

УДК 624.131.7:624.130

ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ УКРЕПЛЕНИИ ОСНОВАНИЯ ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА

М. В. Соколов, аспирант

Научный руководитель: С. М. Простов, д.т.н., профессор
Кузбасский Государственный Технический Университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Изучение геомеханического аспекта при укреплении грунтового основания фундаментов является актуальной проблемой современной строительной геотехнологии [1]. Для решения данной проблемы рационально применять численные методы моделирования и методологические подходы, изложенные в работе [2]. На основе приведенного анализа [3] расчетная модель реализована в программном комплексе для геомеханических расчетов «Alterra» компании ООО «ИнжПроектСтрой».

Расчетная модель (рис. 1а) представляет собой однородный грунтовый массив с заданными размерами и свойствами под ленточный железобетонный двухступенчатый фундамент, нагруженный сосредоточенной силой. В качестве примера закрепления массива рассмотрено вертикальное симметричное расположение зон, согласно схеме (рис. 1б).

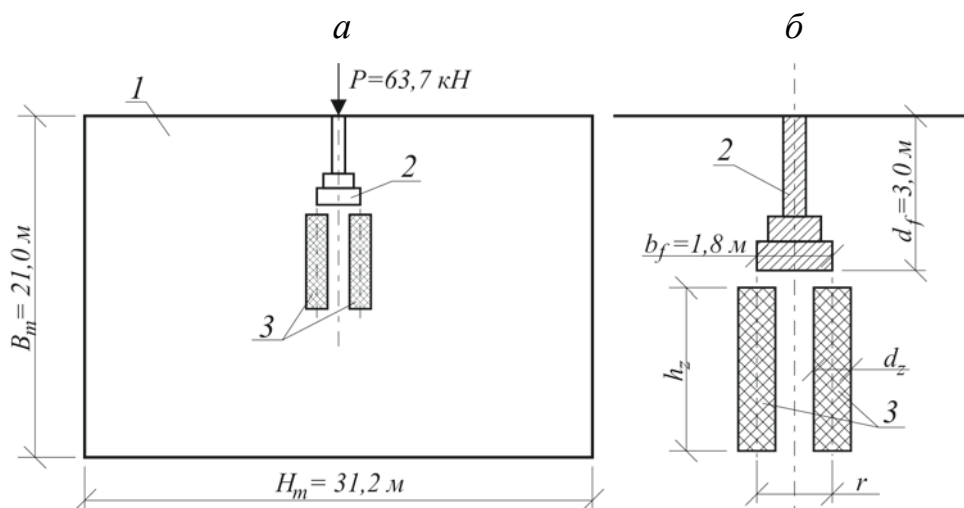


Рис. 1. Схемы исходной модели массива (а) и расположения зон укрепления (б):

1 – однородный массив; 2 – ленточный фундамент; 3 – зоны укрепления

Объектом анализа являются результаты моделирования в виде изолиний напряжений, деформаций и перемещений, включающие в себя следующие диапазоны параметров: высота зоны закрепления $h_z = 1 \dots 5 \text{ м}$; диаметр зоны закрепления $d_z = 0,3 \dots 0,9 \text{ м}$; относительная жесткость $E_z/E = 1 \dots 5$; расстояние между зонами закрепления $r = 1,5d_z \dots (2d_z + b_f)$.

Получены расчетные зависимости вертикальных σ_z и горизонтальных σ_x напряжений от координаты модели z вдоль оси симметрии фундамента, приведенные на рис. 2.

