

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерне кріплення гірничих виробок вугільних шахт / Ін-т геотехнічної механіки НАН України.-Дніпропетровськ, 2002. - с. 372.
2. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. К.: Наук. думка, 1989. - с. 192.
3. КД 12.01.01.501-98 Система забезпечення надійного та безпечного функціонування гірничих виробок із анкерним кріпленням. Загальні технічні вимоги: - Минуглепром України, 1998.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1973. - с. 847.
5. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. - М.: Наука, 1972. - с. 720.

УДК 624.131.383.042/.044

Д-р техн. наук, проф. В.Д. Петренко,
инж. Т.А. Селихова,
канд. техн. наук, доц. А.Л. Тютюкин
(ДИИТ)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ СЛАБОГО СЛОЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ОСНОВАНИЯ

У статті наведені результати дослідження впливу товщини слабого шару ґрунту на напружено-деформований стан основи із застосуванням методу скінченних елементів. Проаналізовано закономірності розподілу напружень та переміщень моделі в залежності від варіації товщини слабого шару.

RESULTS OF WEAK LAYER THICKNESS INFLUENCING RESEARCH ON THE TENSELY-DEFORMED STATE OF FOUNDATION

In the article the results of research of weak thickness of soil layer on the tense-deformed state of foundation by the finite elements method are resulted. Conformities to the law of distributing of tensions and moving of model depending on variation of weak layer thickness are analyses.

Использование модели основания в виде однородного изотропного тела исключает некоторые свойства, которые ему присущи, а именно – неоднородность и анизотропию. Свойство анизотропии достаточно сложно отобразить в математической модели основания, причем некоторые авторы доказывают незначительные изменения, которые соответствуют учету этого свойства [1-3]. В то же время неоднородность грунтового основания существенно влияет на распределение НДС при его совместной работе с сооружением, что доказано многими исследователями [4,5]. Прогноз и определение НДС основания при напластовании также усложняется в случае сложного или несогласного залегания слоев, а также в случае линз. Также следует отметить, что особую сложность при исследовании таких оснований составляет отсутствие достаточно простых аналитических моделей, так как учет разных слоев в одной области (основании) аналитическими методами затруднен. Поэтому особую роль в исследовании такого рода оснований играют численные методы, в частности, метод конечных элементов. Большую проблему исследования слоистых оснований можно видеть в недостаточности информации предварительных исследований. В имеющихся исследованиях рассматриваются довольно специфические случаи слоистости [6, 7] или они просто немногочис-

ленны. Для решения данной проблемы чаще всего используются аналитические методы, при этом вводится множество допущений, которые уменьшают адекватность применяемой модели, и лишь в некоторых работах приведены новые положения расчетов слоистых оснований [4, 5, 7], которыми являются: применение МКЭ; решение смешанной задачи теории упругости и пластичности; применение ассоциированного закона теории пластического течения; варьирование положения пластов в основании и так далее. Этим работам также присущи и значительные недостатки, такие как: применение довольно грубых сеток при дискретизации расчетной области [6]; исследование случаев залегания пластов, которые представляют лишь научный интерес, но малоинтересны в практическом смысле [5-8].

При выяснении закономерностей влияния единичного слоя на изменение НДС системы «сооружение–основание» для более полного анализа этого случая проведем численный анализ некоторых случаев, которые рассматривались выше, но в исследовании применим вариацию толщины единичного слоя.

Принимаются следующие характеристики пространственной модели основания из объемных элементов (далее – матрица): размеры расчетной области основания $10 \times 10 \times 10$ м, грунт – глина плотная твердая, удельный вес грунта – 20 кН/м^3 , коэффициент Пуассона $\mu=0,35$, модуль упругости $E=59 \text{ МПа}$. Размеры КЭ – $0,5 \times 0,5 \times 0,5$ м, их общее количество – 8000 штук.

Для более характерной картины в качестве слоя используем слабый грунт – супесь плотная, удельный вес грунта – 18 кН/м^3 , коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$, модуль упругости $E = 22,1 \text{ МПа}$. Вариация толщины слабого слоя даст возможность более полно определить изменение напряжений и деформаций, причем в действительности толщина слоя чаще всего изменяется, достигая десятков метров. В этом случае, как было доказано выше, массив может рассматриваться как однородный, но некоторые случаи, например, случай прослойка или слоя погребенной почвы, имеет место в практике строительства транспортных сооружений. В таких случаях толщина слоя чаще всего не достигает десяти метров, колеблясь в границах 2-5 метров.

Для исследования проведем численный анализ четырех вариаций, причем нумерация их сохраняется как и в предыдущих исследованиях: 1-ая, 2-ая, 4-ая, 6-ая вариации. Вариацию толщины слоя примем – 1, 2, 3 метра.

1 вариация – слой расположен на глубине 0 метров. Кровля слоя – отметка 0 м, подошва слоя – отметка 1 м; отметка 2 м; отметка 3 м.

