

# **HASE**

## **Анализ полупространства**

Версия 12.14

©



Все исключительные права на публикацию и издание данного руководства принадлежат компании PSS

Компания PSS

Авторизованный дистрибьютор SOFiSTiK в России и СНГ:

Санкт-Петербург	+7(812) 622-10-14	cad@pss.spb.ru
Новосибирск	+7(383) 221-58-80	nsk@pss.spb.ru
Краснодар	+7(861) 299-96-95	ug@pss.spb.ru
Тула	+7(4872) 25-21-19	tula@pss.spb.ru

[www.sofistik.ru](http://www.sofistik.ru)

[www.pss.spb.ru](http://www.pss.spb.ru)

Перевод на русский язык:

Дмитрий Ярошутин

ст. преподаватель кафедры мостов и тоннелей СПбГАСУ,

эксперт ПК SOFiSTiK,

руководитель центра компетенции «Мосты»

Специализация:

- Расчеты транспортных сооружений.
- Расчеты различных автодорожных мостов и сооружений, зданий с учетом динамических и сейсмических воздействий.

## Содержание

1. Описание задачи .....	5
2. Теоретические основы .....	7
2.1. Общая информация .....	7
2.2. Профиль грунта .....	8
2.3. Распределение грунта в плане.....	9
2.4. Напряжения в полупространстве.....	10
2.4.1. Метод в соответствии с Grundbautaschenbuch [1].....	10
2.4.2. Метод Буссинеска.....	11
2.5. Деформации в полупространстве .....	11
2.6. Горизонтальная жесткость.....	11
2.7. Сваи в полупространстве.....	12
2.7.1. Команда PILE.....	12
2.7.2. Запись XPIL .....	12
2.8. Ограничения и время расчета .....	12
2.9. Файлы и сопряжение с расчетными модулями .....	14
2.10. Литература .....	14
3. Входные данные.....	15
3.1. Язык входных данных.....	15
3.2. Записи входных данных.....	15
3.3. CTRL - Контрольные параметры расчета .....	16
3.4. HALF — Задание полупространства.....	18
3.5. BORE — Выбор профилей скважин.....	20
3.6. PILE — Сваи в полупространстве .....	21
3.7. XPIL — Расширенные параметры свай .....	23
3.8. PLAS — Учет пластичности грунта.....	25
3.9. LOAR – Радиус загрузки.....	27
3.10. LC — Загрузка .....	28
3.11. LOAD — Сосредоточенные нагрузки .....	30
3.12. SELE — Выбор результатов .....	31
3.13. SELP — Выбор печатного представления .....	32
3.14. ECHO — Управление выводом .....	33
4. Вывод результатов .....	35
4.1. Контрольный список профилей скважин.....	35
4.2. Параметры грунтов в узлах .....	35
4.3. Параметры полупространства.....	36
4.4. Характеристики свай.....	37
4.5. Контрольный перечень узлов.....	37
4.6. Контрольный перечень нагрузок .....	38
4.7. Результаты .....	38
5. Примеры .....	39
5.1. Плита основания рассчитывается методом жесткого коэффициента. ....	40

5.2. Постоянный грунтовый профиль – трехмерная рама с пластиной .....	46
5.3. Независимый расчет осадки.....	51
5.4. Переменный профиль грунта в плане- вторая QUAD система .....	54
5.5. Интерполяция при помощи весового фактора .....	60
5.6. Напряжения в полупространстве.....	65
5.7. Плитно-свайные фундаменты с расширением свай .....	68
5.8. Многослойные поверхности полупространства .....	70

## 1. Описание задачи

Модуль HASE выполняет расчет матрицы жесткости для конструкций произвольных размеров, состоящих либо из конечных элементов, либо определенных аналитически, например таких как упругое полупространство с соответствующими параметрами грунтов основания.

Эти матрицы жесткости отражают упругие основания. Через заданные узлы основание может быть связано со следующими модулями статического расчета: ASE, TALPA, SEPP или STAR2, после чего выполняемые статические расчеты отражают взаимодействие в системе «грунт — сооружение».

Напряжения в полупространстве могут быть определены с использованием опорных реакций, рассчитанных в последующем статическом расчете, сопровождающимся обращением к HASE в режиме постобработки, или при непосредственном задании нагрузок.

Существует возможность задания полупространства состоящим из нескольких слоев с различными параметрами грунтов. Гетерогенные свойства грунтов и толщины слоев могут быть определены положением в плане. Существуют три возможности задания распределения свойств грунта в плане:

1. Неизменный профиль грунта во всех точках
2. Билинейная интерполяция отдельной системы содержащей дискретную модель грунта
3. Интерполяция профиля по скважинам с использованием весовых функций

Матрица жесткости не обязательно должна быть полной для осуществления расчета. Таким образом, влиянием точек, достаточно удаленных друг от друга (например при превышении расстоянием некоторого определенного значения), возможно пренебречь для сокращения времени расчета.

В базовой версии модуль HASE решает задачи полупространства для плоских плитных конструкций. Расчет характеристик полупространства для пространственных систем доступен только в расширенной версии программы

.

