

СРАВНЕНИЕ ОСАДОК ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ, РАССЧИТАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗНЫХ МОДЕЛЕЙ ГРУНТА В ПРОГРАММЕ **MIDAS GTS NX** И АНАЛИТИЧЕСКИ

БЕРЁЗКИН АРТЁМ

Геотехник, эксперт по midas GTS NX

АННОТАЦИЯ

В статье проанализированы результаты расчетов осадок грунтовых оснований фундаментов в программном комплексе midas GTS NX с использованием разных моделей грунта и с помощью аналитического метода. Также рассмотрены следующие вопросы: почему при расчете осадок необходимо корректно определить положение нижней границы модели; почему результаты численных расчетов с использованием моделей грунта LE, MC, HS, HSS (соответственно линейно-упругой, Мора – Кулона, упрочняющегося грунта, упрочняющегося грунта при малых деформациях) и аналитического расчета методом послойного суммирования различаются; какая модель грунта дает наиболее корректные результаты при расчете осадок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

ленточный фундамент; плитный фундамент; сжимаемая толщина грунта; расчет осадок грунта; программный комплекс midas GTS NX; модели грунта; линейно-упругая модель (LE); модель Мора – Кулона (MC); модель упрочняющегося грунта (HS); модель упрочняющегося грунта при малых деформациях (HSS); аналитический расчет; метод послойного суммирования.

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Берёзкин А. Сравнение осадок оснований фундаментов, рассчитанных с использованием разных моделей грунта в программе midas GTS NX и аналитически // Геоинфо. 2023. № 5. С. 20–34 doi:10.58339/2949-0677-2023-5-5-20-34

COMPARING THE FOUNDATION BASE SETTLEMENTS CALCULATED USING VARIOUS SOIL MODELS IN THE **MIDAS GTS NX** PROGRAM AND ANALYTICALLY

BEREZKIN ARTEM

Geotechnical engineer, expert on midas GTS NX

ABSTRACT

The article analyzes the results of calculating settlements of ground bases of foundations using various soil models in the midas GTS NX software package and using the analytical method. The following questions are also considered: why it is necessary to determine the position of the lower boundary of the model correctly for calculation of settlements; why the results of numerical calculations using the LE, MC, HS, HSS soil models and of the analytical calculation by layer-by-layer summation differ; which soil model gives the most correct results of calculation of settlements.

KEYWORDS:

strip foundation; slab foundation; compressible soil strata; soil settlement calculation; midas GTS NX software package; soil models; Linear Elastic model (LE); Mohr-Coulomb model (MC); Hardening Soil model (HS); Hardening Soil Small strain model (HSS); analytical calculation; layer-by-layer summation method.

FOR CITATION:

Berezkin A. Sravneniye osadok osnovaniy fundamentov, rasschitannyh s ispol'zovaniyem raznyh modeley grunta v programme midas GTS NX i analiticheski [Comparing the foundation base settlements calculated using various soil models in the midas GTS NX program and analytically] // Geoinfo. 2023. № 5. S. 20–34 doi:10.58339/2949-0677-2023-5-5-20-34 (in Rus.).

ВВЕДЕНИЕ ►

Программный комплекс midas GTS NX, разработанный в Южной Корее и верифицированный в России, широко используется в последние годы в гражданском, промышленном, транспортном, энергетическом, морском, гидротехническом строительстве, в добывающей промышленности. Он дает возможность решать в 2D и 3D постановках различные инженерные задачи любой сложности по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям, используя все преимущества метода конечных элементов и интеллектуальных функций программного обеспечения, ускоряя моделирование, выполняя точные расчеты геотехнических сооружений и позволяя анализировать результаты за счет полной визуализации и информативности в одном рабочем окне. Эта программа помогает сократить сроки выполнения расчетных задач, уменьшить суммарные финансовые затраты на строительство и пред-

отвратить аварийные ситуации еще на этапе расчетов благодаря созданию моделей, отражающих грунтовые условия в максимальном приближении к реальным [1].

В настоящей статье на основе материалов более ранних публикаций [2–7] будут рассмотрены результаты расчетов осадок грунтовых оснований зданий на ленточном и плитном фундаментах неглубокого заложения с использованием разных моделей грунта (линейно-упругой, Мора – Кулона, упрочняющегося грунта и упрочняющегося грунта при малых деформациях) в программном комплексе midas GTS NX и с применением аналитического метода. Также для расчетов осадок будут рассмотрены следующие вопросы:

- причины необходимости корректного определения положения нижней границы модели;
- причины различий между результатами численных расчетов с использованием названных выше моделей грунта

и аналитического расчета методом послойного суммирования;

- определение модели грунта, которая дает наиболее корректные результаты.

ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ СЖИМАЕМОЙ ТОЛЩИ НА ОСАДКУ ПРИ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЕТАХ ►

Для определения влияния мощности сжимаемой толщи грунта на осадку при численных расчетах в плоской постановке был смоделирован ленточный фундамент шириной 2 м, шириной в нижней части котлована 4 м, глубиной 2 м, с нагрузкой по подошве 180 кПа. Используемые при моделировании характеристики грунта представлены на рисунке 1. Этапы численного расчета в программном комплексе midas GTS NX показаны на рисунке 2 (этап 0 – начальная стадия; этап 1 – откопка котлована; этап 2 – активация нагрузки).

Задача была решена с использованием следующих моделей грунта: Мо-

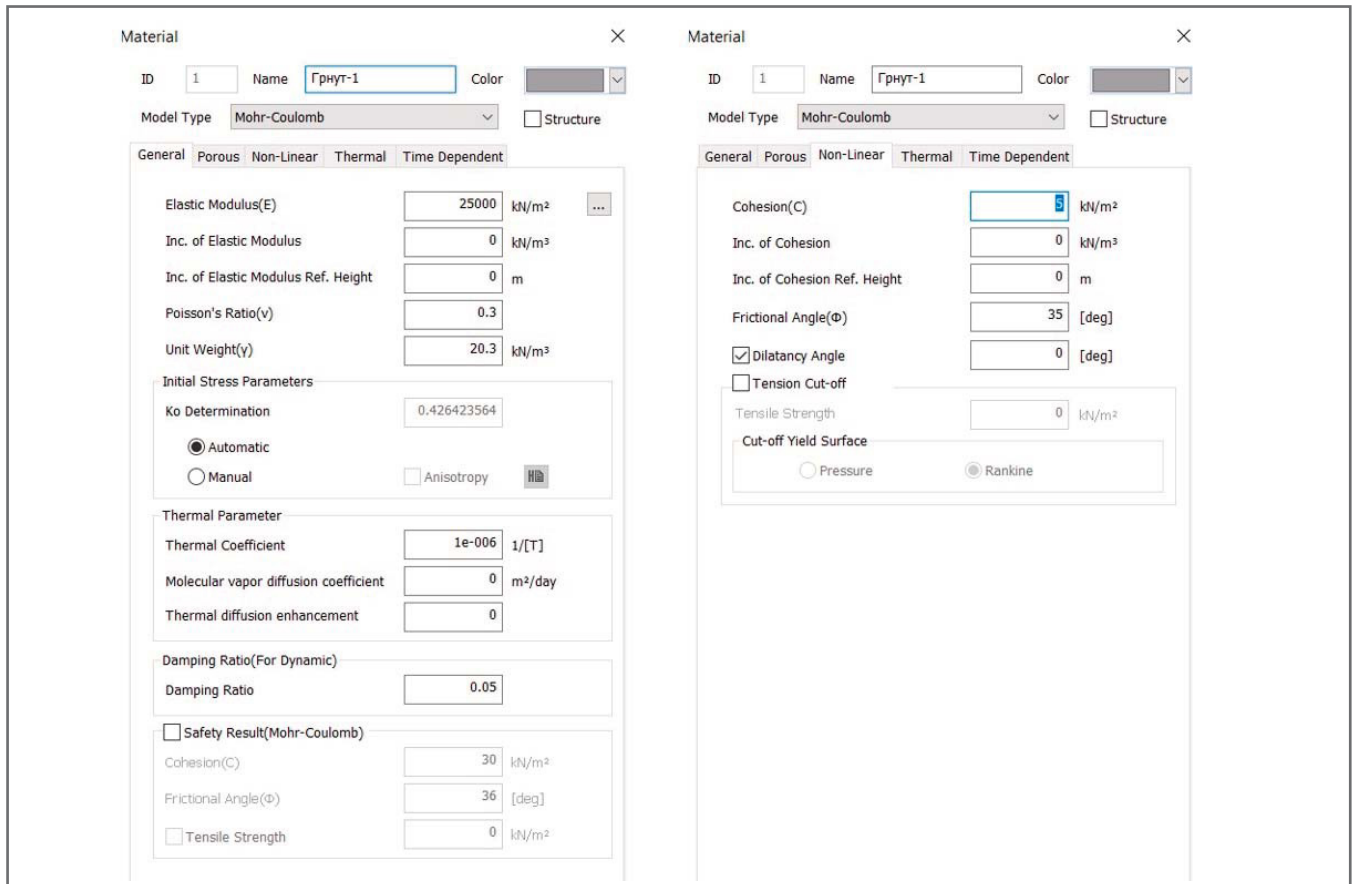


Рис. 1. Используемые при моделировании характеристики грунта

ра – Кулона (Mohr-Coulomb, MC); упрочняющегося грунта (Hardening Soil, HS); упрочняющегося грунта при малых деформациях (Hardening Soil Small strain, HSS).