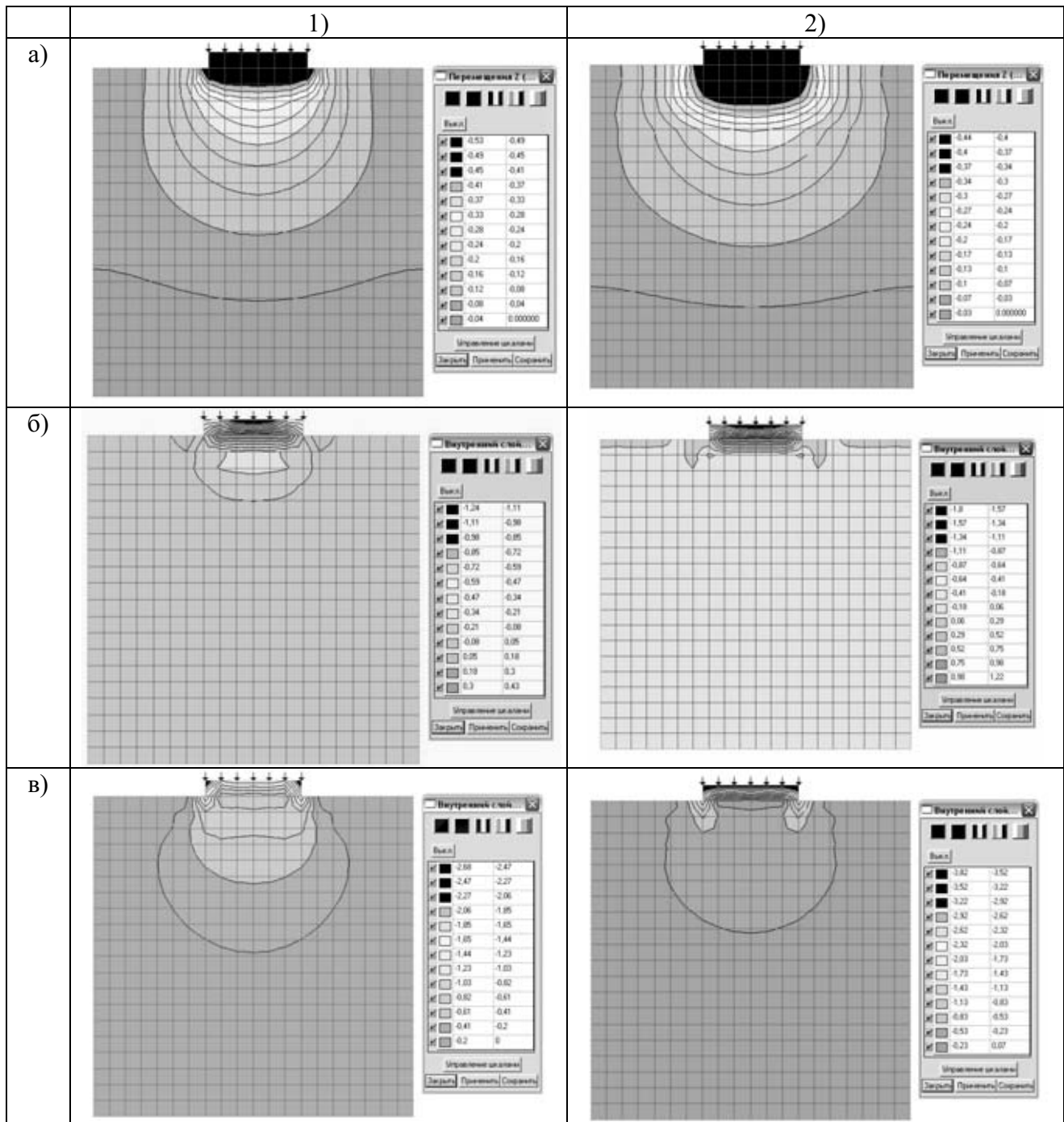
2 вариация – слой расположен на глубине 1 метра. Кровля слоя – отметка 1 м, подошва слоя – отметка 2 м; отметка 3 м; отметка 4 м.

4 вариация – слой расположен на глубине 2 метров. Кровля слоя – отметка 2 м, подошва слоя – отметка 3 м; отметка 4 м; отметка 5 м.

6 вариация – слой расположен на глубине 3,5 метров. Кровля слоя – отметка 3,5 м, подошва слоя – отметка 4,5 м; отметка 5,5 м; отметка 6,5 м.

На рис. 1-6 представлены результаты расчета четырех вариаций без учета собственного веса (перемещения по вертикальной оси и главные вертикальные и горизонтальные напряжения). Анализ представленных результатов дает возможность сделать вывод, что исследуемые случаи характерно проявляют тенденции изменения НДС основания, в матрицу которого введен слабый слой. Можно вы-

