

УДК 624.131.7

М. В. Соколов, С. М. Простов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЕГО НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Исследование грунтовых массивов искусственных оснований как среды с заданными физико-механическими свойствами и измененным напряженно-деформированным состоянием позволяет более подробно изучить влияние техногенной деятельности при применении различных методов закрепления. В рамках изучения данной проблемы рационально использовать численные методы моделирования, популярные при решении геомеханических задач как подземной, так и открытой геотехнологии [1, 2].

Компьютерным моделирования исследовано напряженно-деформированное состояние однородного массива с вертикальным симметричным расположением зон закрепления с различной про-

дольной площадью S и расстоянием между их осями r (рис. 1). Данная расчётная схема реализована методом конечных элементов с использованием программного комплекса «Alterra».

Для интегральной оценки деформационных свойств массива в качестве количественного критерия принята величина вертикального смещения (осадки) фундамента, так как данный критерий является основным при расчете фундаментов согласно СП 23.1330.2011 «Основания зданий и сооружений» и приводится как эталонный в рекомендациях по применению методов закрепления.

Основные результаты обработки величин вертикального смещения Δ_z по данным компьютерного моделирования приведены на рис. 3, 4.

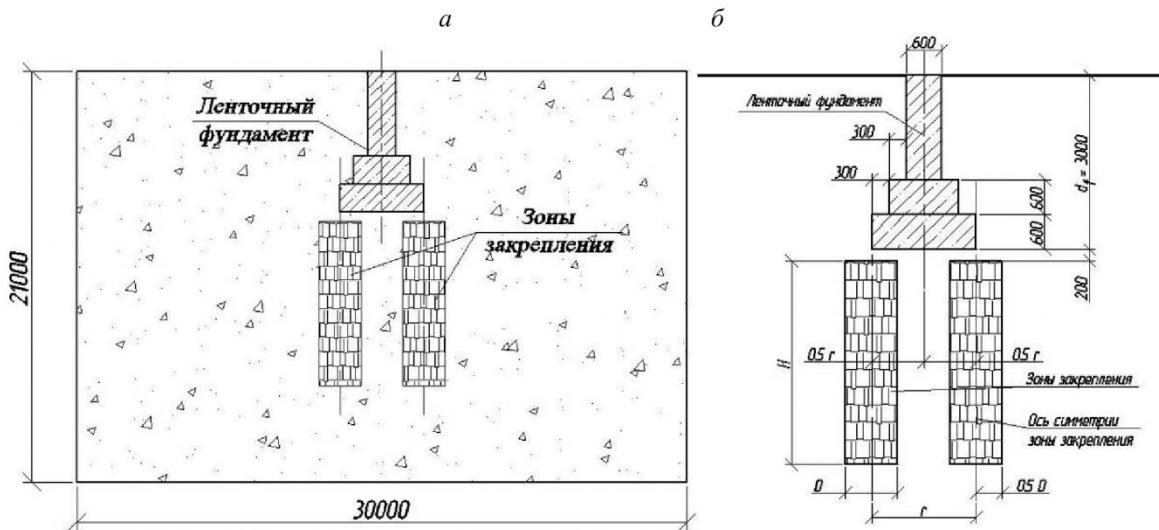


Рис. 1. Схемы модели массива (а) и расположения зон укрепления (б)

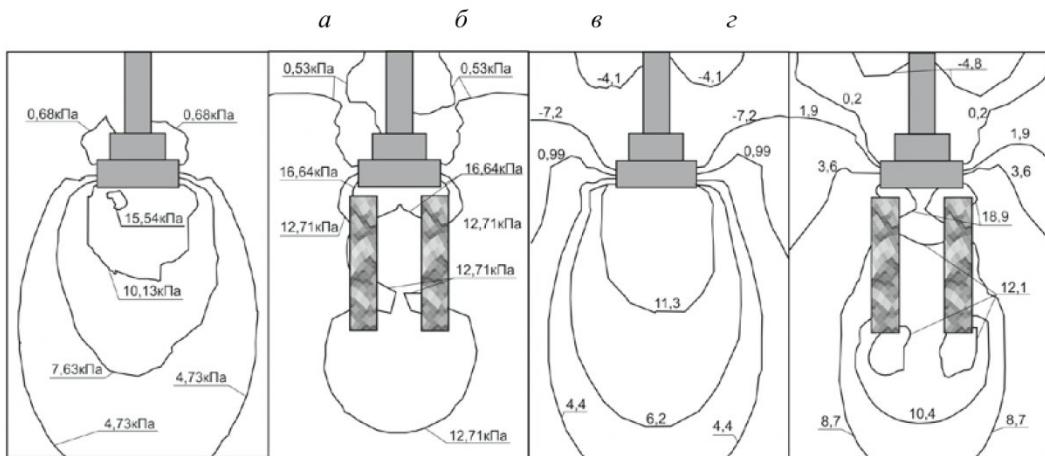


Рис. 2. Результаты расчета в виде изолиний напряжений (а, б) и деформаций (в, г) при естественном и искусственном основаниях