Для моделей HS и HSS характеристики грунта были приняты с большими допущениями (при решении практических задач так делать нельзя). Секущий модуль деформации при 50%-ной прочности E_{50} был приравнен к компрессионному модулю деформации: $E_{50}=E_k=25$ МПа. Одометрический модуль деформации E_{oed} был приравнен к E_{50} , то есть $E_{oed}=E_{50}=25$ МПа. Модуль деформации при разгрузке и повторном нагружении E_{ur} был получен по зависимости $E_{ur}=3E_{50}$. Удельное сцепление и угол внутреннего трения были приняты такими же, как в модели MC, а остальные нелинейные параметры были приняты по умолчанию. Для каждой модели грунта был произведен расчет для сжимаемой толщи мощностью 4 и 10 м. Полученные результаты показаны на рисунках 3–5. При использовании модели MC для сжимаемой толщи мощностью $H_c=4$ м была получена максимальная осадка 16,9 мм, а для сжимаемой толщи мощностью $H_c=10$ м – 23,4 мм (разница составила 28%). В случае модели HS для 4-метровой

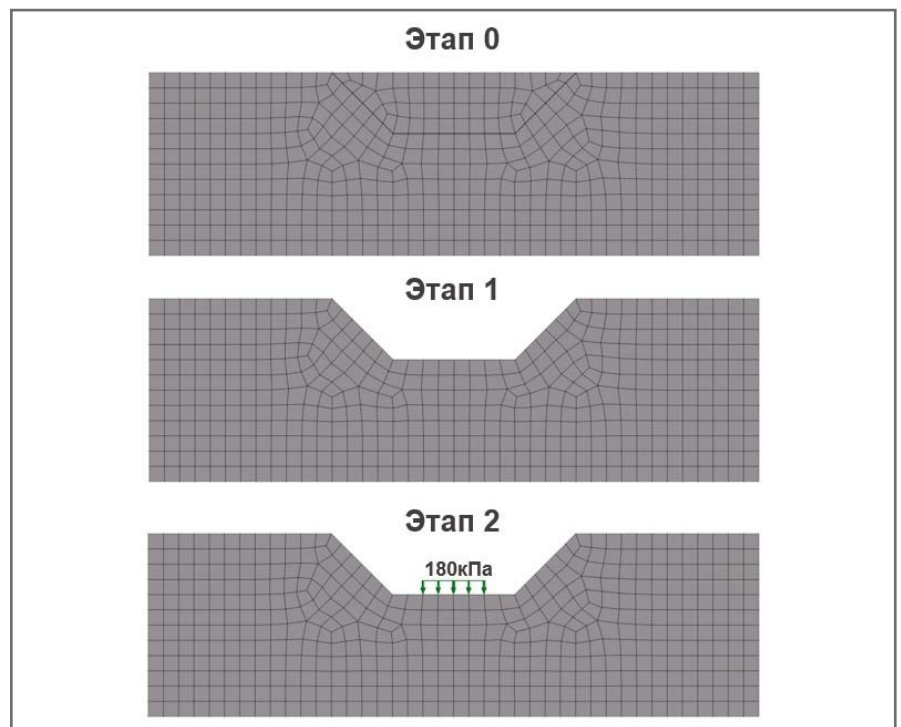


Рис. 2. Этапы численного расчета в программном комплексе midas GTS NX: этап 0 – начальная стадия; этап 1 – откопка котлована; этап 2 – активация нагрузки

сжимаемой толщи осадка составила 15,9 мм, для 10-метровой – 18,9 мм (с разницей 16%). При расчетах на основе модели HSS для 4-метровой сжимаемой толщи была получена осадка

14,1 мм, для 10-метровой – 15,8 мм (с разницей 11%).

На рисунке 6 графически показаны распределения осадок S по глубине z для разных моделей грунта. Видно, что

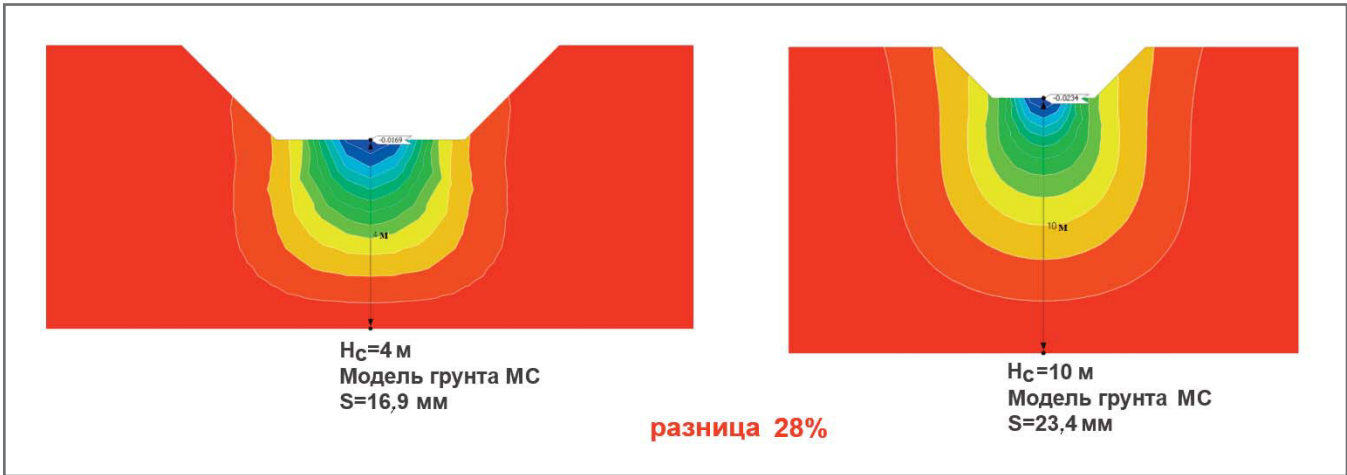


Рис. 3. Оценка влияния мощности сжимаемой толщи на полученные осадки при использовании модели MC

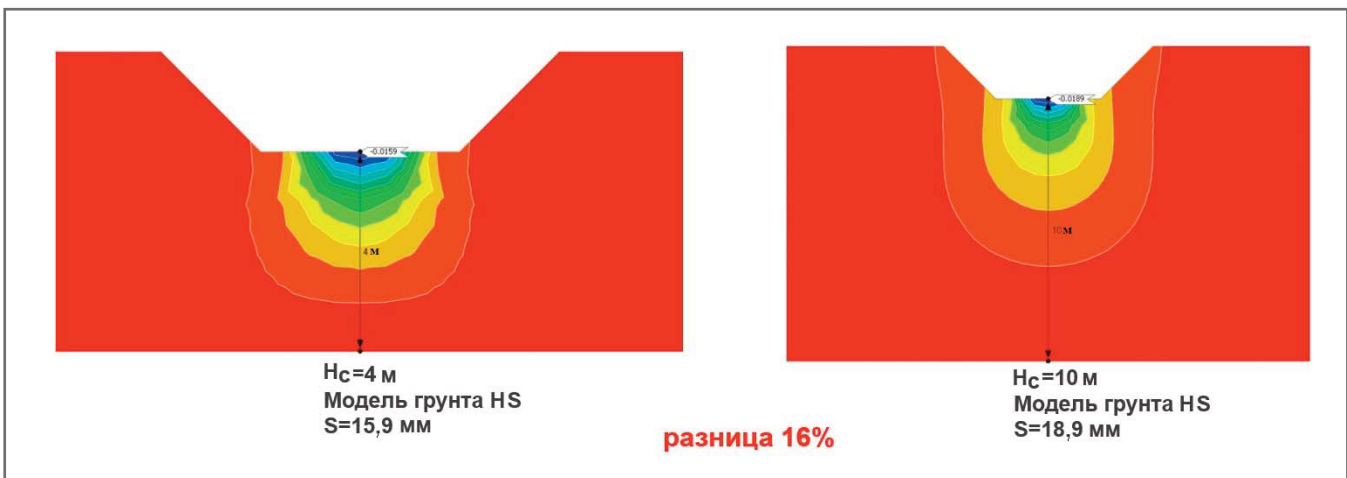


Рис. 4. Оценка влияния мощности сжимаемой толщи на полученные осадки при использовании модели HS

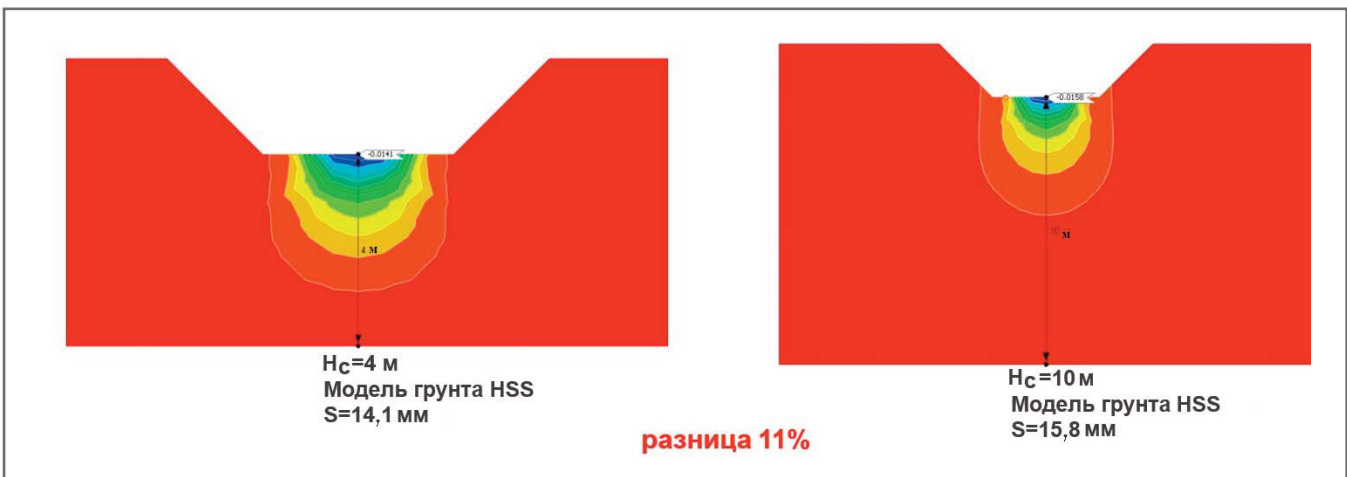


Рис. 5. Оценка влияния мощности сжимаемой толщи на полученные осадки при использовании модели HSS

для модели MC распределение достаточно близко к линейному, осадки с глубиной уменьшаются значительно медленнее, чем для моделей HS и HSS. Данные графики были получены от центральной части подошвы фундамента до нижней границы модели путем «извлечения» из 2D моделей, показанных на рисунке 7, средствами Ex-

cel с помощью инструмента Cutting Diagram.

В таблице 1 сопоставлены воздействия мощности сжимаемой толщи на осадки при использовании разных моделей грунта. Очевидно, что в случае применения модели MC необходимо корректно определить положение нижней границы модели – в противном слу-

чае итоговые осадки могут получиться сильно завышенными. Для моделей HS и HSS влияние мощности сжимаемой толщи не такое сильное.