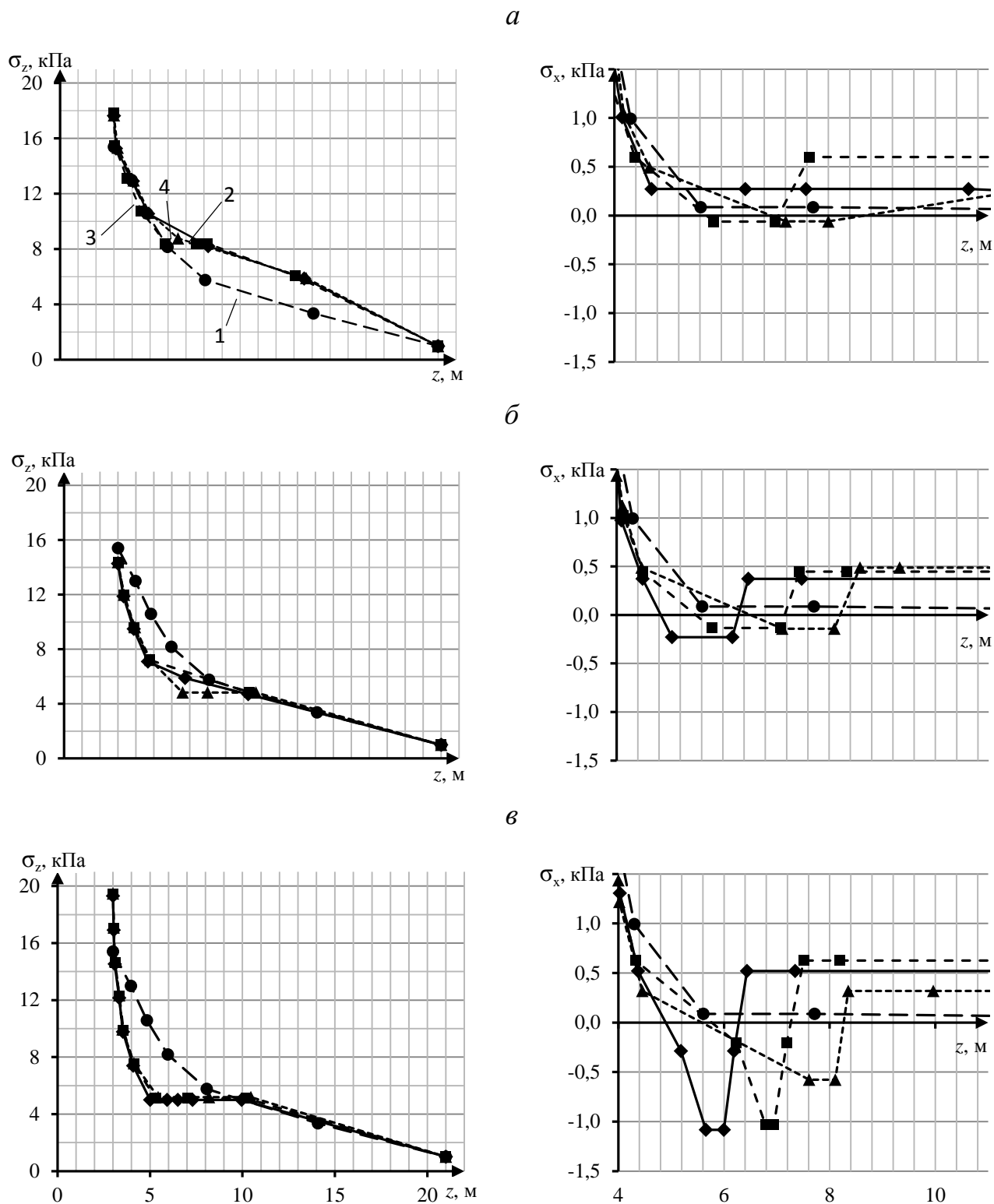


Рис. 2. Зависимость σ_z и σ_x от координаты модели z при различных значениях ширины d_z и высоты h_z зон закрепления, $d_z = 0,3$ м (а), $d_z = 0,6$ м (б), $d_z = 0,9$ м (в):
1 – однородный массив ($h_z = 0$); 2 – $h_z = 3,0$ м; 3 – $h_z = 4,0$ м; 4 – $h_z = 5,0$ м

Результаты моделирования показывают, что имеют место следующие характерные изменения напряженного состояния: образование локальных зон повышения напряжений под опорной площадью зон закрепления; образование зон распределения напряжения, имеющих линейный характер; концентрация горизонтальных и вертикальных (в некоторых случаях) напряжений под подошвой фундамента.

Анализ графиков $\sigma_z(z)$ показывает, что величина σ_z уменьшается пропорционально продольной площади S_z зон закрепления (рис. 2). Имеют место три возможных случая изменения σ_z :

- при расположении зон закрепления, имеющих малые размеры ($d_z = 0,3$ м) и низкие физико-механические параметры, на значительном удалении друг от друга (рис. 2а) происходит возрастание напряжений σ_z , связанное с уменьшением площади распределения σ_z за счет граничных условий в виде зон закрепления;
- при $d_z = 0,6$ м и расстоянии между осями зон закрепления $r > 2d_z$ (рис. 2б) происходит уменьшение величины σ_z , являющееся следствием передачи нагрузки от фундамента на большую глубину (зоны закрепления играют роль «аналога» грунтовых свай) и перемещений зон закрепления в грунтовом массиве относительно оси конструкции, в диапазоне $z = 4,5 \dots 11,0$ м наблюдается изменение характера графика на линейный;
- при расположении зон закрепления, имеющих значительные геометрические параметры ($d_z = 0,9$ м), с максимальным приближением друг к другу (рис. 2в) происходит уменьшение величины σ_z , также связанное с наличием «аналога» грунтовых свай и перемещениями зон, в диапазоне $z = 4,5 \dots 11,0$ м наблюдается стабилизация величины σ_z .