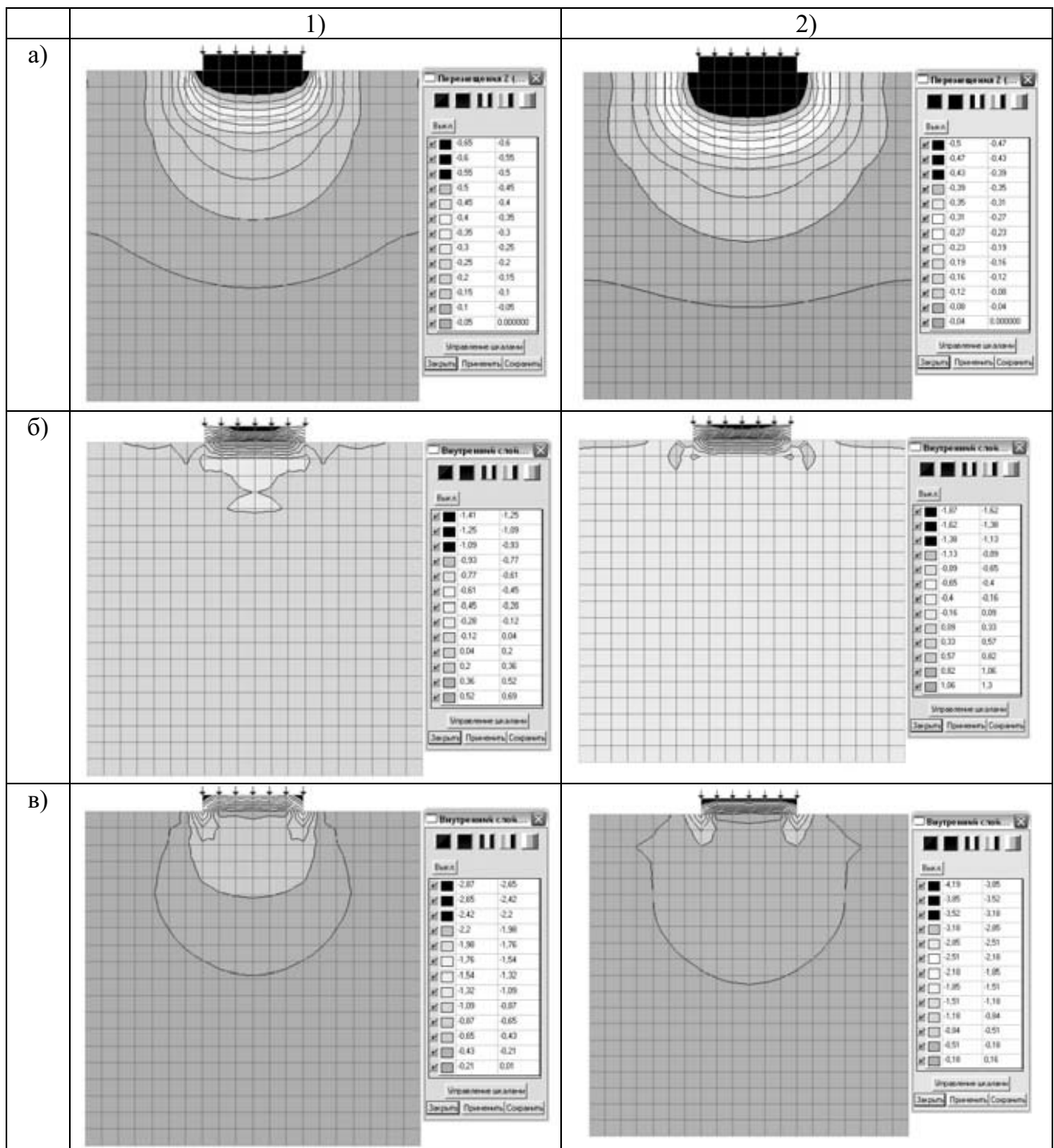
делит закономерность которая говорит о том, что на изменение НДС системы «сооружение–основание» влияет расположение слоя лишь в пределах границы активной зоны напряжений и перемещений, что и доказывают полученные результаты. Также результаты анализа свидетельствуют о верности выдвинутого предположения об определении нахождения слоя по изломам изолиний в пределах слабого слоя, что будет показано ниже.



1) 1-ая вариация; 2) 2-ая вариация

а) перемещение по вертикальной оси; б) напряжение σ_1 ; в) напряжение σ_3

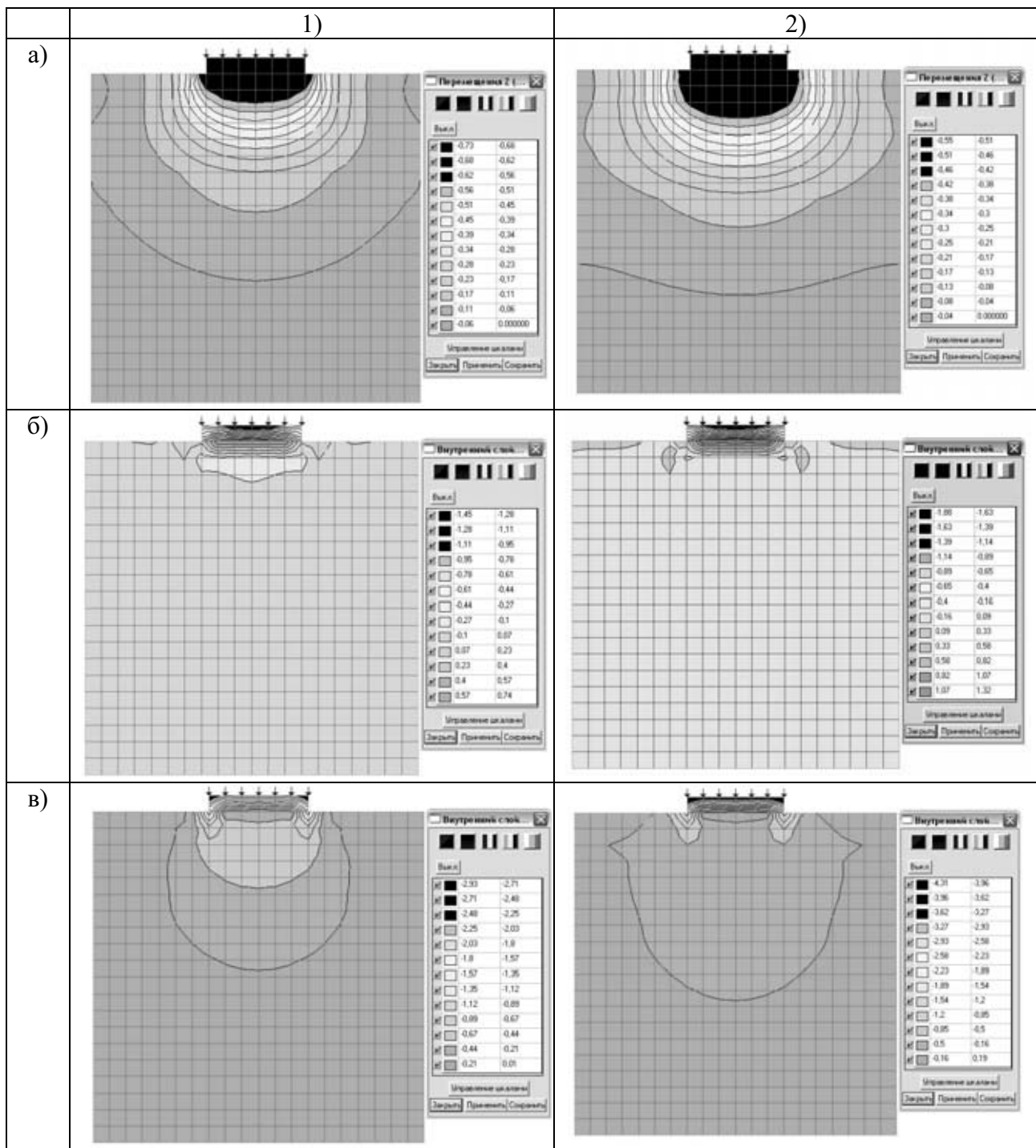
Рис. 1 – Изолинии и изополя перемещений по вертикальной оси и главных напряжений σ_1 и σ_3 в случае слабого слоя (толщина слоя – 1 метр)



