

УДК 624.130.7:624.048

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗОН УПРОЧНЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЙ ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ НАГРУЗКЕ

М.В. Соколов, аспирант, М.В. Варлакова, ст. гр. ФПс-111
Научный руководитель: С.М. Простов, д.т.н., профессор
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

При проектировании искусственных грунтовых оснований горнотехнических сооружений необходимо учитывать, что значительная часть конструкций горнодобывающей отрасли подвержены воздействию как вертикальных, так и горизонтальных нагрузок, возникающих от натяжения троса подъемной машины, движения породы по конвейерной ленте или бокового давления ветра [1]. Как следствие разной степени загрузки по площади основания зоны упрочнения должны иметь определенное расположение в массиве и обладать достаточными механическими свойствами. Определение данных параметров должно основываться на их геомеханическом состоянии с учетом строения грунтового массива [2]. Анализ напряженно-деформированного состояния зон упрочнения целесообразно производить, основываясь на интегральных показателях с применением современных программ для геотехнических расчетов [3].

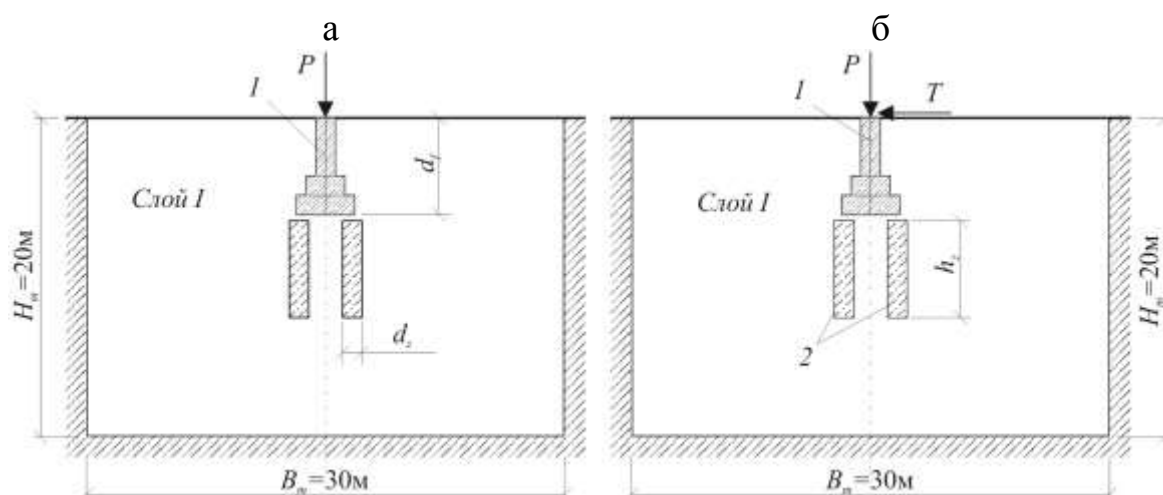


Рис. 1. Расчетная модель при симметричном (а) и асимметричном (б) нагружении: 1 – ленточный фундамент; 2 – зоны упрочнения

Исследования геомеханического состояния основаны на численном моделировании искусственных грунтовых оснований с применением программного комплекса «Alterra». Базовая расчетная модель (рис. 1) представляет собой однородное грунтовое основание ленточного фундамента с заданными физико-механическими свойствами: модуль деформации $E = 5$ МПа; коэффи-

коэффициент Пуассона $\nu = 0,36$; угол внутреннего трения $\varphi = 18^\circ$; сцепление $C = 5$ кПа, плотность $\rho = 1750$ кг/м³. В массиве симметрично располагаются зоны упрочнения со следующими диапазонами технологических параметров: диаметр $d_z = 0,3 \dots 0,9$ м., высота $h_z = 3 \dots 4$ м. В рамках работы были рассмотрены две формы нагружения ленточного фундамента: вертикальной силой $P = 63,7$ кН (рис. 1а) и одновременно вертикальной P и горизонтальной T силами (рис. 1б). Значения горизонтальной нагрузки принимались в диапазоне $T = 0,1 \dots 0,5P$.

Основные результаты в виде базы изолиний напряжений и деформаций при вертикальном симметричном нагружении представлены на рис. 2, 3.