РАСЧЕТЫ ОСАДОК. ПРИМЕР 1 ►

Были выполнены расчеты для ленточного фундамента с глубиной заложения 2 м при ширине нижней части

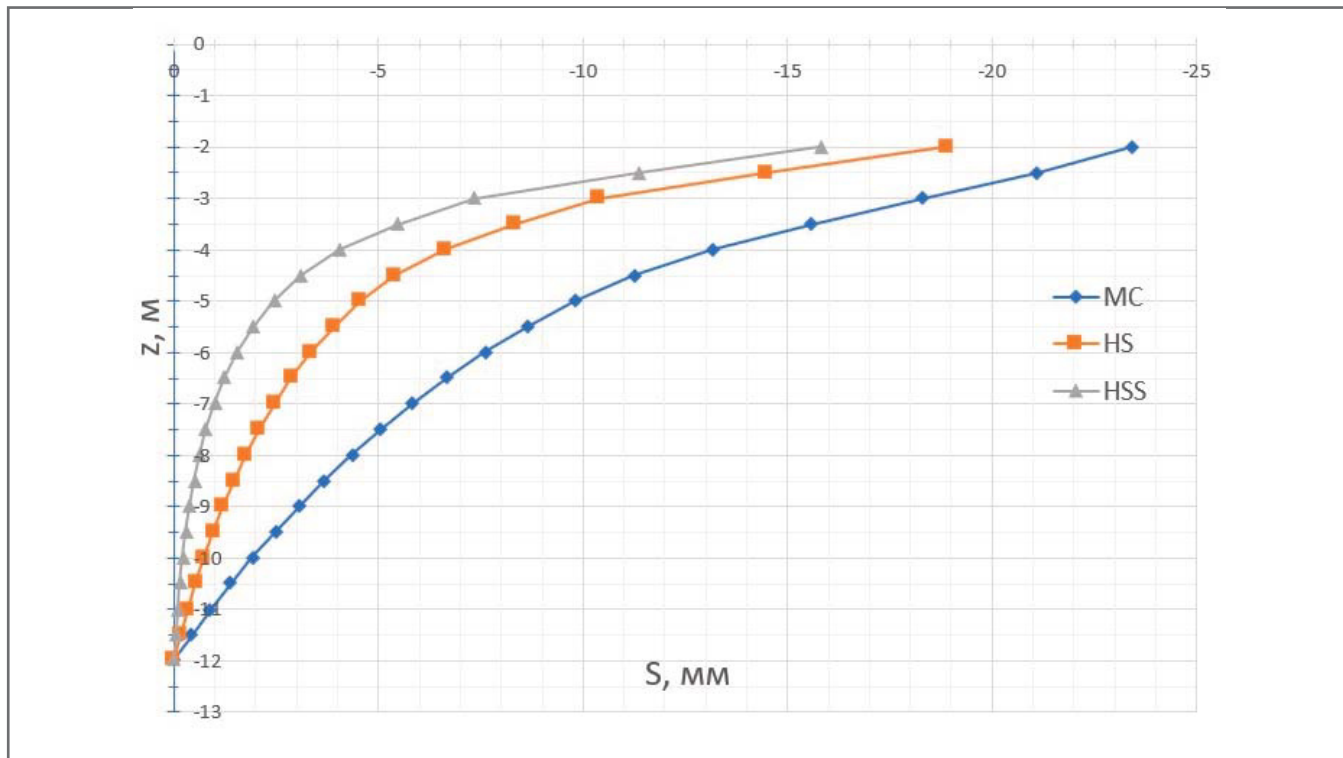


Рис. 6. Распределения осадок S по глубине z , рассчитанные в программном комплексе midas GTS NX при использовании моделей грунта MC, HS и HSS

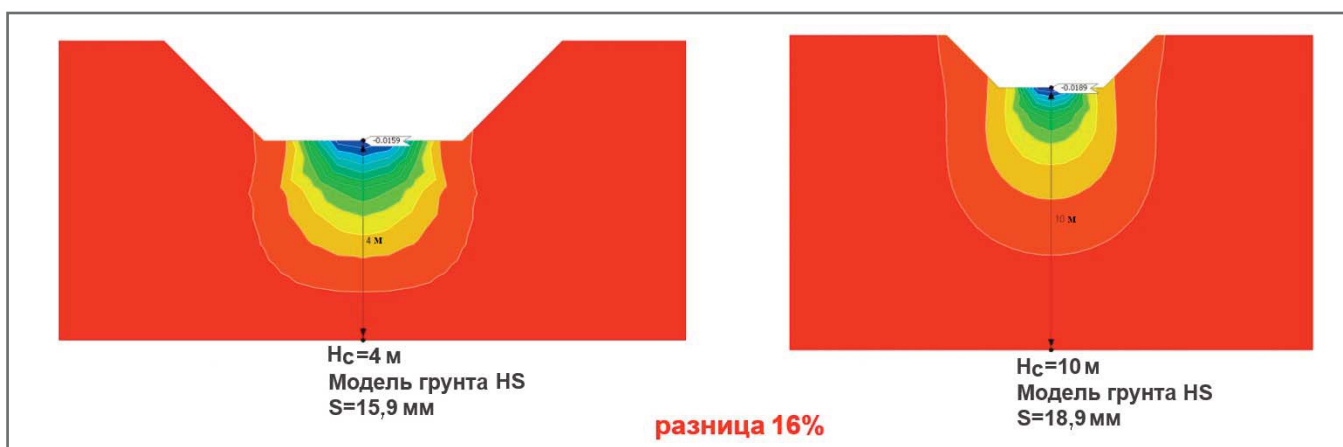


Рис. 7. Извлечение результатов для построения графика для модели HS, представленного на рисунке 6, с помощью инструмента Cutting Diagram

котлована 4 м и нагрузке по подошве фундамента 180 кПа (характеристики грунта – см. рис. 1, этапы численных расчетов – см. рис. 2). Нагрузка на подошву фундамента была задана меньше расчетного сопротивления грунта для корректного сравнения результатов численного и аналитического методов.

Аналитические расчеты ▶

Для определения положения нижней границы модели необходимо предварительно выполнить аналитический расчет осадок. В этой статье рассмотрен всем известный расчет осадок методом послойного суммирования по СП 22.13330. Другие аналитические

методы определения осадок здесь не рассматриваются.

Расчет осадок S выполнялся по следующей формуле:

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{zy,i}) h_i}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zy,i} \cdot h_i}{E_{e,i}}$$

где β – безразмерный коэффициент, равный 0,8; $\sigma_{zp,i}$ – среднее значение вертикального нормального напряжения (далее – вертикальное напряжение) от внешней нагрузки в i -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента, кПа; h_i – толщина i -го слоя грунта, см, принимаемая не более 0,4 от ширины фундамента; E_i – модуль деформации грунта по вет-

ви первичного нагружения; $\sigma_{zy,i}$ – среднее значение вертикального напряжения в i -м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы фундамента, от собственного веса грунта, вынутого при откопке котлована, кПа; $E_{e,i}$ – модуль деформации грунта по ветви вторичного нагружения; n – число слоев, на которые разбита сжимаемая толща грунтового основания

Отметим, что второе слагаемое в этой формуле при глубине котлована меньше 5 м допустимо не учитывать, но для наиболее корректного дальнейшего сравнения результатов численного и аналитического методов эта составляющая была учтена. Во втором слагаемом используется модуль де-

Таблица 1. Сопоставление осадок для мощности сжимаемой толщи (H_c) 4 и 10 м при использовании разных моделей грунта

Модель грунта	Осадка при $H_c=4$ м, мм	Осадка при $H_c=10$ м, мм	Разница, %
MC	16,9	23,4	28
HS	15,9	18,9	16
HSS	14,1	15,8	11

Таблица 2. Определение осадки методом послойного суммирования при модуле деформации по ветви вторичного нагружения $E_c=3E=75$ МПа

№	z (m)	$\xi_\phi = 2z / b_\phi$	$\xi_k = 2z / b_k$	α_ϕ	α_k	σ_{z5} (кПа)	$0.5 \cdot \sigma_{z5}$ (кПа)	σ_{zp} (кПа)	$\sigma_{zp, mid}$ (кПа)	σ_{zy} (кПа)	$\sigma_{zy, mid}$ (кПа)	E_{z1} (кПа)	E_{z1} (кПа)	S_i (m)
	0	0	0	1	1	40.600	20.300	180.000		40.600				
1	0.40	0.4	0.2	0.977	0.989	48.720	24.360	175.860	177.930	40.133	40.367	25000	75000	0.00230
2	0.8	0.8	0.4	0.881	0.977	56.840	28.420	158.580	167.220	39.666	39.900	25000	75000	0.00214
3	1.20	1.2	0.6	0.755	0.929	64.960	32.480	135.900	147.240	37.717	38.692	25000	75000	0.00184
4	1.6	1.6	0.8	0.642	0.881	73.080	36.540	115.560	125.730	35.769	36.743	25000	75000	0.00152
5	2.00	2	1	0.550	0.818	81.200	40.600	99.000	107.280	33.211	34.490	25000	75000	0.00125
6	2.4	2.4	1.2	0.477	0.755	89.320	44.660	85.860	92.430	30.653	31.932	25000	75000	0.00105
7	2.80	2.8	1.4	0.420	0.699	97.440	48.720	75.600	80.730	28.359	29.506	25000	75000	0.00090
8	3.2	3.2	1.6	0.374	0.642	105.560	52.780	67.320	71.460	26.065	27.212	25000	75000	0.00078
9	3.60	3.6	1.8	0.337	0.596	113.680	56.840	60.660	63.990	24.198	25.131	25000	75000	0.00069
10	4	4	2	0.306	0.550	121.800	60.900	55.080	57.870	22.330	23.264	25000	75000	0.00061
														$S=0,0131$