1) 1-ая вариация; 2) 2-ая вариация

а) перемещение по вертикальной оси; б) напряжение σ_1 ; в) напряжение σ_3

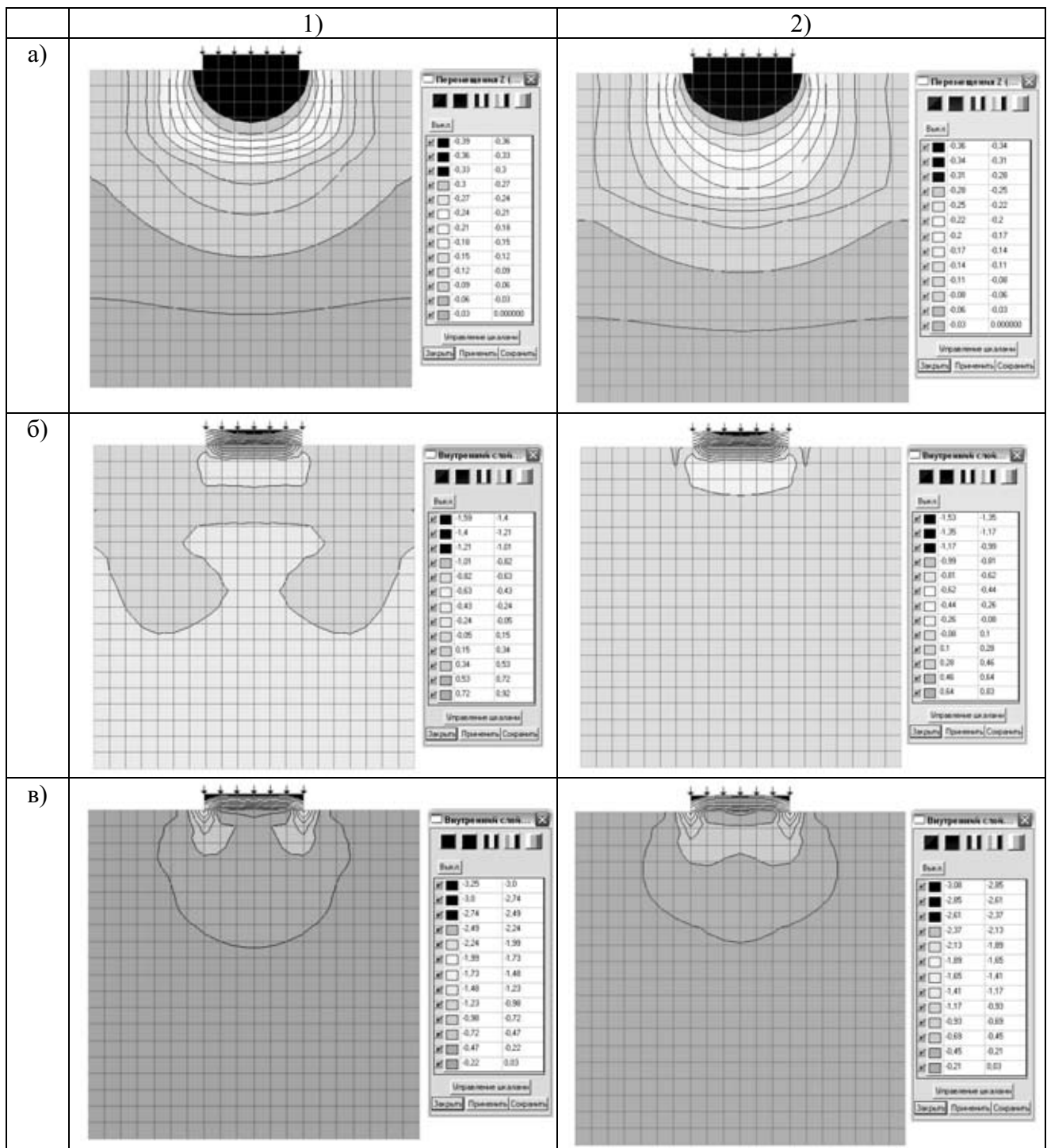
Рис. 2 – Изолинии и изополя перемещений по вертикальной оси и главных напряжений σ_1 и σ_3 в случае слабого слоя (толщина слоя – 2 метра)



