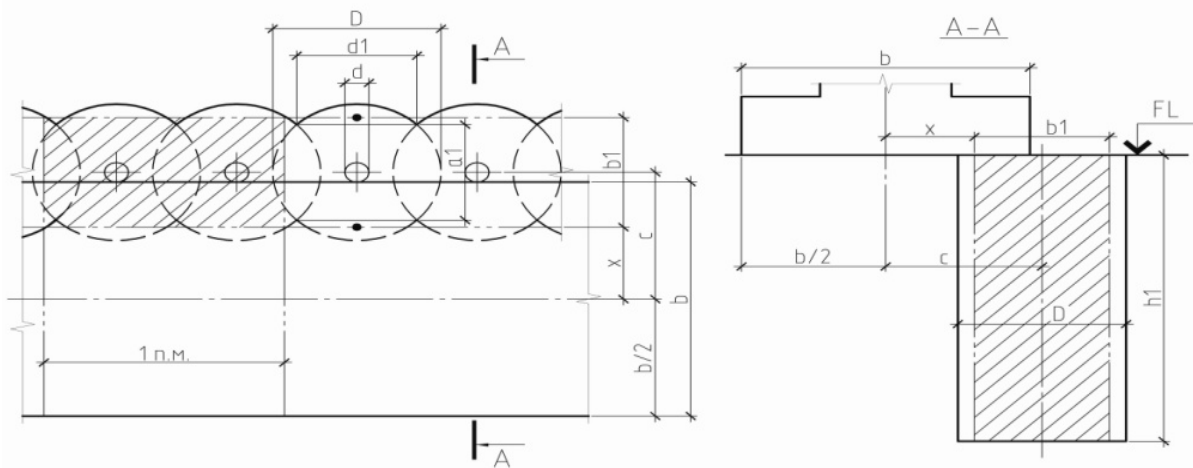


Рисунок 7 — Схема расположения грунтоцементных свай

Таблица 2 — Характеристики грунтоглиноцементной сваи в суглинистых грунтах

№	Добавки от массы цемента, %	Модуль деформации, Е, МПа	Прочность на сжатие, R, МПа	Кoeff. Пуассона, $\mu$	Диаметр, D, мм	Предельная глубина бурения скважины, $h_{1max}$ , м
1	2	930	9,81	0,25	700	7,5

Рассматривались три загрузки: первое — собственный вес водонасыщенного грунта с коэффициентом 1; второе — давление под подошвой фундамента; третье — для учета сжимаемости водонасыщенного грунта от действия суммарной нагрузки в виде дополнительного давления под подошвой фундамента.

Для анализа результатов задавались следующие сочетания нагрузок: 1 — загрузка №2 для определения осадок, S; 2 — загрузка №2 + загрузка №3 — для определения суммарных осадок, S+Ssl; 3 — загрузка №1 + загрузка №2 для определения суммарных напряжений под подошвой фундамента.

Свая рассматривалась как физически нелинейный прямоугольный элемент плоской задачи (балка-стенка). Объемный вес грунтоглиноцемента принимался равным 20 кН/м<sup>3</sup>, расчетная ширина сечения сваи —  $b_1=0,715D \approx 500$  мм, расчетная высота сваи —  $h_1=7$  м. Изополя напряжений при погонной нагрузке на фундамент 400 кН/м приведены на рисунке 8. Сравнительная характеристика результатов расчета основания по перемещениям для свай и по напряжениям с добавками 2% (поз.1 табл. 2) приведена на рисунках 9, 10. Здесь же показаны результаты расчета основания фундамента без усиления.