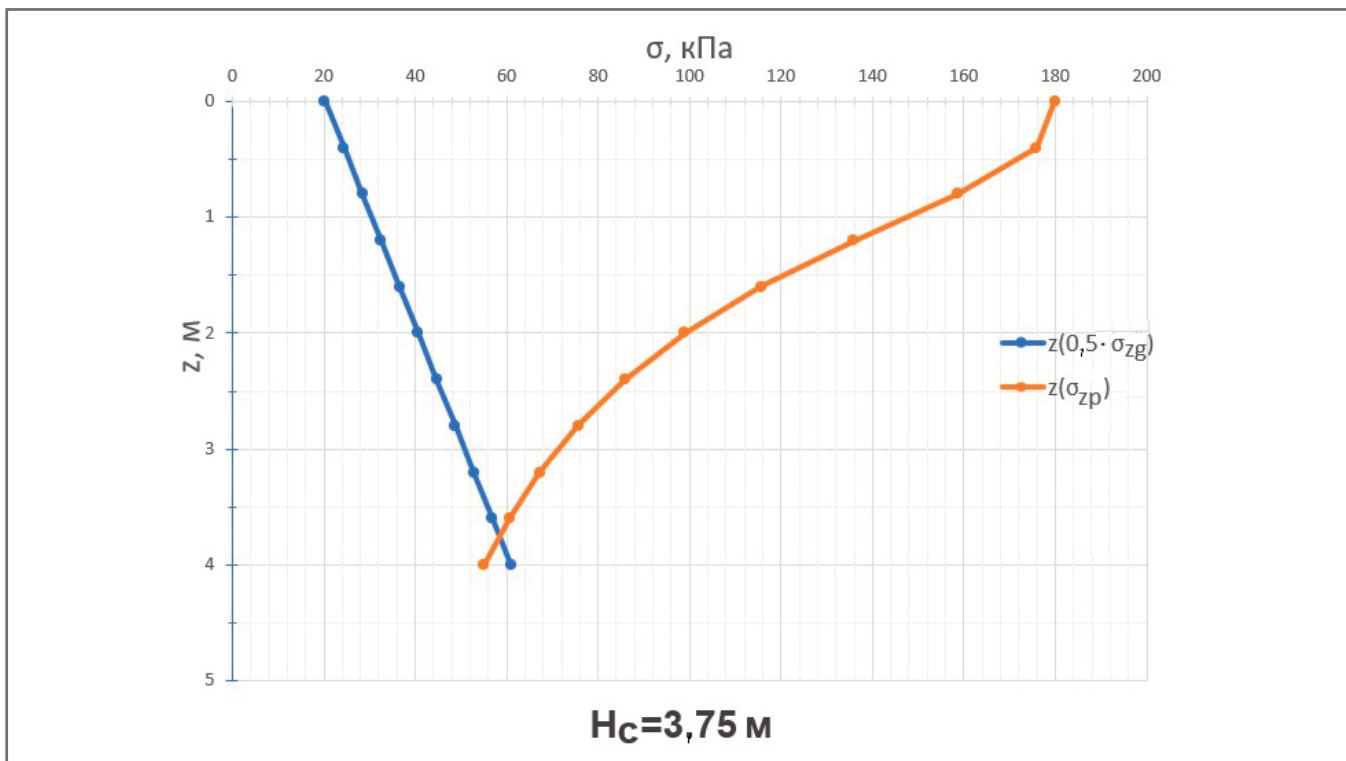


Рис. 8. Графическое определение мощности сжимаемой толщи H_c

формации по ветви вторичного нагружения E_c . Если нет лабораторных данных, то допустимо данный модуль определять по зависимости $E_c=5E$. Но поскольку для модели HS модуль деформации при разгрузке и повторном нагружении E_{ur} был принят по за-

висимости: $E_{ur}=3E_{50}$, то и модуль E_c был принят по такой же зависимости: $E_c=25$ МПа $\times 3=75$ МПа.

Так как в линейно-упругой (Linear Elastic, LE) модели и в модели MC невозможно учесть модуль деформации при разгрузке и повторном нагруже-

нии, был выполнен второй расчет послойным суммированием при $E_c=E=25$ МПа.

По итогам расчета при $E_c=75$ МПа была получена осадка 13,1 мм. Решение этой задачи представлено в таблице 2. Сжимаемая толща была

Таблица 3. Определение осадки методом послойного суммирования при модуле деформации по ветви вторичного нагружения $E_c = E = 25$ МПа

№	z (m)	$\xi_\phi = 2z / b_\phi$	$\xi_k = 2z / b_k$	α_ϕ	α_k	σ_{zE} (kPa)	$0.5 \cdot \sigma_{zE}$ (kPa)	σ_{zp} (kPa)	$\sigma_{zp, mid}$ (kPa)	σ_{zy} (kPa)	$\sigma_{zy, mid}$ (kPa)	E_{li} (kPa)	E_{ci} (kPa)	S_i (m)
	0	0	0	1	1	40.600	20.300	180.000		40.600				
1	0.40	0.4	0.2	0.977	0.989	48.720	24.360	175.860	177.930	40.133	40.367	25000	25000	0.00272
2	0.8	0.8	0.4	0.881	0.977	56.840	28.420	158.580	167.220	39.666	39.900	25000	25000	0.00255
3	1.20	1.2	0.6	0.755	0.929	64.960	32.480	135.900	147.240	37.717	38.692	25000	25000	0.00223
4	1.6	1.6	0.8	0.642	0.881	73.080	36.540	115.560	125.730	35.769	36.743	25000	25000	0.00189
5	2.00	2	1	0.550	0.818	81.200	40.600	99.000	107.280	33.211	34.490	25000	25000	0.00161
6	2.4	2.4	1.2	0.477	0.755	89.320	44.660	85.860	92.430	30.653	31.932	25000	25000	0.00138
7	2.80	2.8	1.4	0.420	0.699	97.440	48.720	75.600	80.730	28.359	29.506	25000	25000	0.00120
8	3.2	3.2	1.6	0.374	0.642	105.560	52.780	67.320	71.460	26.065	27.212	25000	25000	0.00106
9	3.60	3.6	1.8	0.337	0.596	113.680	56.840	60.660	63.990	24.198	25.131	25000	25000	0.00094
10	4	4	2	0.306	0.550	121.800	60.900	55.080	57.870	22.330	23.264	25000	25000	0.00085
														S=0,0164

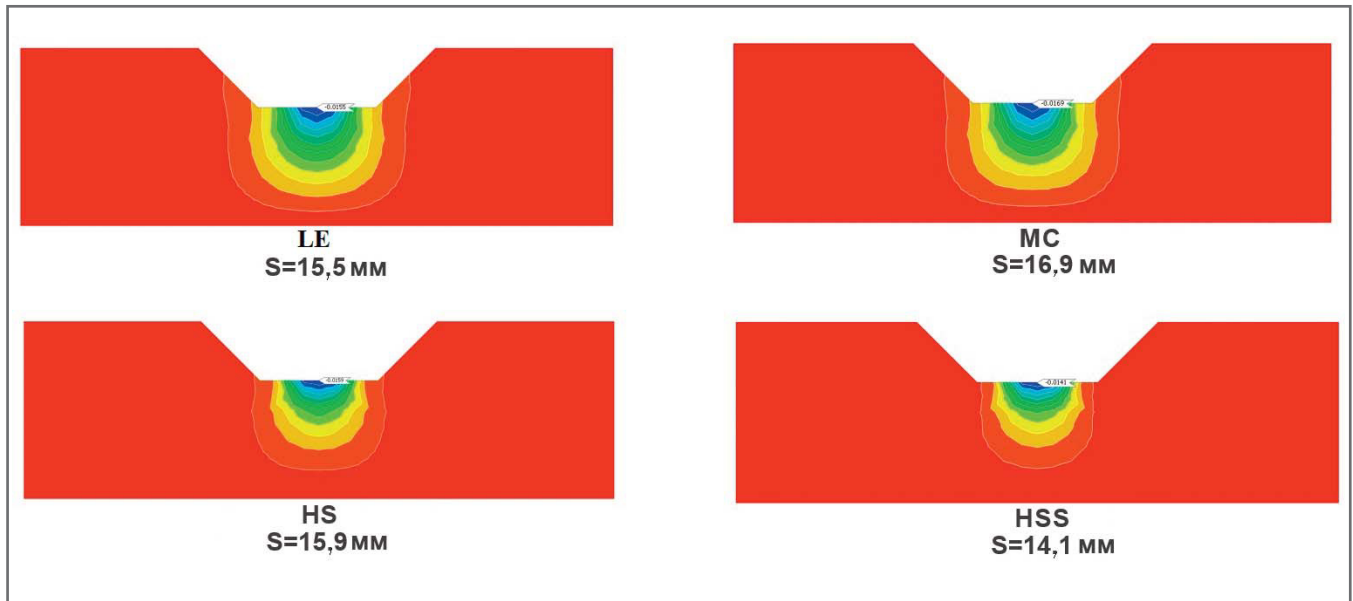


Рис. 9. Результаты численных расчетов осадок в программном комплексе midas GTS NX для разных моделей грунта

Таблица 4. Сопоставление результатов расчетов численным и аналитическим методами

Метод определения осадки	Осадка S, мм	Разница относительно аналитики с $E_e=75$ МПа, %	Разница относительно аналитики с $E_e=25$ МПа, %
1	2	3	4
Аналитический с $E_e=75$ МПа	13.1	-	20
Аналитический с $E_e=25$ МПа	16.4	20	-
Численный Elastic	15.5	15	5
Численный Mohr-Coulomb	16.9	22	3
Численный Hardening Soil	15.9	18	3
Численный Hardening Soil Small	14.1	7	14

ограничена условием, проиллюстрированным на рисунке 8. Была получена мощность сжимаемой толщи, равная 3,75 м, но при дальнейших расчетах было использовано ее

округленное до целого числа значение, то есть 4 м.

А по итогам расчета при $E_c=25$ МПа была получена осадка 16,4 мм. Решение этой задачи представлено в таблице 3.

Численные расчеты ▶

Данная задача была решена численно в программном комплексе midas GTS NX с использованием разных моделей грунта. Нижняя граница