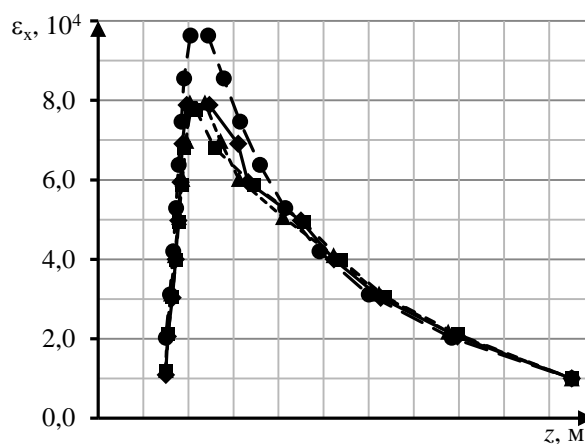
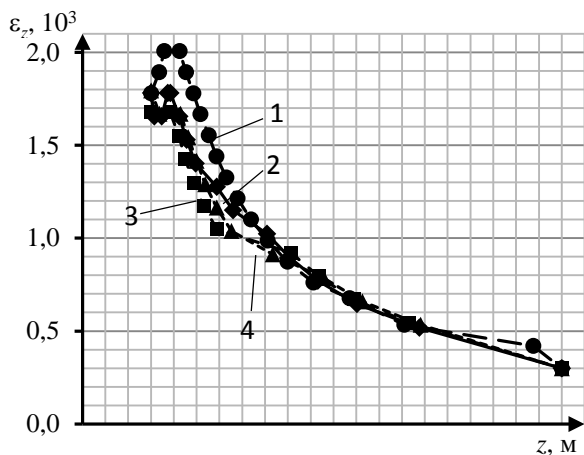
Наличие отрицательных значений σ_x в диапазоне $z = 4,5 \dots 11,0$ м при различных значениях d_z и h_z свидетельствует о наличии деформации зон закрепления в нижней области, являющейся следствием изгиба и перемещения этих зон относительно конструкции фундамента. Величина отрицательного значения σ_x зависит от деформационных свойств зон закрепления, расстояния между ними, и достигает пиковых значений при максимальном приближении зон закрепления друг к другу. В нижней части зон закрепления наблюдается область концентрации отрицательного значения σ_x , размер которой не превышает 1,5 м и не зависит от h_z .

Зависимости вертикальных ε_z и горизонтальных ε_x деформаций от координаты модели z вдоль оси симметрии фундамента, приведены на рис. 3.

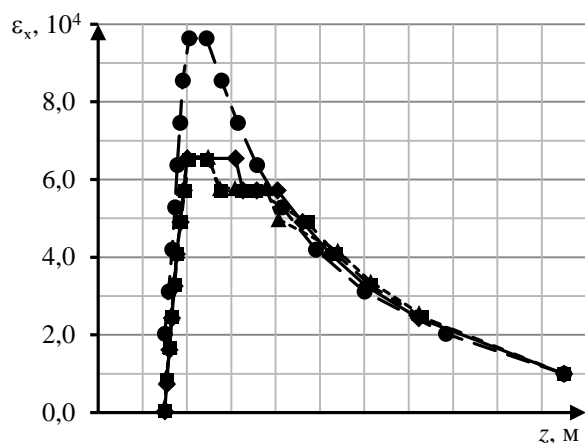
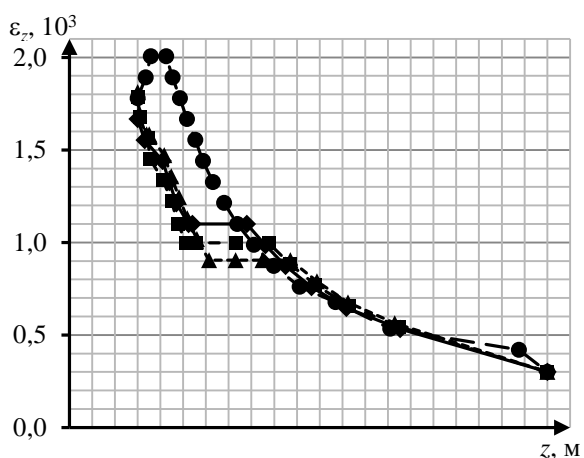
Анализ показал, что наличие элементов повышенной жесткости в грунтовом массиве приводит к перераспределению деформаций по глубине с образованием локальных зон под областью закрепления и концентрации деформаций в области между зонами закрепления.