1) 1-ая вариация; 2) 2-ая вариация

а) перемещение по вертикальной оси; б) напряжение σ_1 ; в) напряжение σ_3

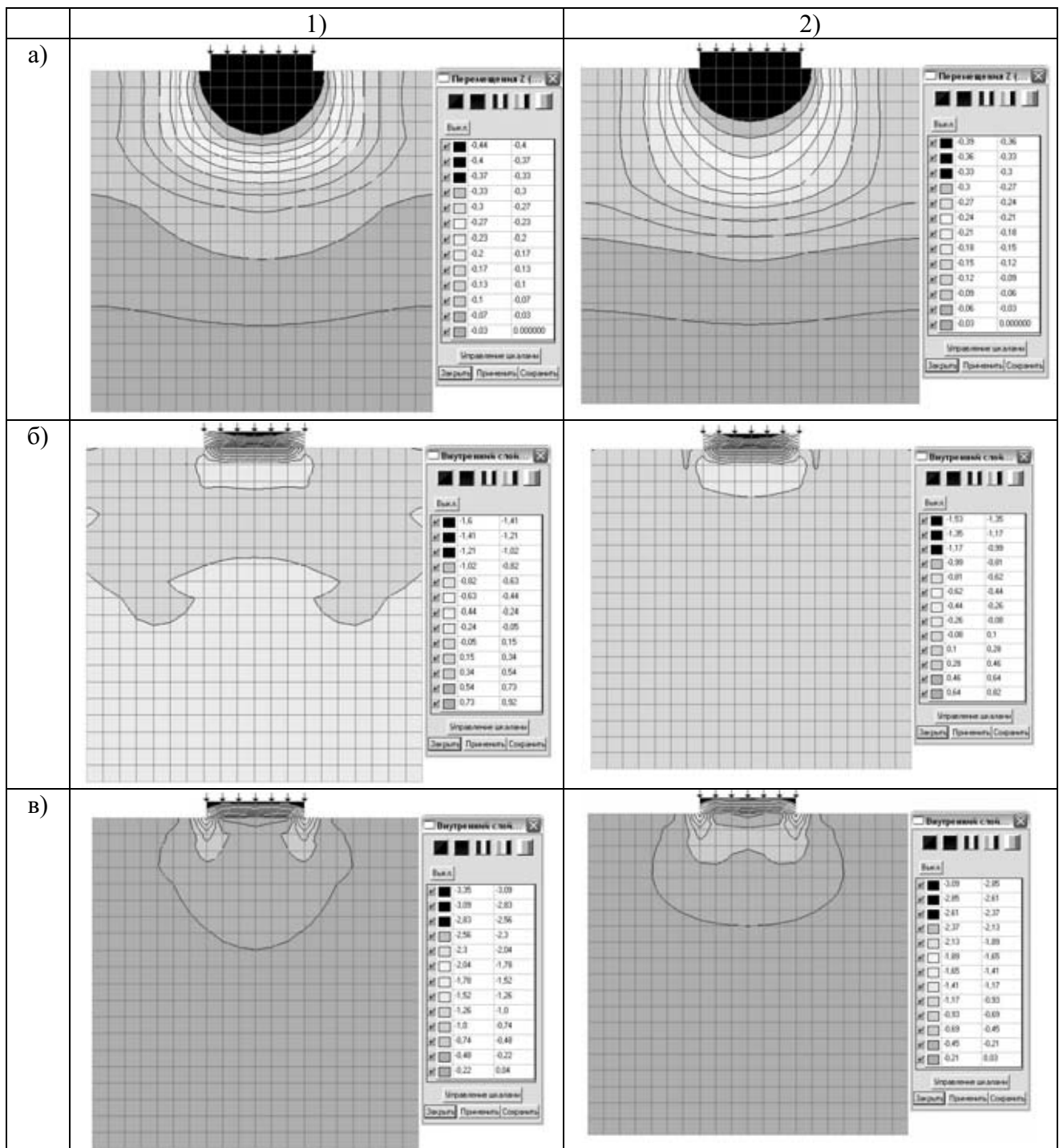
Рис. 3 – Изолинии и изополя перемещений по вертикальной оси и главных напряжений σ_1 и σ_3 в случае слабого слоя (толщина слоя – 3 метра)



1) 4-ая вариация; 2) 6-ая вариация

а) перемещение по вертикальной оси; б) напряжение σ_1 ; в) напряжение σ_3

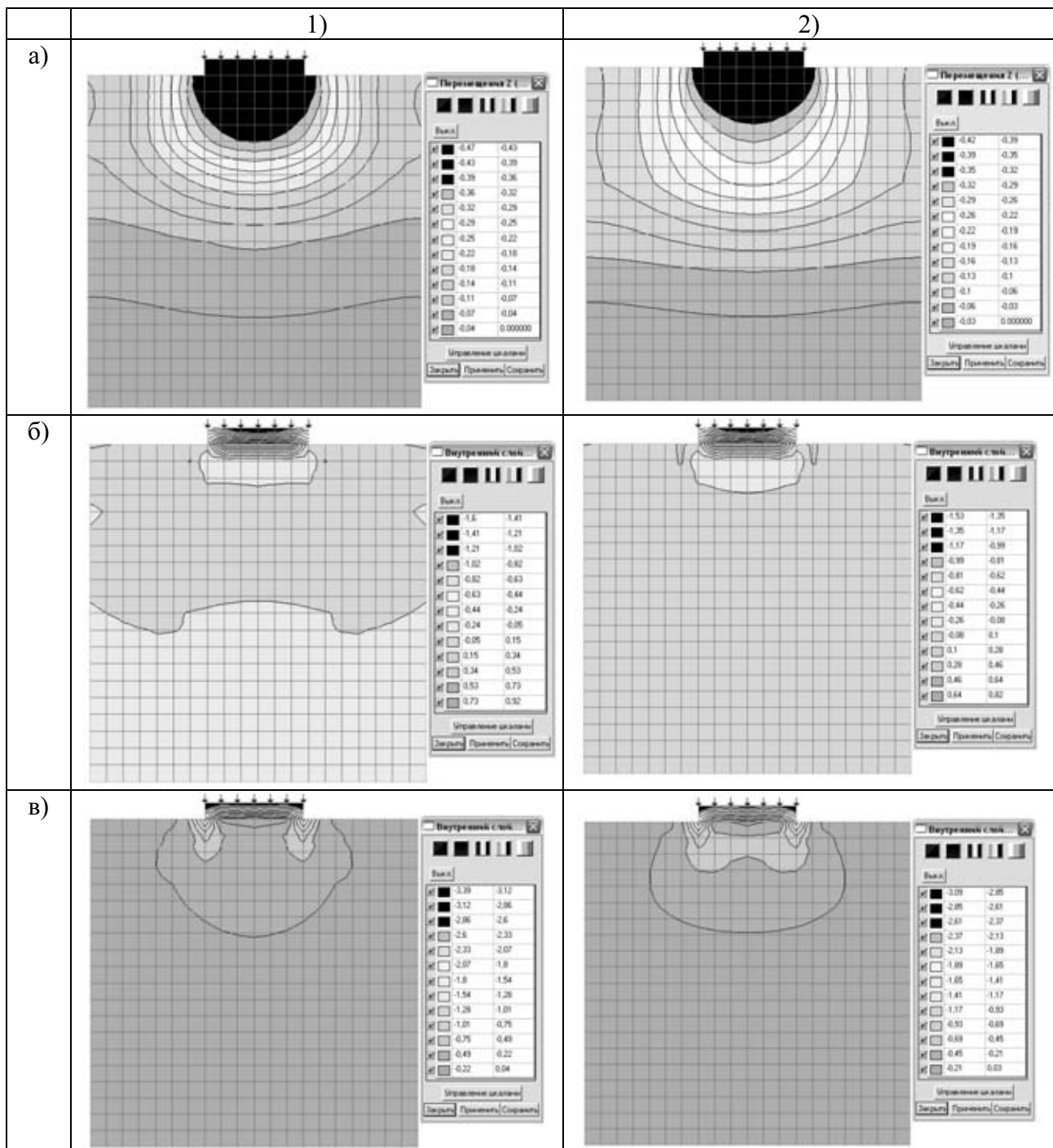
Рис. 4 – Изолинии и изополя перемещений по вертикальной оси и главных напряжений σ_1 и σ_3 в случае слабого слоя (толщина слоя – 1 метр):