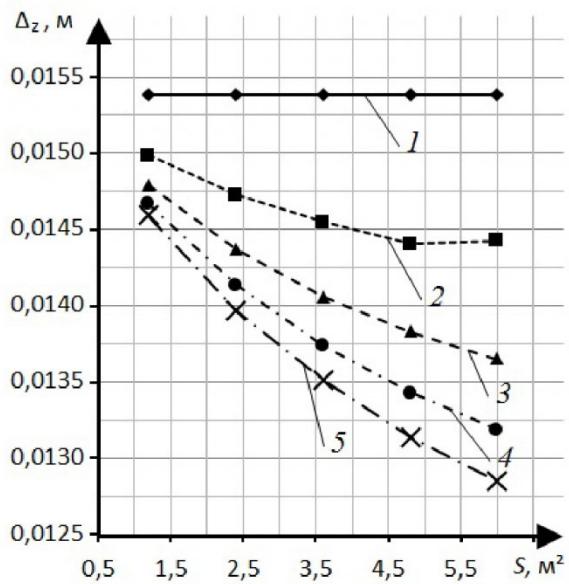


Рис. 3. Зависимость вертикальных смещений Δz от площади зон закрепления S при соотношении модулей упругости укрепленной и неукрепленных зон E_y / E :

- 1 – однородный, $E_y / E = 1$;
- 2 – $E_y / E = 2$; 3 – $E_y / E = 3$;
- 4 – $E_y / E = 4$; 5 – $E_y / E = 5$

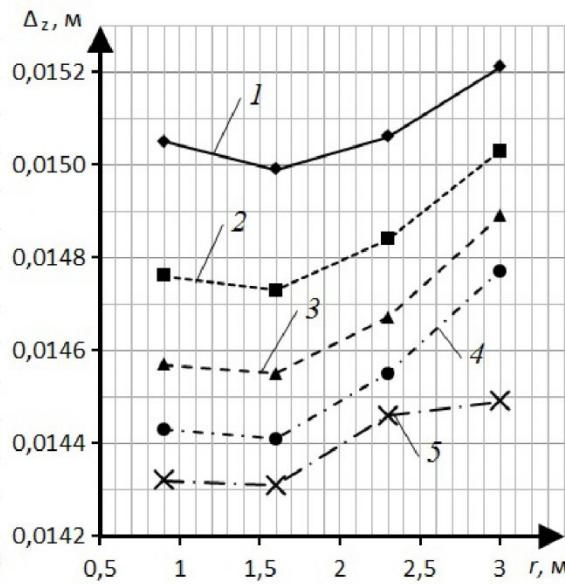


Рис. 4. Зависимость вертикальных смещений Δz от расстояния между зонами закрепления r при площади зон закрепления S :

- 1 – 1,2 м²; 2 – 2,4 м²; 3 – 3,6 м²;
- 4 – 4,8 м²; 5 – 6,0 м²

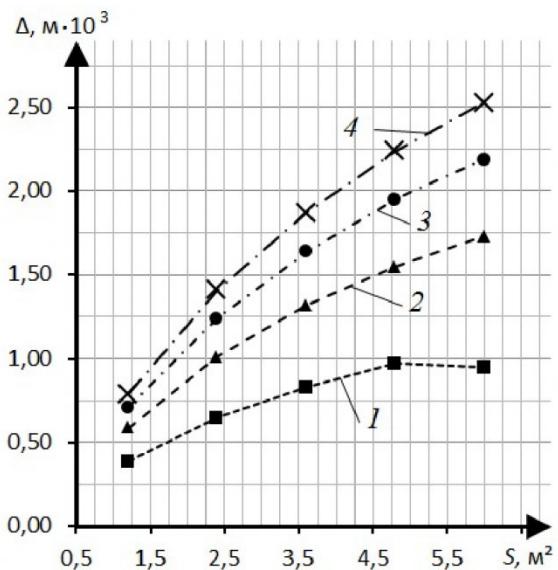


Рис. 5. Зависимость Δ от площади зон закрепления S при величине соотношения E_y / E :