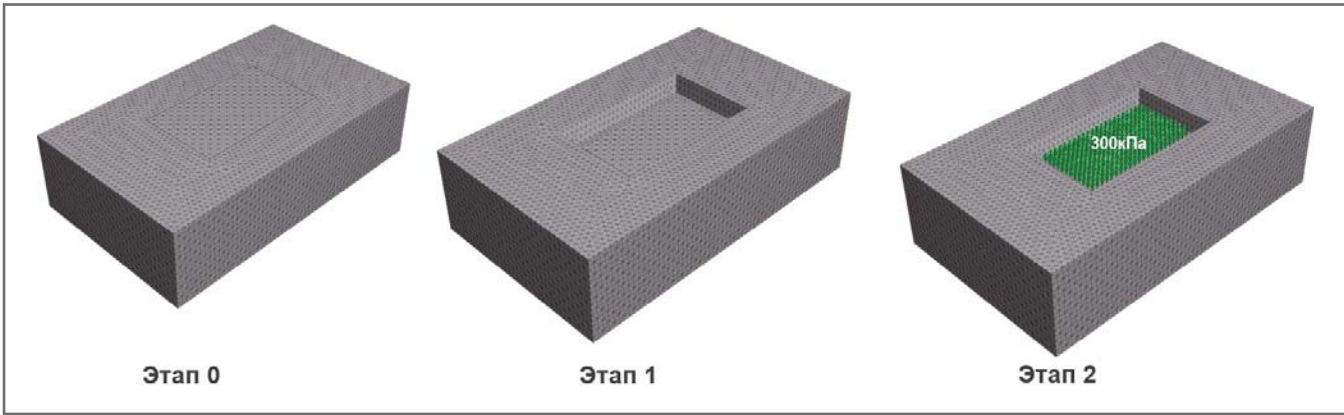


Рис. 10. Этапы численного расчета для примера 2

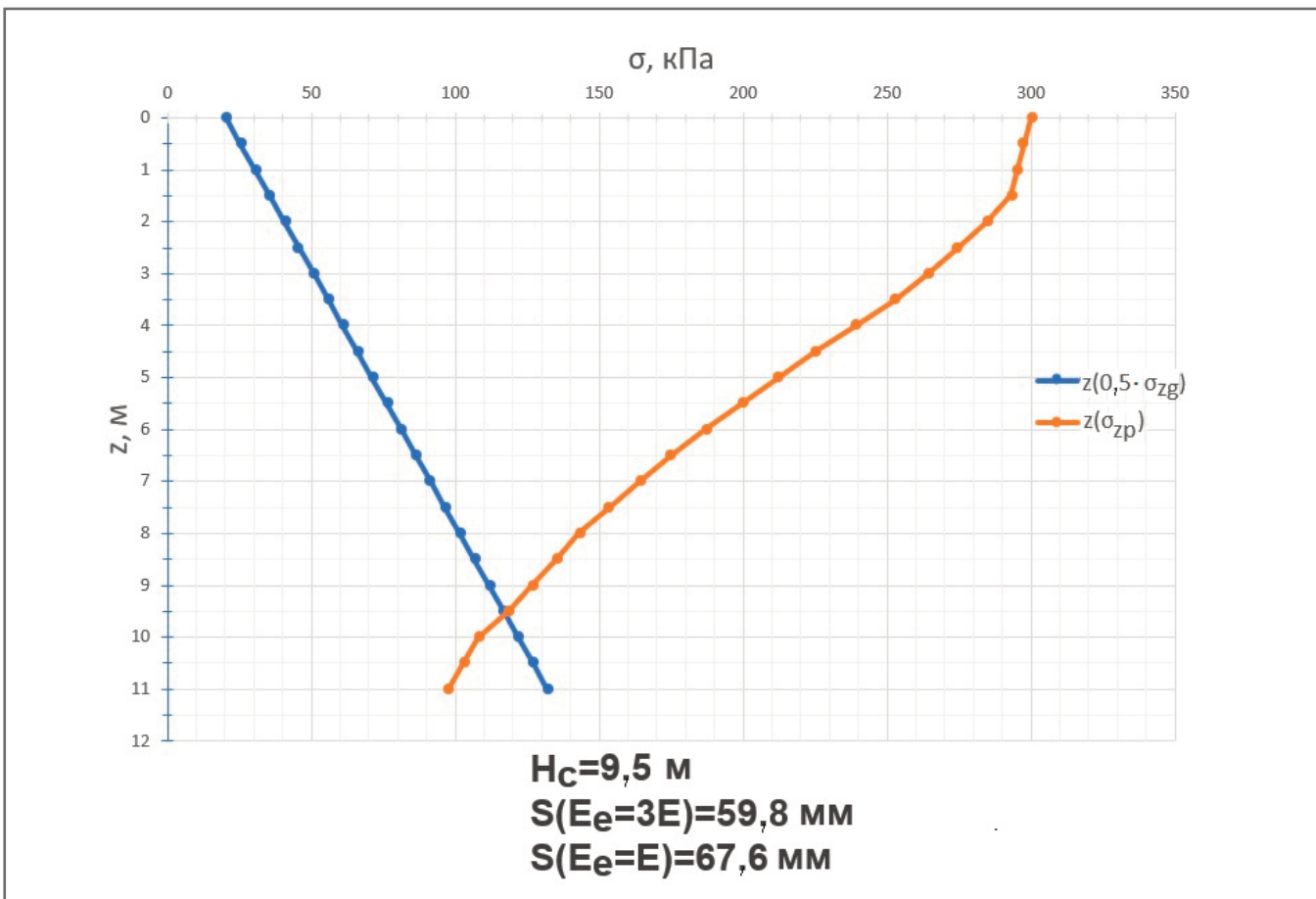


Рис. 11. Результаты аналитических расчетов осадок и мощности сжимаемой толщи

модели была определена в соответствии с предварительно рассчитанной мощностью сжимаемой толщи. Для линейно-упругой (Linear Elastic, LE) модели осадка составила 15,5 мм, для модели MC – 16,9 мм, для HS – 15,9 мм, для HSS – 14,1 мм (рис. 9).

Сравнение результатов ►

В таблице 4 сопоставлены результаты использования расчетов численным и аналитическим методами.

В третьем столбце таблицы 4 результаты сопоставлены для случая использования $E_c = 75$ МПа при аналитическом

расчете, а в столбце 4 – для случая $E_c = 25$ МПа. Оценивать относительную разницу для моделей LE и MC корректнее по столбцу 4. А для моделей HS и HSS – по столбцу 3.

Модели LE и MC дали очень хорошую сходимость с результатами аналитического расчета. Разница составила 5 и 3% соответственно. Для модели MC осадка получилась немного больше, чем для модели LE, так как при расчете с использованием модели MC возникают «пластические точки», которые и увеличивают конечную осадку.

Модели HS и HSS дали неплохую сходимость с результатами аналитического метода. Для модели HS разница составила 18%, а для HSS – 7%. Но сравнивать итоги численных расчетов на основе моделей HS и HSS с результатами аналитического расчета и численных расчетов на основе моделей LE и MC, учитывая допущения, принятые при задании характеристик более совершенных моделей грунта, неправильно. Неплохая сходимость для случаев HS и HSS с итогами применения других методов в этой задаче – это «стеченные обстоятельства».

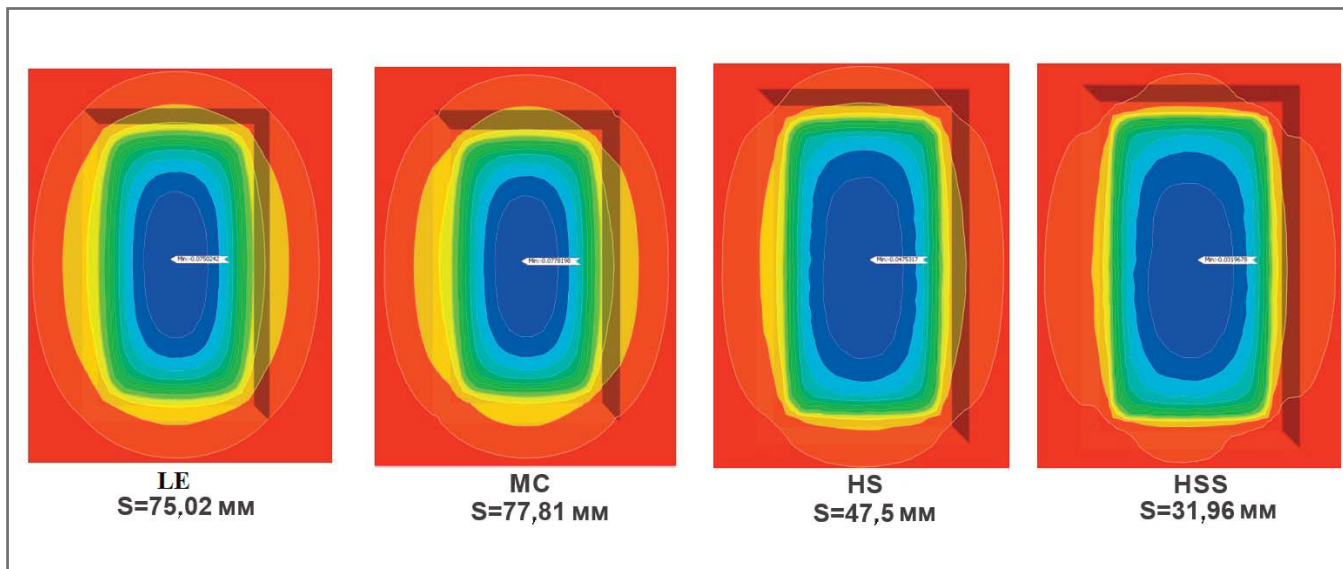


Рис. 12. Результаты расчетов осадок для разных моделей грунта

Таблица 5. Сопоставление результатов расчетов осадок разными методами

Метод определения осадки	Осадка S , мм	Разница относительно аналитики с $E_e=75\text{МПа}$, %	Разница относительно аналитики с $E_e=25\text{МПа}$, %
1	2	3	4
Аналитический с $E_e=75\text{МПа}$	59.8	-	12
Аналитический с $E_e=25\text{МПа}$	67.6	12	-
Численный Elastic	75.02	20	10
Численный Mohr-Coulomb	77.81	23	13
Численный Hardening Soil	47.5	21	30
Численный Hardening Soil Small	31.96	47	53

РАСЧЕТЫ ОСАДОК. ПРИМЕР 2

Также были выполнены расчеты для плитного фундамента с размерами плиты 16×8 м, глубиной заложения 2 м, размерами котлована в плане 18×10 м и нагрузкой по подошве фундамента 300 кПа. Характеристики грунта были приняты такими же, как и в предыдущей задаче (см. рис. 1). Нагрузка по подошве фундамента была задана меньше расчетного сопротивления грунта для корректного сравнения результатов численного и аналитического методов. Этапы численного расчета для данной задачи показаны на рисунке 10.

Аналитические расчеты

Мощность сжимаемой толщи, рассчитанная аналитическим методом, со-

ставила 9,5 м (рис. 11). Осадка при $E_e=75$ МПа составила 59,8 мм, а при $E_e=25$ МПа – 67,6 мм.

Численные расчеты

В программном комплексе midas GTS NX данная задача была рассчитана в трехмерной постановке. Были получены следующие результаты: для модели LE максимальная осадка составила 75,02 мм, для MC – 77,82 мм, для HS – 47,5 мм, для HSS – 31,96 мм (рис. 12).

Сравнение результатов

Полученные результаты сопоставлены в таблице 5. Модели LE и MC дали хорошую сходимость с результатами использования аналитического метода. А модели HS и HSS дали значительное

расхождение с итогами применения других методов.

ПРИЧИНЫ РАСХОЖДЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Главная причина расхождения результатов – особенность учета жесткости грунта в его разных моделях. Модуль деформации не является постоянным – он изменяется в зависимости от величин напряжений. На рисунке 13 сопоставлены модели поведения грунта MC и HS в виртуальном одометре с помощью программы (виртуальной лаборатории) Soil Test, встроенной в комплекс midas GTS NX. К виртуальному образцу была приложена вертикальная нагрузка 1000 кПа, а затем он был разгружен. Синий график характеризует модель MC, красный – модель HS.