1) 4-ая вариация; 2) 6-ая вариация

а) перемещение по вертикальной оси; б) напряжение σ_1 ; в) напряжение σ_3

Рис. 5 – Изолинии и изополя перемещений по вертикальной оси и главных напряжений σ_1 и σ_3 в случае слабого слоя (толщина слоя – 2 метра):



1) 4-ая вариация; 2) 6-ая вариация

а) перемещение по вертикальной оси; б) напряжение σ_1 ; в) напряжение σ_3

Рис. 6 – Изолинии и изополя перемещений по вертикальной оси и главных напряжений σ_1 и σ_3 в случае слабого слоя (толщина слоя – 3 метра):

Анализ представленных результатов дает возможность сделать вывод, что исследуемые случаи еще более характерно проявляют все тенденции, которые уже были отмечены. Хотя перед проведением данного исследования не стояла задача еще раз доказать, что на изменение НДС системы «сооружение–основание» влияет расположения слоя лишь в пределах границы активной зоны напряжений и перемещений, но полученные результаты вновь доказывают данное положение.

Также результаты анализа свидетельствуют о верности выдвинутого положения об определении нахождения слоя по изломам изолиний в пределах слабого слоя, что будет показано ниже. На рис. 7.–10. даны диаграммы распределения перемещений по высоте матрицы по оси симметрии фундамента. 1-ая вариация является несколько особым случаем слоистости, так как слабый слой залегает сразу под подошвой фундамента, но результаты перемещений данной вариации свидетельствуют, что при толщине 3 метра осадка под подошвой фундамента составляет 0,68 мм, что является максимальным значением всех четырех вариаций. Анализ изолиний перемещений свидетельствует, что можно визуальнo определить нахождение слоя по изломам изолиний перемещений, которые начинаются на кровле слоя и заканчиваются на его подошве (рис. 1-3, а). Распределение вертикальных напряжений (рис. 4.-5.) в зависимости от вариации слоя дают возможность сделать вывод, что влияние вариации толщины на перемещения является наиболее важным фактором изменения этого параметра по сравнению с влиянием перемещения слоя. Это положение доказывается наличием значительных приращений перемещений по глубине, так изменение перемещений в случае слабого слоя толщиной 3 метра 1-ой вариации по сравнению со случаем слабого слоя толщиной 1 метра той же вариации составляет до 1,7 раза. В подобных условиях 2-ой вариации изменение перемещений также значительно и составляет до 1,5-1,7 раза, что свидетельствует о значительном влиянии толщины слоя на изменение перемещений. В то же время положение слоя также влияет на изменение перемещений, и можно сделать вывод, что при перемещении слоя ниже зоны активного изменения НДС от нагрузки фундамента его влияние затухает (в 4-ой вариации перемещения в случае слабого слоя толщиной 3 метра по отношению слоя 1 метр – 1,10-1,38 раза, в 6-ой вариации – 1,06-1,52 раза). Анализируя характер распределения перемещений на рис. 7-10., можно свидетельствовать, что существует некоторое подобие их изменения, но закономерность достаточно сложно выявить из-за изменения условий численного эксперимента.