- 1 – $E_y / E = 2$; 2 – 3; 3 – 4; 4 – 5

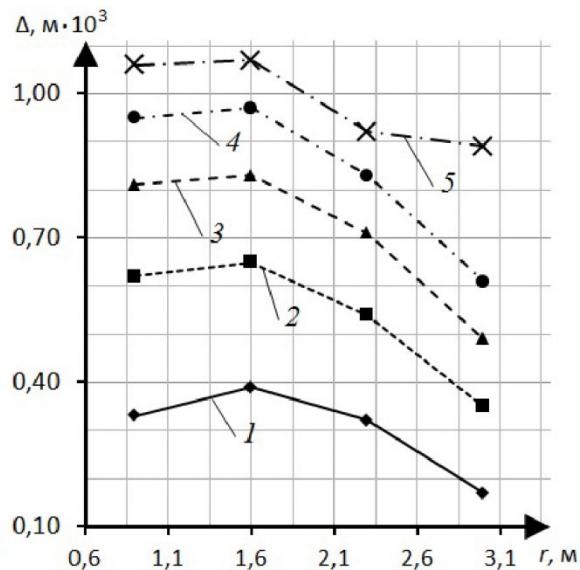


Рис. 6. Зависимость Δ от расстояния между зонами закрепления r при площади зон закрепления S : 1 – 1,2 м²; 2 – 2,4 м²; 3 – 3,6 м²;

- 4 – 4,8 м²; 5 – 6,0 м²

Для дальнейшего анализа использована величина отрицательного приращения Δ , характеризующего изменение деформаций грунтового основания под действием управляющего воздействия:

$$\Delta = \Delta_z - \Delta_{zy},$$

где Δ_z – вертикальное смещение при отсутствии зон закрепления, Δ_{zy} – вертикальное смещение при закреплении грунтов основания.

Графики зависимостей абсолютных и относи-

тельных значений Δ приведены на рис. 5, 6.

Из полученных зависимостей следует, что уменьшение деформаций основания происходит нелинейно с возрастанием S . В частности, наибольший эффект наблюдается при наибольшей относительной жесткости зоны укрепления $E_y / E = 5$. Для $E_y / E = 2$ наблюдается стабилизация перемещений при $S = 5,1$ м², таким образом, увеличение площади зоны закрепления $S > 5,1$ м² в