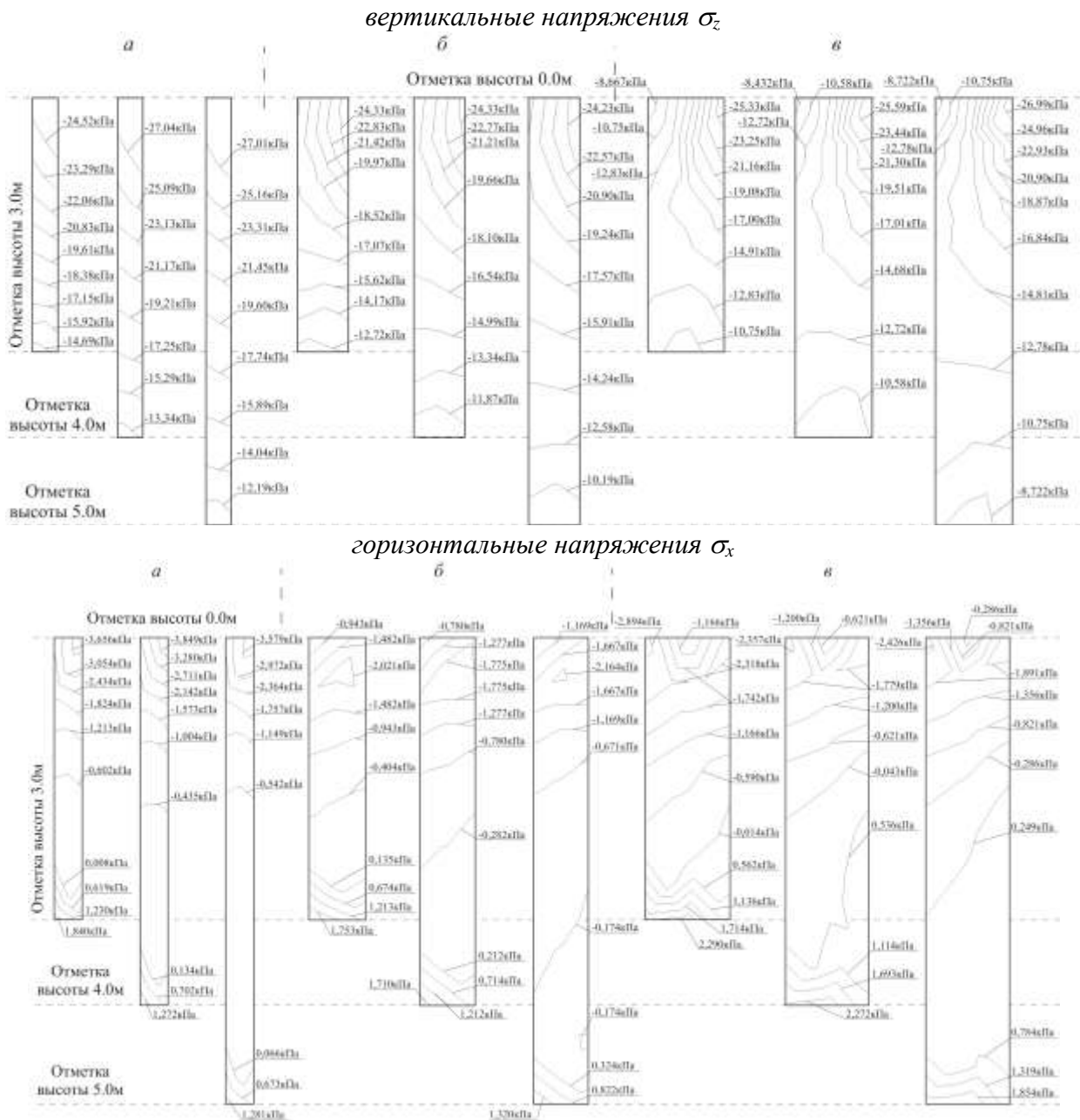


Рис. 2. Распределение вертикальных σ_z и горизонтальных σ_x напряжений в зонах упрочнения при $T = 0$ и величине d_z , равном $d_z = 0,3$ м (а), $d_z = 0,6$ м (б) и $d_z = 0,9$ м (в)

Анализ напряженного состояния зон упрочнения показал, что вертикальные напряжения σ_z монотонно уменьшаются с увеличением h_z , а при $d_z = 0,9$ м уменьшение напряжения происходит в двух направлениях с образованием в углу зоны упрочнения максимальных сжимающих напряжений (рис. 2в). Распределение горизонтальных напряжений σ_x характеризуется образованием зон максимальных сжимающих и растягивающих напряжений в верхней и нижней областях зон упрочнения соответственно. В результате было отмечено, что зоны упрочнения подвержены сложному изгибному состоянию в двух направлениях и наличием локальных зон концентраций напряжений.