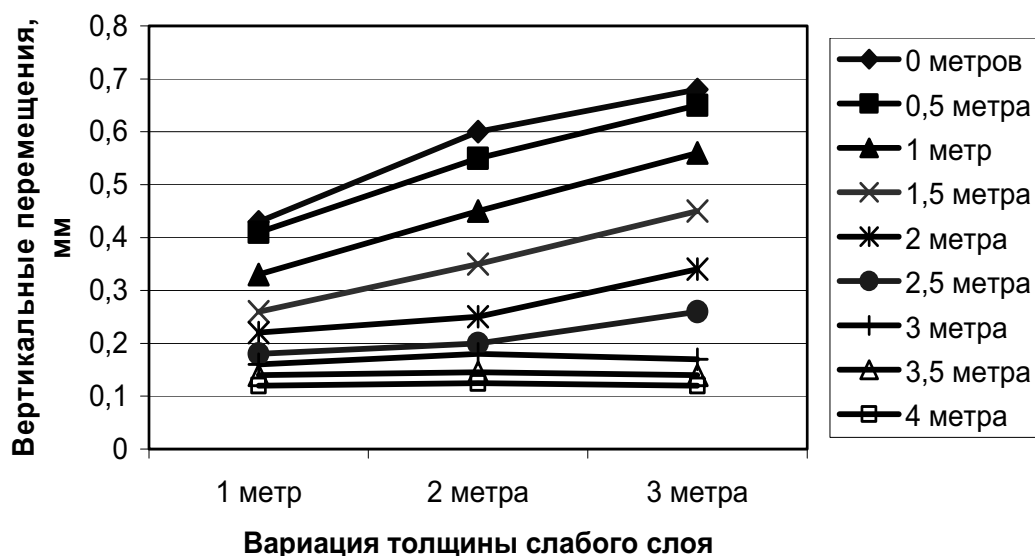


Рис. 7 – Распределение вертикальных перемещений (1-ая вариация)

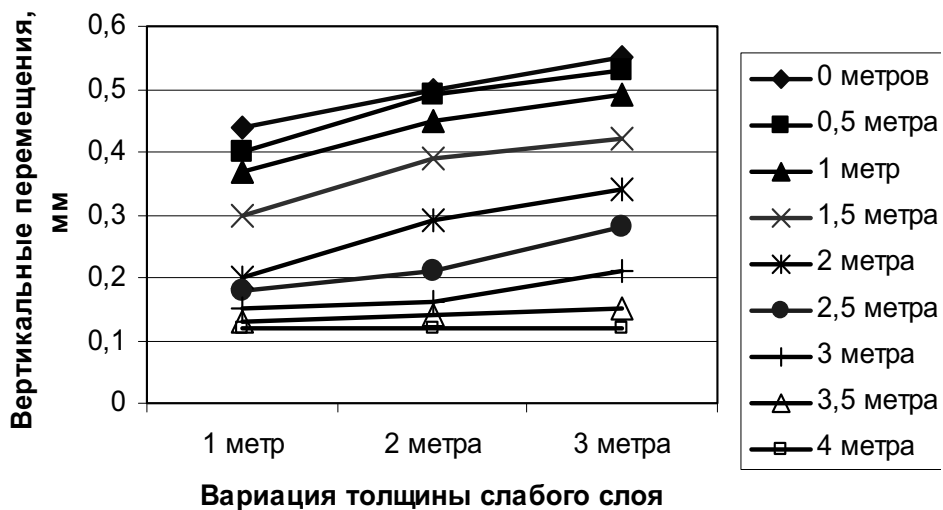


Рис. 8 – Распределение вертикальных перемещений (2-ая вариация)

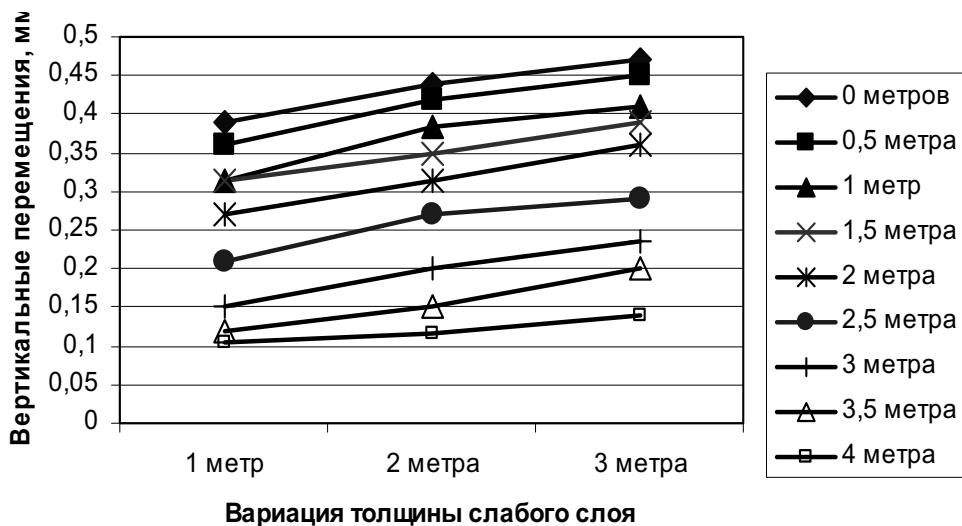


Рис. 9 – Распределение вертикальных перемещений (4-ая вариация)

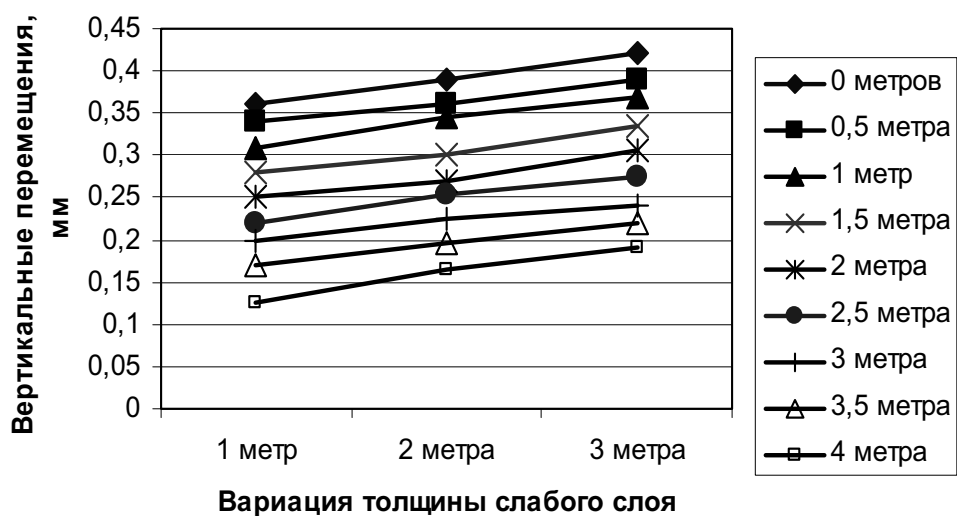


Рис. 10 – Распределение вертикальных перемещений (6-ая вариация)