## 2. Теоретические основы

### 2.1 Общая информация

Сооружения обычно возводятся на достаточно жестких основаниях. В зависимости от конкретного значения жесткости, нагрузки от зданий могут вызвать значительные осадки близлежащих фундаментов.

При расчете сооружений для прогнозирования поведения его основания существуют две различные модели:

#### 1. Гипотеза Винклера

Предполагается что элементы основания упруго опираются на среду с постоянным коэффициентом Винклера (в  $\text{MN}/\text{m}^3$ ). При постоянном равномерно-распределенном поверхностном давлении на основание с постоянными в плане характеристиками, возникают равномерные осадки и, следовательно, не возникают дополнительные усилия в конструкции здания.

#### 2. Метод с использованием коэффициента жесткости

Эта модель позволяет осуществить учет сдвиговых деформаций в грунте. Точечная нагрузка на поверхность вызывает напряжения и деформации в окружающем грунте, и приводит к формированию плавной впадины, вершина которой находится в месте приложения нагрузки. Постоянное поверхностное давление вызывает округлую впадину, которая приводит к появлению напряжений в основании здания и его верхней части.

По причине того, что эта модель является более точной, в НАСЕ для расчетов применяется метод с использованием коэффициента жесткости,

Программа первоначально формирует матрицу податливости, которая описывает смещение точки  $i$  из-за силы, приложенной к поверхности полупространства в точке  $j$ . Матрица жесткости рассчитывается как обратная матрице податливости.

Весь расчет включает пять основных этапов:

1. Расчет расположения элементов грунтового массива в плане
2. Расчет матрицы податливости
3. Обращение матрицы податливости и сохранение матрицы жесткости
4. Статический расчет включая элементы сооружения
5. Определение напряжений в грунте в соответствии с рассчитанными перемещениями.

Шаги 1,2,3 и 5 выполняются модулем HASE. Третий шаг является наиболее затратным с точки зрения потраченного времени на расчет, на него приходится более чем 90% от всего времени расчета. Однако, для данной системы, шаг 3 должен быть посчитан только один раз. Результирующая матрица жесткости может быть использована для любой произвольной статической системы, с тех пор как полупространство сопряжено с сооружением при помощи номеров узлов, определенных глобально.

Для анализа полупространства с малой или разреженной матрицей жесткости, шаг 3 не обязательно должен осуществляться с помощью HASE.

Требования:

- анализ каждого нагружения по отдельности в ASE с помощью SYST PROB NONL и STEX NONL 1

В таком случае ASE должен итеративно получить жесткость исходя из характеристик полупространства, но в то же время может использоваться более эффективный решатель на основе разреженных матриц, что позволяет получать решение гораздо быстрее для больших систем. В таком случае, инверсия матрицы податливости в HASE может быть отключена с помощью записи CTRL SOLV NONL, так как матрица податливости не используется.

Пример: *hase2.dat*

Ранее созданная матрица жесткости полупространства может быть повторно использована после изменения основной системы. Новый расчет матрицы жесткости необходим только в том случае, когда были изменены координаты или нумерация узлов, соединяющих основную систему и полупространство.

## **2.2. Профиль грунта**

Профили грунта определяются с помощью записей BORE, BBAX, BBLA и BLAY, или во время определения поперечного сечения. При задании в записи BBAX, параметры K0...K1...K2...K3 используются в качестве модулей жесткости. Начальная глубина должна соответствовать поверхности полупространства (команда HALF команда Z). В противном случае появится сообщение об ошибке. Если указана запись BLAY совместно с модулем упругости и коэффициентом Пуассона, то расчет выполняется с использованием метода Буссинеска.

### 2.3. Распределение грунта в плане

Существует три возможности для задания распределения грунта в плане:

1. Неизменный профиль грунта во всех точках
2. Билинейная интерполяция отдельной системы содержащей дискретную модель грунта
3. Интерполяция профиля по скважинам с использованием весовых функций

В случае 2 необходимо задать произвольную сетку четырехузловых элементов (вторичная система). Контуры грунта определяются положением узлов этой вторичной сетки. Характеристики грунта затем билинейно интерполируются из четырехузловых элементов вторичной системы в узлы сооружения в основной системе (узел сооружения  $A$  расположен в четырехузловом элементе  $X$  вторичной системы; характеристики грунта точки  $A$  определены из четырех угловых профилей элемента  $X$ ). В таком случае легко может быть задано неравномерное распределение грунта. Также, распределение грунта не зависит от нумерации элементов и организации расчетной модели в основной системе.

В случае 3 вертикальные профили грунта определяются по координатам от  $X_0, Y_0$  до  $X_n, Y_n$ . Далее, характеристики грунта узлов рассчитываются как суперпозиция свойств всех профилей с умножением на весовой коэффициент  $EP$ , заданный в команде HALF. Как правило, чем ближе профиль, тем сильнее его влияние на узел (расстояние  $EP$ )

$$c = \sum \left( \frac{1}{R_i} \right)^{EP} \cdot c_i$$

С помощью этого метода, переменное разделение профиля грунта может быть быстро реализовано без необходимости вторичной сетки. Записи исходных данных с информацией о грунтовых профилях могут быть легко получены на основании отчета о геологических изысканиях.