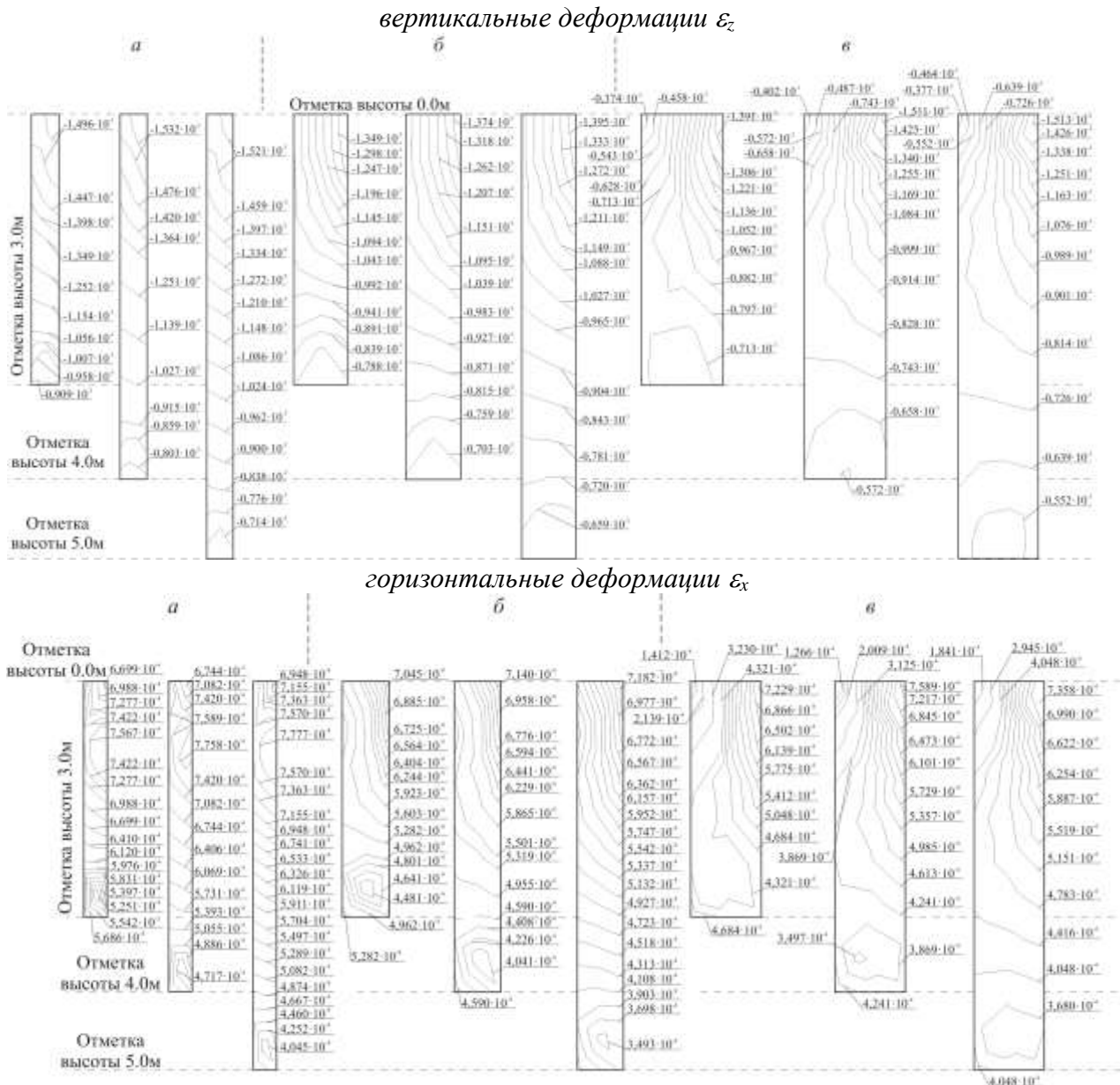


Рис. 3. Распределение вертикальных ε_z и горизонтальных ε_x деформаций в зонах упрочнения при $T = 0$ и величине d_z , равном $d_z = 0,3$ м (а), $d_z = 0,6$ м (б) и $d_z = 0,9$ м (в)