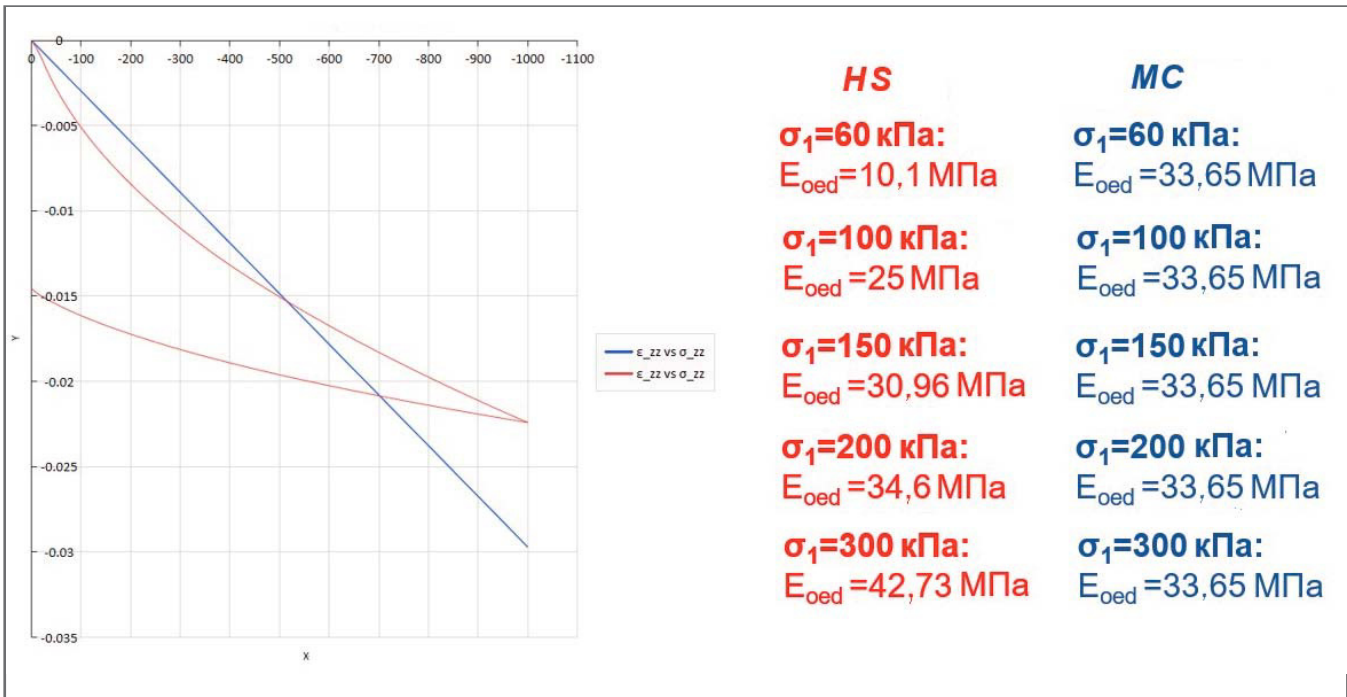


Рис. 13. Результаты испытаний в виртуальном одомере с помощью программы Soil Test, встроенной в комплекс midas GTS NX

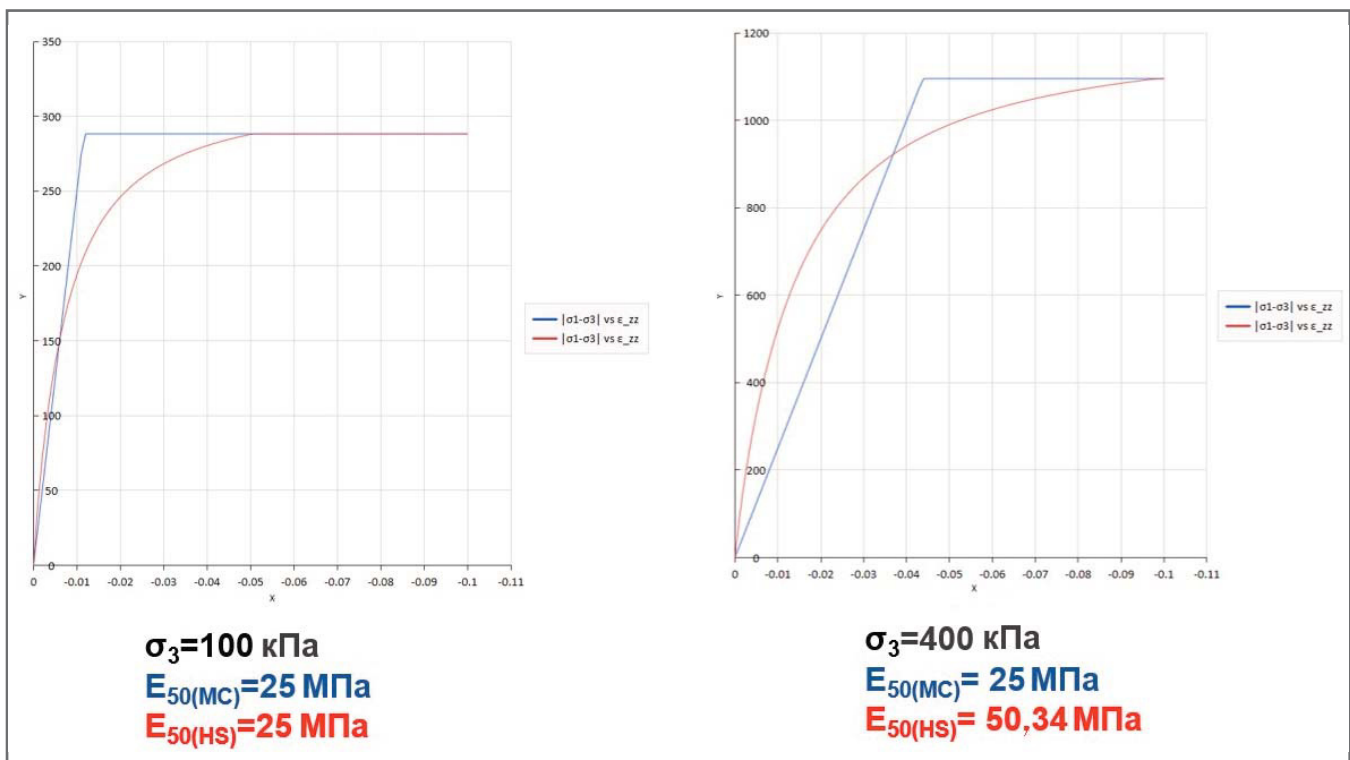


Рис. 14. Результаты испытаний в виртуальном приборе трехосного сжатия с помощью программы Soil Test, встроенной в комплекс midas GTS NX

По графику для MC видно, что модуль деформации не меняется с ростом напряжений. Для разных величин вертикального напряжения был найден касательный одомерический модуль деформации – он составил 33,65 МПа при разных уровнях напряжений. Также в модели MC не учитывается модуль деформации при разгрузке и повторном нагружении,

что видно по синему графику на рисунке 13.

Для модели HS одомерический касательный модуль деформации меняется. С ростом напряжений грунт в виртуальном одомере уплотняется и модуль деформации, соответственно, увеличивается. Также при разгрузке учитывается отдельный модуль деформации.

В одомере у грунта нет возможности бокового расширения, но в некоторых задачах очень большое значение имеет и корректный учет другой траектории нагружения – например, оценка влияния выемки грунта при откопке котлована.

Во встроенной программе Soil Test были проведены трехосные виртуальные испытания грунта для моделей MC и HS при разных значениях бокового напряжения.

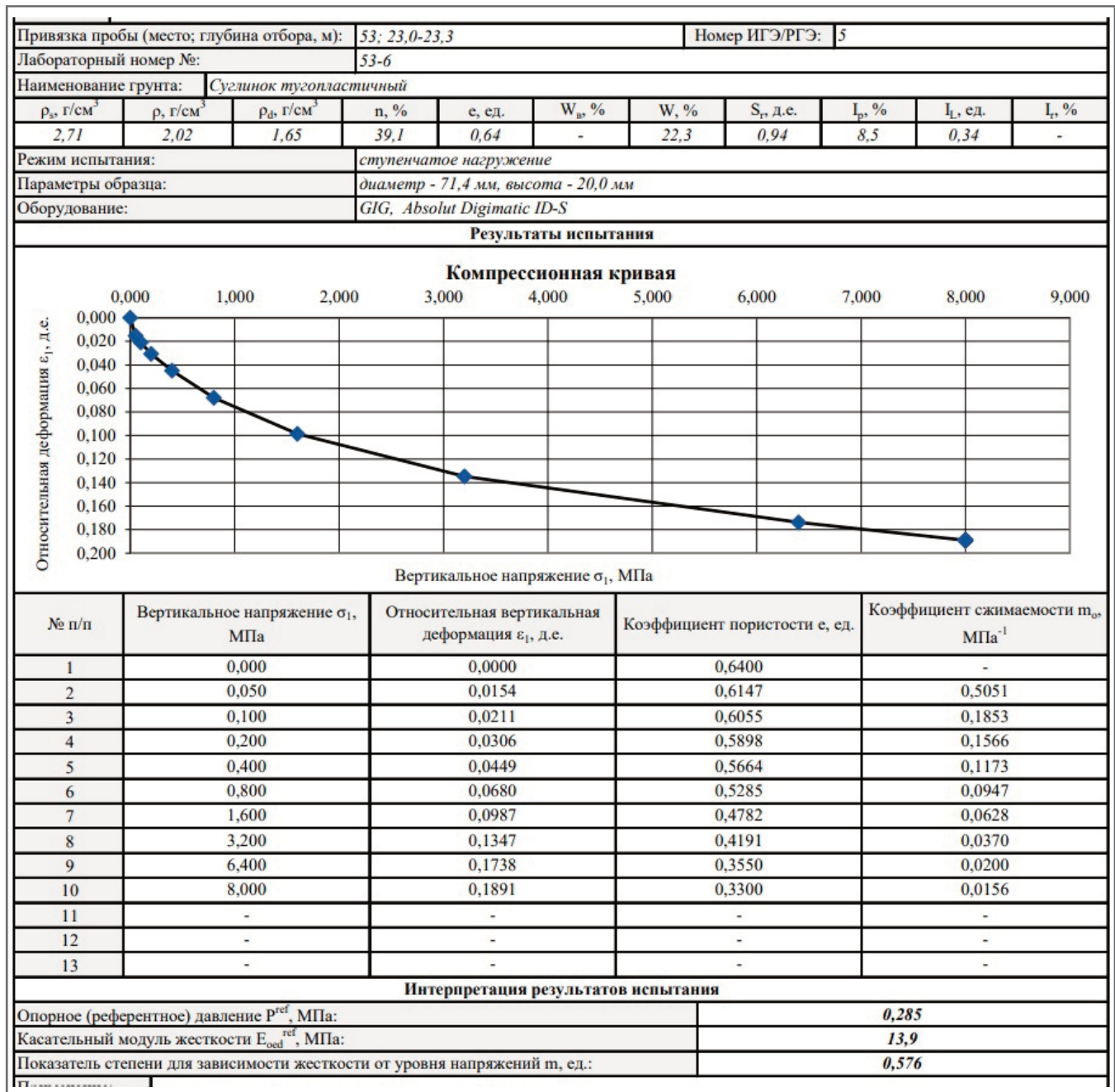


Рис. 15. Пример данных по испытаниям грунта методом компрессионного сжатия с определением E_{oed} и m , выполненным в геотехнической лаборатории АО «Мостдоргеотрест»