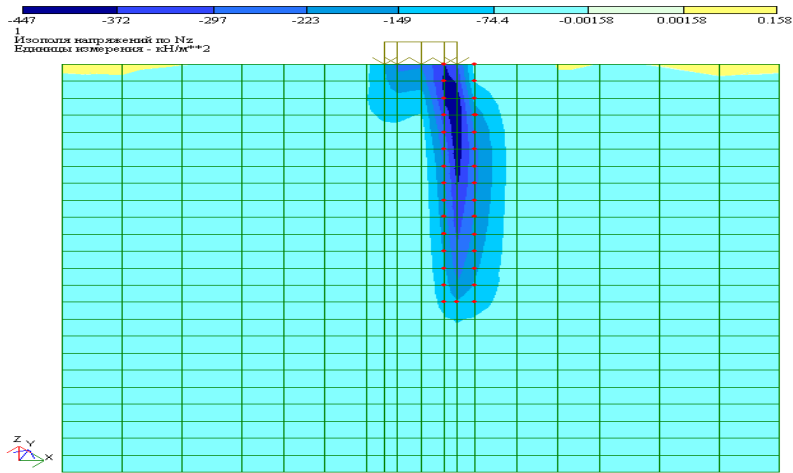


Рисунок 8 — Изополя напряжений  $N_{zp}$ ,  $P=400\text{кПа}$

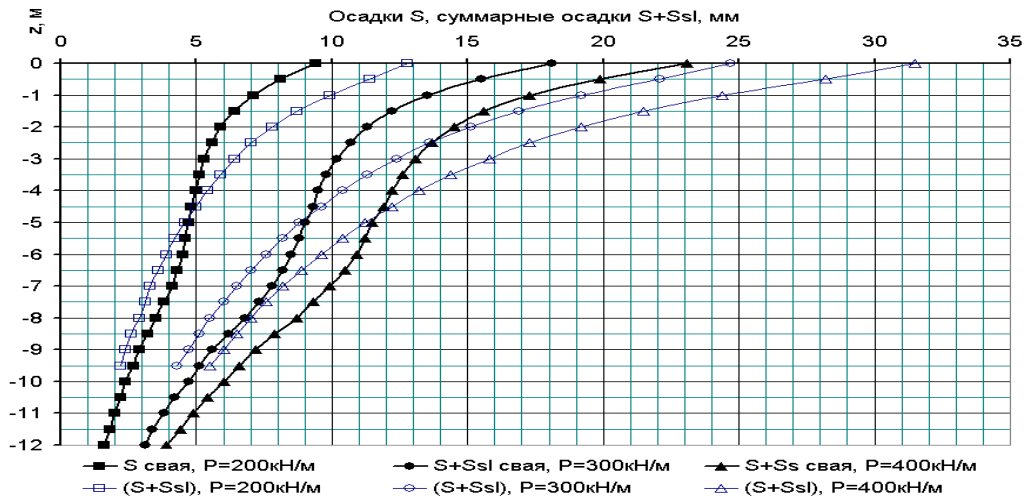


Рисунок 9 — График сравнения результатов расчета основания по перемещениям

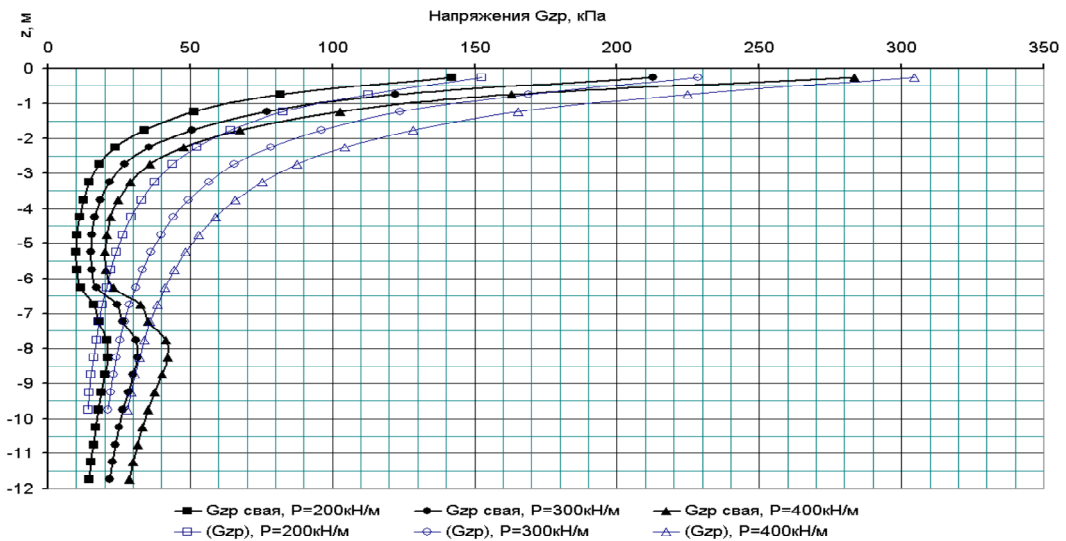


Рисунок 10 — График сравнения результатов расчета основания по напряжениям



Как видно из рисунка 9 при усилении основания, сложенного суглинистыми просадочными грунтами, грунтоглиноцементными сваями при малых нагрузках на подошву ленточного фундамента (до 200 кН/м) просадки основания не происходит.

Напряжения под подошвой фундамента от внешней нагрузки при усилении основания сваями меньше, по сравнению с водонасыщенным основанием без усиления

вследствие восприятия частичной нагрузки самими сваями (рис. 10).

**Выводы.** По сравнительным характеристикам результатов расчета основания по перемещениям в водонасыщенном состоянии и после усиления видно, что реконструкция фундамента с помощью грунтоглиноцементных свай (технологии струйной цементации) даёт максимальные показатели при нагрузках до 200 кН/м в суглинистых грунтах.

### Бібліографічний список

1. ДБН В.1.1-5-2000. Будинки і споруди на підроблюваних територіях і просідаючих грунтах.
2. Силкин А. М. Основания и фундаменты: учебн. и учебн. пособ. [для студ. высш. учебн. заведений] / А. М. Силкин, Н. Н. Фролов. — М.: Агропромиздат, 1987. — 288 с.
3. Основания и фундаменты / Г. И. Швецов, И. В. Носков, А. Д. Слободян, Г. С. Коськова. — М.: Высш. шк., 1991. — 383 с.