Характер распределения вертикальных деформаций ε_z соответствует вертикальным напряжениям σ_z . При $d_z = 0,3$ м отмечено смещение пика де-

формаций на величину $\Delta h_z = 0,75$ м. Относительно высокие значения ε_z в верхней области зоны упрочнения при $d_z = 0,9$ м (рис. 3в) свидетельствуют о возможном срезе части зоны. В результате анализа горизонтальных деформаций было отмечено, что в нижней части зоны упрочнения образуется область повышенных деформаций, аналогично рекации жесткой заделки нижнего конца зоны в массиве грунта. Деформации ε_x при $d_z = 0,3$ м имеют область максимальных в диапазоне $h_z = 0,8 \dots 1,2$ м., что свидетельствует об изгибе верхней части зоны вдоль ее продольной оси. При $d_z = 0,9$ м отмечается значительное продольное сжатие в верхней части зоны закрепления.

Для количественного анализа напряженно-деформированного состояния зон упрочнения при асимметричной нагрузке введем интегральные показатели напряженного I_i и деформированного G_i состояния зон, определенные по формуле:

$$I_i = \frac{\sum \sigma_i \cdot S_i}{\sum S_i}, \quad G_i = \frac{\sum \varepsilon_i \cdot S_i}{\sum S_i},$$

где σ_i – значение напряжений принятой изолинии; ε_i – значение деформаций принятой изолинии; S_i – площадь зоны, ограниченной данной изолинией.

Зависимости относительных значений интегральных показателей вертикальных, горизонтальных напряжений I_i/I_r и деформаций G_i/G_r от отношения нагрузок T/P приведены на рис. 4.

В результате анализа отмечается близкая к линейной зависимость относительных значений интегральных показателей вертикальных I_{zI}/I_{zr} и горизонтальных I_{xI}/I_{xr} напряжений от отношения нагрузок T/P . При критическом отношении нагрузок $T/P = 0,5$ отмечено резкое возрастание отношения интегральных показателей горизонтальных деформаций G_{xI}/G_{xr} , что является следствием превышения предела прочности наиболее загруженной зоны упрочнения.

Таким образом, моделирование напряженно-деформированного состояния зон упрочнения в условиях однородного массива при симметричной и несимметричной нагрузках позволило выявить следующие закономерности:

- дополнительная горизонтальная нагрузка существенно изменяет напряженно-деформированное состояние массива в районе зоны упрочнения, вызывает формирование дополнительных зон концентраций напряжений и повышенных деформаций;

- при отношении горизонтальных и вертикальных нагрузок $T/P \leq 0,4$ зависимости интегральных показателей I и G от T/P могут быть приняты линейными.

Полученные результаты качественно и количественно характеризуют геомеханическое состояние массива и зон упрочнения и могут быть использованы в качестве рекомендаций при проектировании искусственных оснований с несимметричным видом нагружения.