Характер изменения деформированного состояния зависит от расположения зон и их параметров аналогично изменению вертикальных напряжений σ_z .

a



б



в

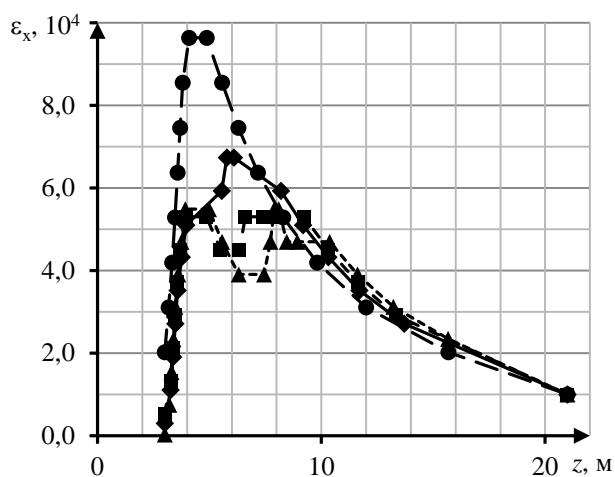
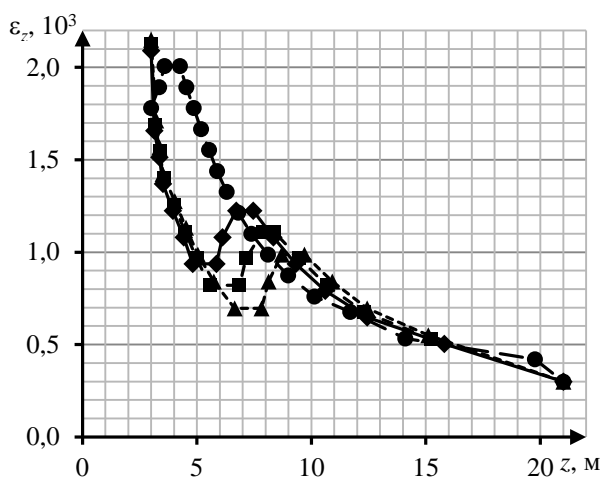


Рис. 3. Зависимость ε_z и ε_x от координаты модели z при различных значениях ширины d_z и высоты h_z зон закрепления, $d_z = 0,3$ м (а), $d_z = 0,6$ м (б), $d_z = 0,9$ м (в):

1 – однородный массив ($h_z = 0$); 2 – $h_z = 3,0$ м; 3 – $h_z = 4,0$ м; 4 – $h_z = 5,0$ м

При случае $d_z = 0,3$ м (рис 3,а) происходит уменьшение величины деформаций, связанное с наличием зон повышенной жесткости, но характер

распределения аналогичен однородному массиву (наличие «пики» деформаций под подошвой). При случаях $d_z = 0,6 - 0,9$ м (рис. 3б и 3в) наблюдается понижение деформаций без образования «пиков», однако при $d_z = 0,9$ м происходит возрастание деформаций на уровне подошвы фундамента как следствие близкого расположения зон укрепления друг к другу. Приведенные графики $\varepsilon_z(z)$ можно разделить на два участка: до области концентрации отрицательных значений σ_x и после нее, при этом величина ε_z будет зависеть от соотношения E_z и E . В границах области концентрации отрицательных значений σ_x наблюдаются зоны перехода, на характер которых (линейный или параболический) влияют следующие факторы: переход от зоны повышенной жесткости к однородному массиву; расстояние между осями зон закрепления; геометрические параметры, прочностные и деформационные свойства зон закрепления.

Характер графиков $\varepsilon_x(z)$ отражает монотонное уменьшение деформаций при закреплении с сохранением области концентрации деформаций под подошвой фундамента (рис. 3). Данные изменения ограничены областью возможных деформаций и наличием дополнительных отрицательных напряжений как следствия изгиба и перемещения зон закрепления в грунтовом массиве. При расположении зон закрепления на минимальном расстоянии между их осями (рис. 3в) зависимости $\varepsilon_x(z)$ имеют характерную область «провала» деформаций при $h_z = 4,0 - 5,0$ м.

Полученные результаты могут быть учтены при устройстве ленточного фундамента в основаниях, имеющих однородное строение и низкие деформационные свойства. В частности, при закреплении основания не рекомендуется располагать зоны закрепления на расстоянии менее $2d_z$ при следующих диапазонах технологических параметров $h_z < 3,0$ м, $d_z < 0,3$ м и $E_z/E < 3$.

Список литературы

1. Курленя, М. В. Техногенные геомеханические поля напряжений / М. В. Курленя, В. М. Серяков, А. А. Еременко. – Новосибирск : Наука, 2005. – 264 с.
2. Покатилов, А.В. Компьютерное моделирование геомеханических процессов при электрохимическом закреплении грунтовых оснований сооружений / А.В. Покатилов, С.М. Простов, С.А. Иванов // Вестник КузГТУ. – 2013. – № 4. – С. 61-63
3. Рыбачук Е.Р., Соколов М.В., Покатилов А.В. Анализ возможностей современных программных комплексов для геомеханических расчетов [Эл. ресурс] // Сборник материалов VI Всерос., 59-й научно-практической конференции с международным участием «Россия молодая». – Кемерово, 2014