При боковом напряжении 100 кПа был рассчитан тангенс угла секущей, который соответствует 50%-ной прочности образца при заданном боковом напряжении 100 кПа. Таким образом было получено значение модуля деформации $E_{50} = 25$ МПа для модели MC и для модели HS в качестве вводной характеристики (рис. 14). Для бокового напряжения 400 кПа для HS был получен модуль $E_{50} = 50,34$ МПа, а для MC он не изменился и опять составил 25 МПа (см. рис. 14). То есть, как видно из рисунка 14, E_{50} для HS при разных боковых напряжениях будет иметь разные величины, а для MC он будет одинаковым. Также видно, что при росте вертикального напряжения (девиатора) при неизменном

боковом напряжении значение тангенса угла касательной к графику, характеризующему модель HS, уменьшается (жесткость уменьшается с ростом девиатора), а для модели MC – это постоянная величина вплоть до разрушения образца.

Почему в примере 1 результаты расчетов для моделей HS и HSS лучше сходятся с итогами применения других методов, чем в примере 2? ▶

В примере 1 (расчет ленточного фундамента) нагрузка, приложенная по подошве, составила 180 кПа, а одометрический модуль деформации при таком напряжении равен примерно 33 МПа,

что очень близко к значению одометрического модуля на основе модели MC. В примере 2 (расчет плитного фундамента) нагрузка по подошве составила 300 кПа и для модели HS одометрический модуль получился примерно 43 МПа. Это некорректное сравнение, так как напряжения меняются по глубине, но такой анализ позволяет увидеть причину расхождения результатов.

Почему для моделей HS и HSS осадка с глубиной уменьшается быстрее, чем для модели MC? ▶

Если вернуться к рисунку 6 с оценкой влияния мощности сжимаемой толщи на полученную осадку, то теперь очевидно,

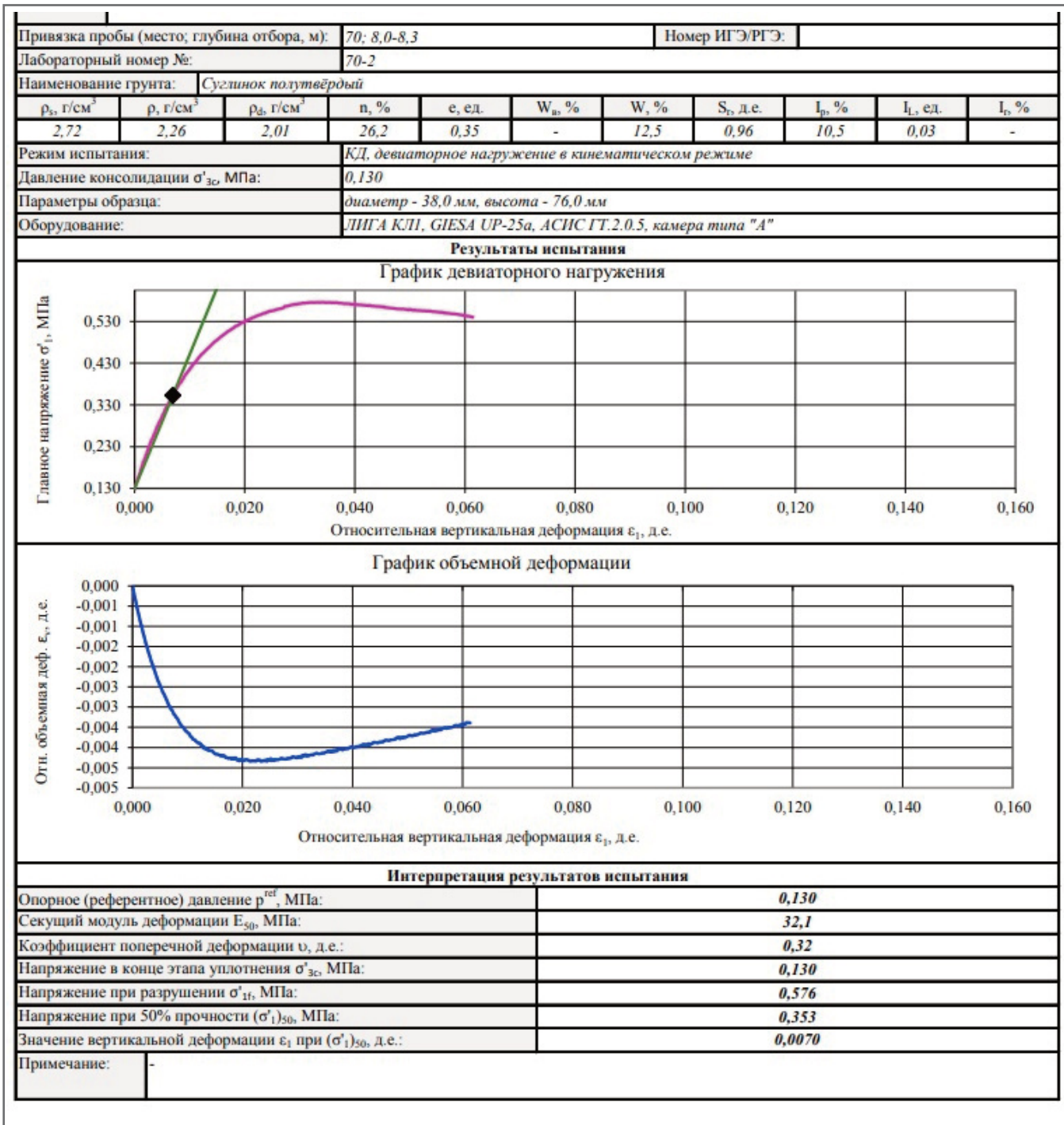


Рис. 16. Пример данных по испытаниям грунта методом трехосного сжатия с определением E_{50} , выполненным в геотехнической лаборатории АО «Мостдоргеотрест»

почему осадка уменьшается с глубиной быстрее для моделей HS и HSS. Это происходит из-за увеличения жесткости грунта с глубиной. При использовании HSS еще учитываются повышенные жесткостные характеристики грунта при малых деформациях. Поэтому в двух задачах численный расчет с использованием модели HSS показал наименьшие значения осадок.

Какую модель грунта лучше использовать? ►

Модель MC допустимо использовать, если состояние грунта в модели

близко к таковому в условиях компрессионного сжатия. Но при компрессионном сжатии в модели MC модуль деформации – это постоянная величина. Поэтому для расчета осадок рекомендуется применять более совершенные модели материалов – модель слабого грунта (Soft Soil, SS), HS, HSS. А для оценки влияния выемки грунта при откопке котлована следует использовать модели HS и HSS. Применение HSS дает лучшую сходимость с данными мониторинга и очень точно определяет зону влияния нового

строительства по сравнению с другими методами.

По этим причинам предпочтительнее всего использовать модель HSS. Но следует отметить, что она требует больше исходных данных и, соответственно, больше затрат на изыскания.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ МОДЕЛЕЙ HS И HSS ►

Недопустимо принимать исходные данные для использования моделей HS и HSS по таблице физико-механиче-

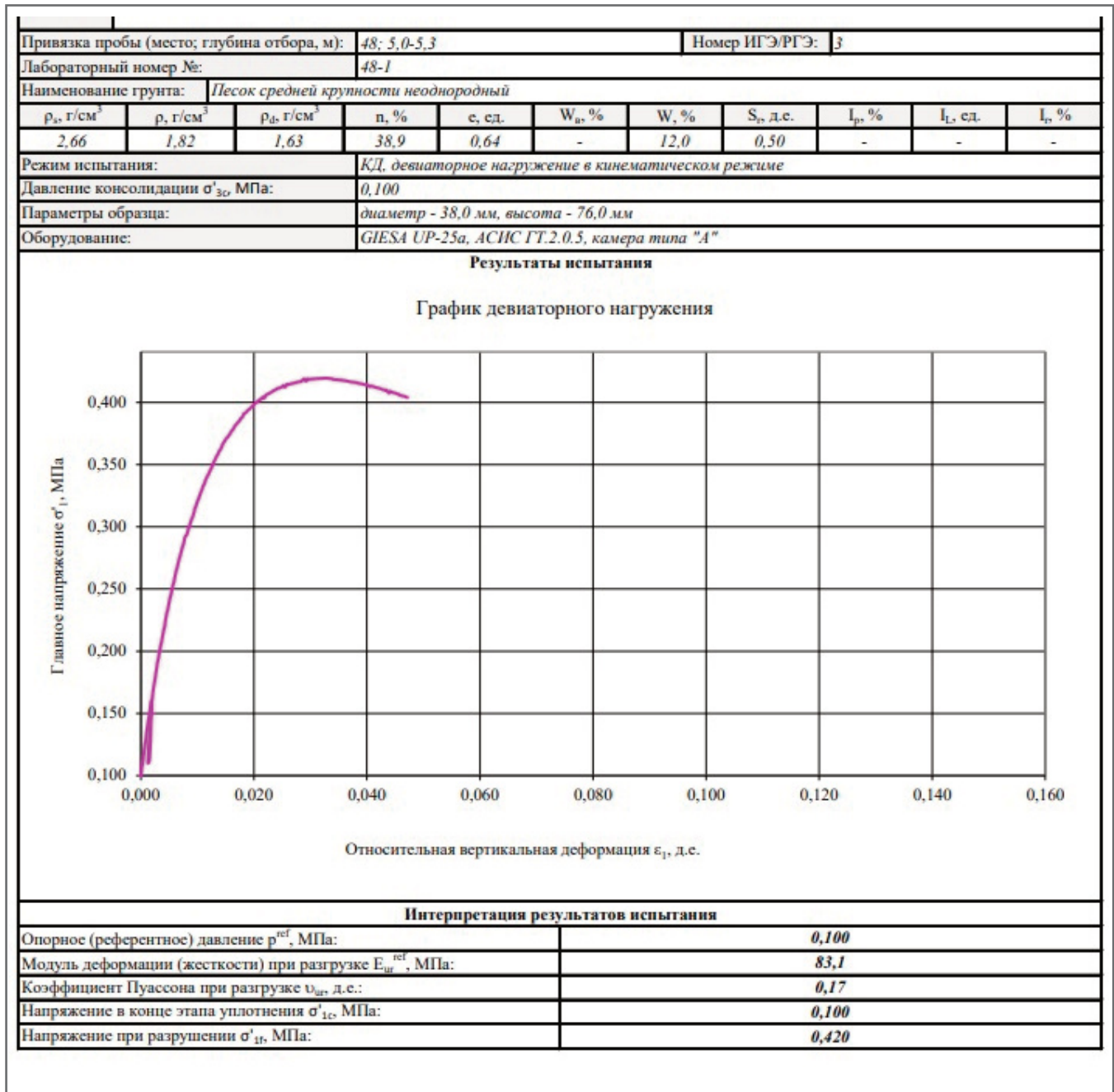


Рис. 17. Пример данных по испытаниям грунта методом трехосного сжатия с определением модуля деформации E_{ur} и коэффициента Пуассона ν_{ur} при разгрузке, выполненным в геотехнической лаборатории АО «Мостдоргеотрест»