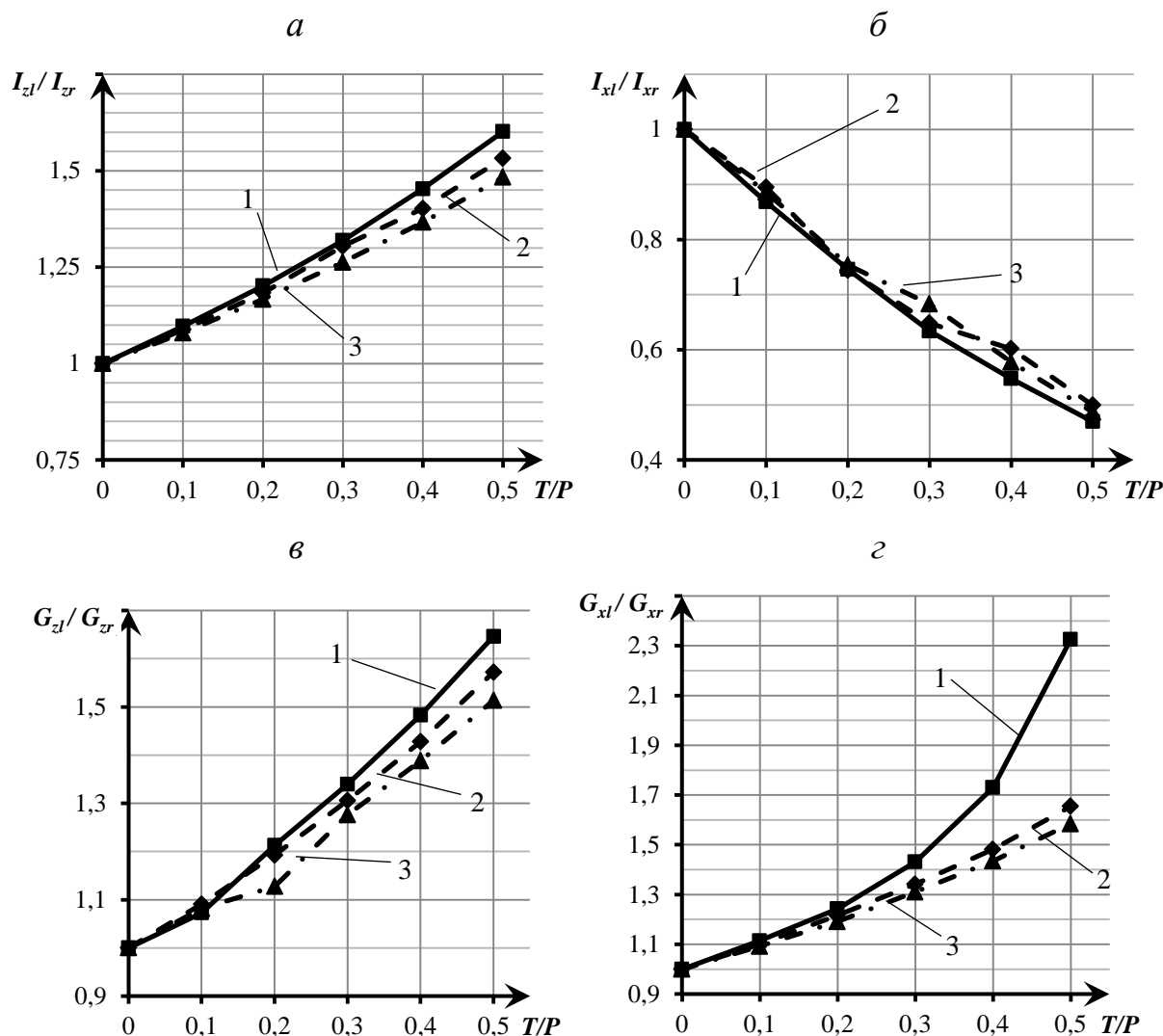


Рис. 4. Зависимости отношения интегральных показателей вертикального I_{zl}/I_{zr} (а), горизонтального I_{xl}/I_{xr} (б) напряженного состояния и вертикального G_{zl}/G_{zr} (в), горизонтального G_{xl}/G_{xr} (г) деформированного состояния зон закрепления от отношения нагрузок T/P при площади зоны закрепления S_r , равной:
 1 – $S_r = 1.8$ м; 2 – $S_r = 2.4$ м; 3 – $S_r = 3.6$ м

Список литературы

1. Горбунов-Посадов М. И., Маликова Т. А., Соломин В. И. Расчет конструкций на упругом основании. – М.: Стройиздат, 1984. - 679 с.
2. Безволев, С. Г. Общая методика расчета напряженно-деформированного состояния массива грунта с упрочняющими или ослабляющими элементами // Основания, фундаменты и механика грунтов.– 2008.– №3. – С.16-24.
3. Простов, С.М. Анализ напряженно-деформированного состояния укрепляемых грунтовых оснований на основе интегральных критериев / С.М. Простов, М.В. Соколов // Вестник КузГТУ.– 2015.– №6.– С.52-61.