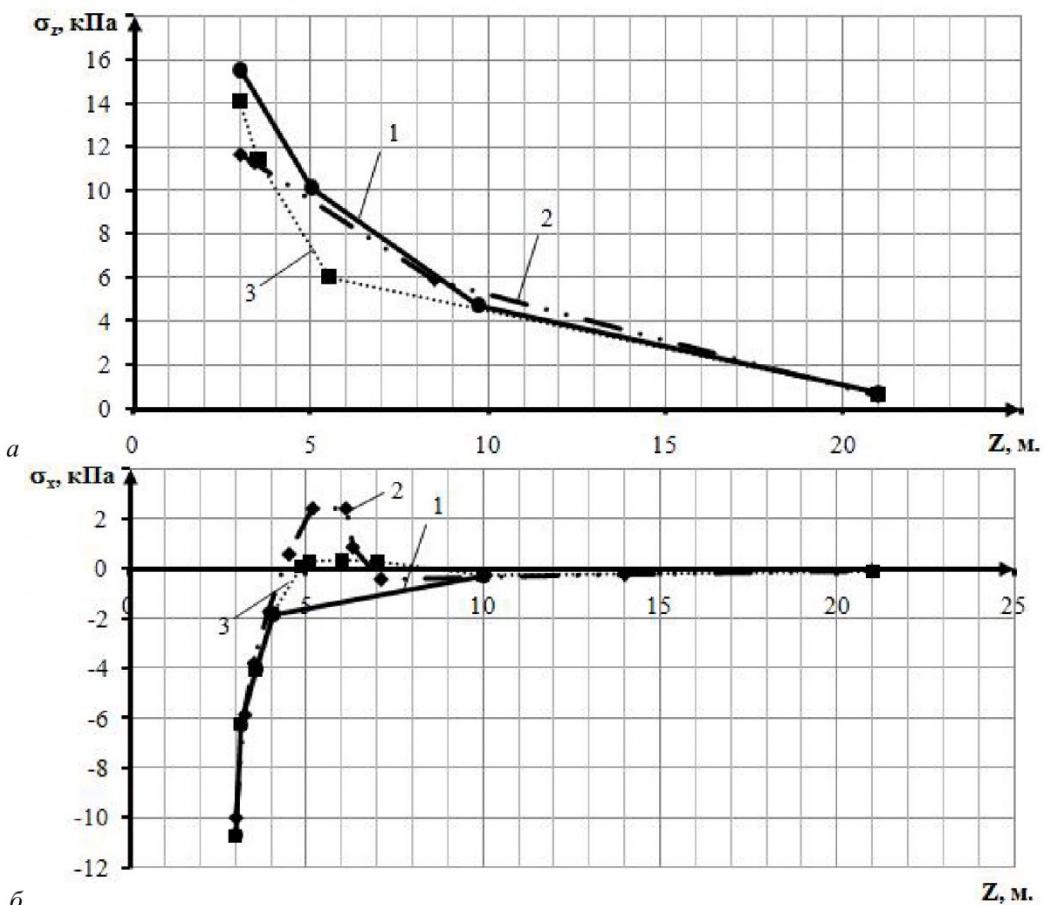


Рис. 7. Зависимость вертикальных σ_z (а) и горизонтальных σ_x (б) напряжений от координаты Z при виде основания: 1 – естественном; 2 – искусственном ($S = 3,6 \text{ м}^2, E_y/E = 3$); 3 – искусственном ($S = 6,0 \text{ м}^2, E_y/E = 3$)

данном случае экономически не целесообразно.

На зависимостях $\Delta(r)$ наблюдаются области экстремальных значений Δ в районе $r = 1,6 \text{ м}$, поэтому зоны укрепления рационально располагать на расстояния в диапазоне $r = 1,2\text{--}2,0 \text{ м} = (2,0 - 3,4)D$ (D – диаметр зон укрепления).

Второй этап моделирования направлен на изучение количественных критериев изменения напряженно-деформированного состояния закрепляемых грунтовых оснований, прилегающих к зоне закрепления. Аналогичный подход использован, например, в работе [3] для определения геометрии зоны предельно-напряженного состояния неоднородного массива вокруг подземной выработки.

Распределение нормальных вертикальных σ_z и горизонтальных σ_x напряжений от координаты z модели вдоль оси симметрии фундамента приведены на рис. 7.

Результаты моделирования показывают, что при применении методов закрепления грунтовых оснований имеют место следующие характерные изменения напряженно-деформированного состояния: уменьшается концентрация напряжений под подошвой фундамента; образуются локальные зоны пониженных напряжений под зонами за-

крепления; перераспределяются вертикальные деформации под подошвой фундамента на большем интервале глубины массива.

Анализ измененного напряженного состояния закрепляемых грунтовых оснований показывает, что величина σ_z уменьшается пропорционально площади S и относительной жесткости E_y/E зон закрепления (рис. 7, а) с образованием зоны концентрации горизонтальных сжимающих напряжений σ_x (рис. 7, б). Данные изменения являются следствием перемещений зон закрепления в грунтовом массиве относительно оси конструкции.

Вместе с тем, при достижении высоты зоны закрепления 5 м и ее площади $S > 6,0 \text{ м}^2$ горизонтальные напряжения σ_x распределяются более равномерно без образования четко выраженного экстремума.

Распределения вертикальных ε_z и горизонтальных ε_x деформаций от координаты z приведены на рис. 8.

Анализ деформированного состояния массива показал, что появление зон закрепления с повышенной жесткостью влияет на величину вертикальных деформаций ε_z и характер их распределения.