Вариация толщины слабого слоя, которая влечет за собой изменение перемещений в виде изломов изолиний, что характеризуется влиянием деформативных характеристик слоя, негативно отражается на общей картине деформируемого состояния, превращая однородную картину распространения данного параметра в неоднородную. Следует также отметить, что наиболее характерно неоднородность деформируемого состояния проявляется в изломах изолиний в пределах слоя, а также в тенденции расширения площади перемещений в границах слабого слоя. Такой случай неоднородности приводит к тому, что незначительные влияния добавочных взаимодействий, например приложение нагрузки с эксцентриситетом, которая присуща взаимодействию конструкции с основанием в случае транспортного сооружения, могут негативно повлиять на устойчивость сооружения, причем прогноз данной ситуации без анализа общего НДС слоистого основания и фундамента невозможен.

Как уже было замечено выше, горизонтальные напряжения проявляют в слоистых массивах тенденцию к формированию неоднородной картины, что доказывает на примере рассчитанных вариаций. С вариацией толщины в 1-ой вариации можно видеть рост некоторой зоны под подошвой фундамента (рис. 1.- 3., б), которая из неоднородного состояния горизонтальных напряжений в случае слабого слоя толщиной 1 метр постепенно формируется, и в случае толщины 3 метра она уже достаточно сформирована, что говорит о влиянии на горизонтальные напряжения границы раздела слабого слоя и грунтовой матрицы, что наиболее характерно проявляется в случае 1-ой вариации. В случае отсутствия верхнего слабого слоя (2-вариация) из-за небольшой глубины действия горизонтальной компоненты напряжений неоднородность поля данного параметра уже не наблюдается, что доказывает тезис о влиянии на горизонтальную составляющую главных напряжений границы раздела слоя и матрицы. В более ярко выраженном виде данную тенденцию можно наблюдать в случае 4-ой вариации (рис. 4.- 6., 1), б). В 6-ой вариации формирование данной зоны под подошвой фундамента уже закончено и не изменяется при вариации толщины слоя, так как область активного образования горизонтальных напряжений не попадает ни на границу раздела слоя и матрицы, ни в пределы слоя. Следует также отметить, что во 2-ой, 4-ой и 6-ой вариации перераспределения напряжений под краями фундамента уже нет, так как пластические зоны уже сформированы и на них не оказывается влияние раздела слоев, как в случае 1-ой вариации, в которой влияние слабого слоя на перераспределение напряжений было значительным.

Исследование главных вертикальных напряжений свидетельствует, что их изменение проявляется в замыкании изолинии под некоторым ядром под подошвой фундамента (вторая изолиния, рис. 1.- 3., 1), 2), в), причем количественно пластические зоны под краями фундамента увеличиваются незначительно (относительное расхождение между слоем толщиной 3 метра и слоем толщиной 1 метр – 3-7 %). В случае 2-ой вариации можно видеть наиболее характерную картину влияния границы раздела слоев на вертикальную компоненту напряжений (рис. 3, 2), в). Образовавшаяся складка последней минимальной изолинии начинается на границе слабого слоя в случае слоя толщиной 2 и 3 метра, хотя ее рост уже заметен и в

слое толщиной 1 метр. В случае 4-ой вариации (рис. 4. - 6., 1), в) данная складка не столь выражена, что объясняется понижением расположения слоя по высоте, но также наблюдается ее развитие. В 6-ой вариации данных изменений изополей почти не наблюдается, что можно объяснить снижением влияния слоя на изменение напряжений.

Авторы провели исследование грунтовых оснований с наличием слабых слоев и проведенный анализ различных вариаций условий залегания слабых слоев достаточно полно обосновывают положения исследования таких случаев. Результаты анализа являются адекватными действительным параметрам взаимодействия в системе «сооружение–основание», так как основаны на адекватной пространственной модели из объемных конечных элементов с использованием положений концепции взаимного рассмотрения воздействий в системе «сооружение–основание».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдштейн М.Н. Расчеты осадок и прочности оснований зданий и сооружений. – К.: Будівельник, 1977. – 208 с.
2. Манвелов Л.И., Барташевич Э.С. О выборе расчетной модели упругого основания // Строительная механика и расчет сооружений. – 1961. – №4. – С. 14-18.
3. Глушко В.Т., Чердниченко В.П., Усатенко Б.С. Реология горного массива. – К.: Наукова думка, 1981. – 172 с.
4. Гольдштейн М.Н., Царьков А.А., Черкасов И.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. – М.: Транспорт, 1981. – 320 с.
5. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. – М.: Стройиздат, 1981. – 319 с.
6. Вялов С.С., Бугров А.К., Цеева А.Н. Напряженно-деформированное состояние неоднородных оснований с наклонными слабыми слоями // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1989. – № 2. – С. 18-21.
7. Механика грунтов, основания и фундаменты: Учебник / С.Б. Ухов, В.В. Семенов, В.В. Знаменский, З.Г. Тер-Мартirosян, С.Н. Чернышев. – М.: АСВ, 1994. – 577 с.
8. Дидух Б.Н., Иоселевич В.А. О напряженном состоянии и деформациях наклонного слоя грунта // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1968. – № 5. – С. 5-6.