4. Инструкция по проектированию бескаркасных жилых домов, строящихся на просадочных грунтах с применением комплекса мероприятий. РСН 297-78. — Киев: НИИСП, 1978. — 106 с.
5. Малинин А. Г. Струйная цементация грунтов. — М.: ОАО изд. Стройиздат, 2010. — 226 с.
6. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. — К.: Мікрорегіонбуд Укр., 2009.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. ДонГТУ Голодновым А. И., к.т.н., с.н.с. ЛФ НИИСК Куркин Н. П.*

*Статья поступила в редакцию 06.06.14.*

**Абед. С. Ф.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)

### ОБҐРУНТУВАННЯ РЕКОНСТРУКЦІЇ ФУНДАМЕНТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ГРУНТОГЛИНОЦЕМЕНТНИХ ПАЛЬ У ПРОСАДНИХ СУГЛИНИСТИХ ҐРУНТАХ

*У роботі наведені результати математичного моделювання (МКЕ) осідання і просідань фундаментів у природному, водонасиченому стані і після реконструкції за допомогою грунтоглиноцементної палі (технологія струминної цементації) в суглинистих грунтах.*

**Ключові слова:** *грунт, фундамент, моделювання, реконструкція, суглинок, палі.*

**Abed S. F.** (DonSTU, Alchevsk, Ukraine)

### SUBSTANTIATION OF FOUNDATION RECONSTRUCTION WITH GROUND CLAY-CEMENT PILES IN COLLAPSING LOAMY SOILS

*The results of mathematic simulation (FEM), foundation settlement and subsidence in natural water-saturated condition, and after reconstruction using ground clay-cement piles (cement grout jetting technology) in loamy soils are introduced.*

**Key words:** *soil, foundation, simulation, reconstruction, sandy clay, piles.*