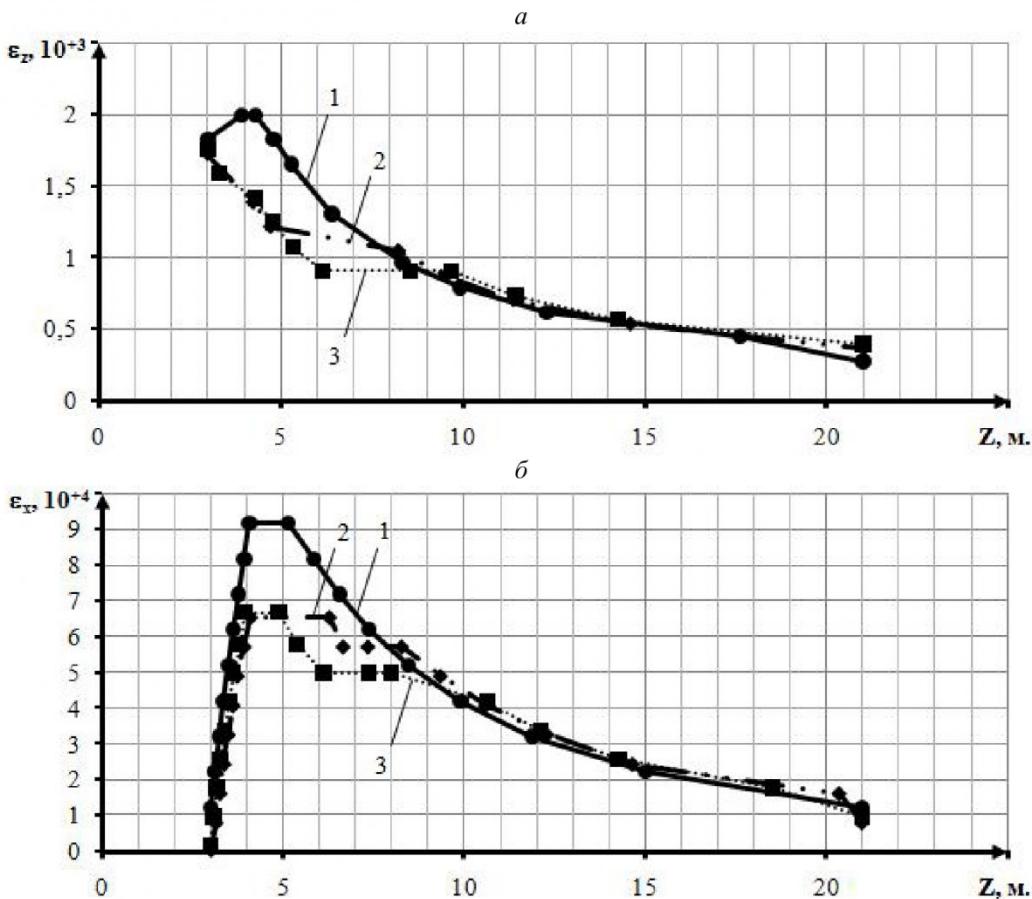


Рис. 8. Зависимость вертикальных ε_z (а) и горизонтальных ε_x (б) деформаций от координаты z приведены при виде основания: 1 – естественном; 2 – искусственном ($S = 3,6 \text{ м}^2, E_y / E = 3$); 3 – искусственном ($S = 6,0 \text{ м}^2, E_y / E = 3$)

ния: сглаживаются пиковые деформации под подошвой фундамента по глубине модели с образованием локальных зон под областью закрепления; образовываются площадки стабилизации деформаций в области закрепленной части массива; изменение деформаций ε_z по глубине модели при наличии зон закрепления имеет монотонный характер.

Анализ зависимостей $\varepsilon_x(z)$ показывает наличие зоны постоянных деформаций, обусловленных сжимающими напряжениями на данном участке.

Повышенная жесткость зон закрепления является причиной уменьшения среднего уровня деформаций под подошвой фундамента, а также вдоль оси зон закрепления.

Установленные закономерности изменений напряженно-деформированного состояния закрепляемых грунтовых оснований сооружений целесообразно использовать для разработки практических рекомендаций при проектировании горно-строительных работ и ликвидации аварийных состояний.

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. Ермакова, И. А. Численное моделирование геомеханического состояния отвала на водонасыщенном основании / И. А. Ермакова, С. П. Бахаева, А. В. Дягилева // Вестник КузГТУ, 2014. – № 4.. С. 11–12.
3. Черданцев, Н. В. Определение размера предельно-напряженной зоны углепородного массива в борту пластовой выработки / Н. В. Черданцев, С. В. Черданцев // Вестник КузГТУ, 2014. – № 4. С. 3–10.

Авторы статьи

Соколов Михаил Валерьевич

аспирант каф. теоретической и геотехнической механики КузГТУ, e-mail: ea-sokolov42@mail.ru

Простов Сергей Михайлович

докт. техн. наук, профессор каф. теоретической и геотехнической механики КузГТУ. e-mail: psm.kem@mail.ru

Поступило в редакцию 28.12.2014