ских свойств грунтов, а остальные нелинейные характеристики – по умолчанию, поскольку в реальности $E_{50} \neq E_{oed}$; $E_{ur} \neq 3E_{50}$; опорное (референтное) давление $p_{ref} \neq 100$ кПа; показатель степени для зависимости жесткости от уровня напряжений (power of level dependency) $m \neq 0,5$. Все эти параметры необходимо получать с помощью лабораторных компрессионных (рис. 15) и трехосных (рис. 16, 17) испытаний. Причем характеристики грунта нужно калибровать в программе (виртуальной лаборатории) Soil Test, встроенной в комплекс midas GTS NX, и добиваться совпадения графиков, полученных при реальных и виртуальных испытаниях

в нужных диапазонах напряжений. Параметры для малых деформаций (Small Strain) при использовании модели HSS необходимо дополнительно определять с помощью резонансной колонки (рис. 18).

ВЫВОДЫ ►

- При расчетах осадок с использованием модели MC необходимо предварительно рассчитать мощность сжимаемой толщи по СП 22.13330 и определить в соответствии с ней положение нижней границы модели.
- Недопустимо выполнять расчеты методом послойного суммирования по СП 22.13330, если давление по по-

доше фундамента превышает расчетное сопротивление. В таких случаях рассчитывать осадки можно, например, численными методами.

- Численные расчеты с использованием моделей грунта LE и MC дают результаты, наиболее близкие к итогам аналитических расчетов.
- Модуль деформации – это переменная величина, которая зависит от величин напряжений.
- Для наиболее корректных расчетов осадок рекомендуется использовать численные методы и более совершенные модели грунта – SS, HS, HSS.
- Модель HSS учитывает больше факторов и дает наиболее точные результаты.

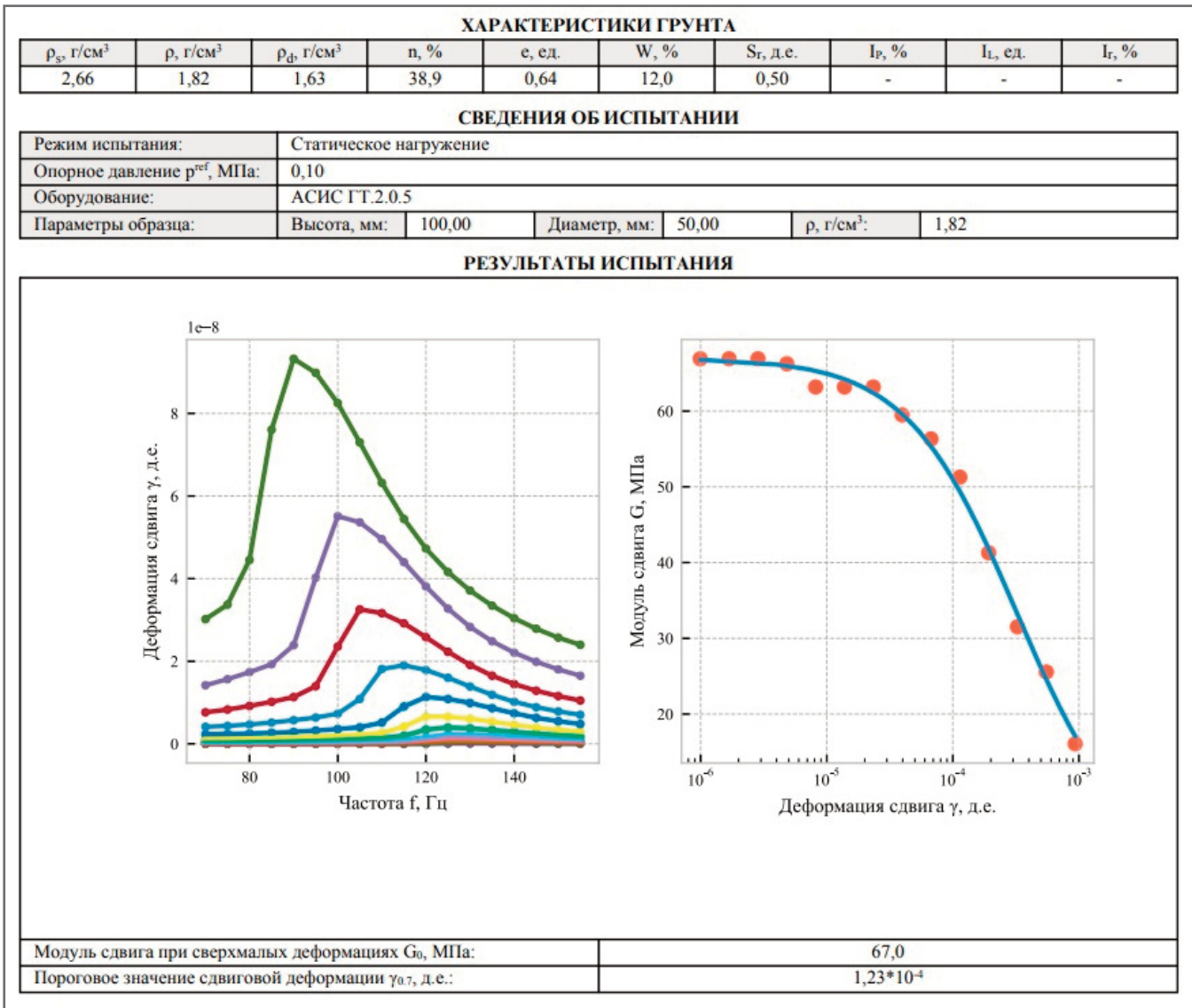


Рис. 18. Пример данных по испытаниям грунта методом малоамплитудных динамических колебаний в резонансной колонке с определением параметров в диапазоне малых деформаций, выполненным в геотехнической лаборатории АО «Мостдоргеотрест»

- Приравнивать характеристики для модели MC к таковым для модели HS недопустимо. Получать параметры для HS нужно с помощью реальных одометрических и трехосных лабораторных испытаний, а также калибровать их результаты в программе (виртуальной лаборатории) Soil Test, встроенной в комплекс midas GTS NX.

Список литературы

1. midas GTS NX // midasoft.ru. URL: midasoft.ru/products/midas-gts-nx/#review. Дата последнего обращения: 20.04.2023.
2. Расчет осадки: сравнение результатов с использованием LE, MC, HS, HSS и аналитического метода // midasoft.ru. URL: midasoft.ru/blog/raschet-osadki-cravnenie-rezultatov/?ysclid=lm6kuz2fv8287001260. Дата последнего обращения: 20.04.2023.
3. Полищук А.И., Межаков А.С., Болгов И.В. Расчет осадок ленточного фундамента гражданского многоэтажного здания в программном комплексе midas GTS NX. Кубанский государственный аграрный университет, 2019. 49 с.
4. Мангушев Р.А., Карлов В.Д., Сахаров И.И. Механика грунтов. М.: АСВ, 2014. 256 с.
5. Полищук А.И. Анализ грунтовых условий строительства при проектировании фундаментов зданий. М.: АСВ, 2016. 104 с.
6. Парамонов В.Н. Метод конечных элементов при решении нелинейных задач геотехники. СПб.: Георекострукция, 2012. 262 с.
7. Бате Н., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. М.: Стройиздат, 2002. 448 с.

References

1. midas GTS NX // midasoft.ru. URL: midasoft.ru/products/midas-gts-nx/#review. Data poslednego obrashcheniya: 20.04.2023 (in Rus.).

2. Raschet osadki: sravneniye rezul'tatov s ispol'zovaniyem LE, MC, HS, HSS i analiticheskogo metoda [Calculating settlements: comparison of results using LE, MC, HS, HSS and analytical method] // midasoft.ru. URL: midasoft.ru/blog/raschet-osadki-cravnenie-rezultatov/?ysclid=lm6kuz2fv8287001260. Data poslednego obrashcheniya: 20.04.2023 (in Rus.).
3. Polishchuk A.I., Mezhakov A.S., Bolgov I.V. Raschet osadok lentochного fundamenta grazhdanskogo mnogoetazhnogo zdaniya v programmnom komplekse midas GTS NX [Calculating settlements of a strip foundation of a civil multi-storey building in the midas GTS NX software package]. Kubanskiy gosudarstvennyi agrarniy universitet, 2019. 49 s. (in Rus.).
4. Mangushev R.A., Karlov V.D., Saharov I.I. Mehanika gruntov [Soil mechanics]. M.: ASV, 2014. 256 s. (in Rus.).
5. Polishchuk A.I. Analiz gruntovykh usloviy stroitel'stva pri proyektirovanii fundamentov zdaniy [Analyzing the ground conditions of construction for the design of building foundations]. M.: ASV, 2016. 104 s. (in Rus.).
6. Paramonov V.N. Metod konechnykh elementov pri reshenii nelineynykh zadach geotekhniki [The finite element method for solving non-linear geotechnical problems]. SPb.: Georekonstruktsiya, 2012. 262 s. (in Rus.).
7. Bate N., Vilson E. Chislennyye metody analiza i metod konechnykh elementov [Numerical methods of analysis and the finite element method]. M.: Stroyizdat, 2002. 448 s. (in Rus.).

Независимый электронный журнал **ГеоИнфо**

**С 2022 года журнал «ГеоИнфо»
выходит в формате *PDF.
10 выпусков в год.**



WWW.GEOINFO.RU