При задании характеристик грунтов, изменяющихся в плане число слоев должно быть постоянным для всех профилей. Толщина каждого слоя, в то же время, может изменяться. Значения  $K_0, K_1, K_2$  и  $K_3$ , также как и толщины слоев после интерполируются согласно случаю 2 или 3.

При значительном различии в жесткости двух прилегающих друг к другу слоев грунта могут возникнуть проблемы численного характера. В таком случае теория полупространства не применима и выводится сообщение об ошибке.



## 2.4. Напряжения в полупространстве

### 2.4.1. Метод в соответствии с Grundbautaschenbuch [1]

Напряжения в полупространстве при действии нагрузки рассчитываются с использованием классической теории полупространства.

Нагрузки распределены по узлам над ранее заданной областью загрузки с центром в узле. Предполагается, что область загрузки для каждого узла является окружностью с радиусом  $r$ . Радиусы загрузки для узлов определяются автоматически путем суммирования по участкам областей для каждого из смежных прямоугольных элементов. Для рамных и балочных систем, соответственные радиусы загрузки (размеры фундаментов) должны задаваться вручную. Для свай, радиус загрузки определяется на основании данных о поперечном сечении сваи.

Напряжения под точкой приложения нагрузки рассчитываются с помощью [1, стр. 178], для случая равномерно распределенной кольцевой нагрузки:

$$\sigma_z = \sigma_0 - \sigma_0 \left( \frac{1}{1+r^2/z^2} \right)^{3/2} \quad (2)$$

Для того чтобы определить напряжения в непосредственной близости точки загрузки, нагрузка рассматривается как точечная нагрузка [1, стр. 169]:

$$\sigma_z = \frac{3Pz^3}{2\pi R^5} \quad (3)$$

Нагрузки внутри полупространства, возникающие под лбом сваи или по поверхности сваи за счет трения учитываются в соответствии с [1, стр. 195]. В общем случае, эта формула выдает некоторые растягивающие напряжения в полупространстве (смотри команды PILE, XPIL).

Напряжения на любой глубине полупространства могут быть сохранены и представлены графически с помощью команды SELP.

Этот метод включается следующим вводом AQUA:

```

PROG AQUA
...
BORE ...
BBAX KO ...

```

ПСС

## 2.4.2. Метод Буссинеска

При расчете с использованием метода Буссинеска, пользователь указывает модули упругости и коэффициенты Пуассона (AQUA-BLAY) вместо модулей жесткости. Этот метод в особенности подходит для недренированных глин с высоким коэффициентом Пуассона. При расчете осадок учитывается сумма главных напряжений, а следовательно учитываются и горизонтальные напряжения. Для глин с коэффициентом Пуассона близким к 0,5, этот метод дает наиболее реалистичные осадки.

Метод Буссинеска активируется с помощью следующего ввода данных AQUA:

```
PROG AQUA
...
BORE ...
BLAY ...
```

Пример: *hase13\_Boussinesq.dat*

## 2.5. Деформации в полупространстве

Напряжения, изменяющиеся по глубине делятся на изменяющиеся значения модуля жесткости, после чего интегрируются численно по толще полупространства. Результатом являются деформации поверхности полупространства, а при указании A USP так же деформации слоев, расположенных в толще полупространства с заданным интервалом.

## 2.6. Горизонтальная жесткость

В дополнение к вертикальной жесткости, обычно используемой для описания полупространства, также может быть рассчитана и сохранена горизонтальная жесткость. Эта жесткость может использоваться для ограничения горизонтальных перемещений расчетной схемы и должна быть задана в случае, если нет других ограничений горизонтальных перемещений.

Горизонтальная жесткость определяется как доля от вертикальной жесткости. Если в записи HALF не указано соответствующее значение, то никакой горизонтальной жесткости не сохраняется.

Расчет пространственных систем возможен только в расширенной версии модуля НАСЕ.

## 2.7. Сваи в полупространстве

### 2.7.1. Команда PILE

При расчете матрицы жесткости могут быть учтены сваи, располагающиеся на поверхности полупространства. В линейном расчете подразумевается что боковой поверхностью сваи воспринимается MANT от общей нагрузки на сваю (параметр MANT записи PILE), в то время, как оставшаяся часть приходится на сопротивление по лбу сваи.

Часть нагрузки, воспринимаемая за счет трения по боковой поверхности равномерно распределяется соответственно жесткости грунта вдоль сваи и численно интегрируется.

Нагрузки приложенные к поверхности полупространства учитываются в соответствии с [1, стр. 195].

Сваи в полупространстве могут быть рассчитаны только в расширенной версии модуля HASE.

### 2.7.2. Запись XPIL

Сваи определяются как стержневые элементы в системе, располагающейся ниже поверхности полупространства. В модуле HASE, жесткость для всех узлов балки определяется с использованием формулы [1, стр. 195].

## 2.8. Ограничения и время расчета

Должны быть соблюдены следующие ограничения:

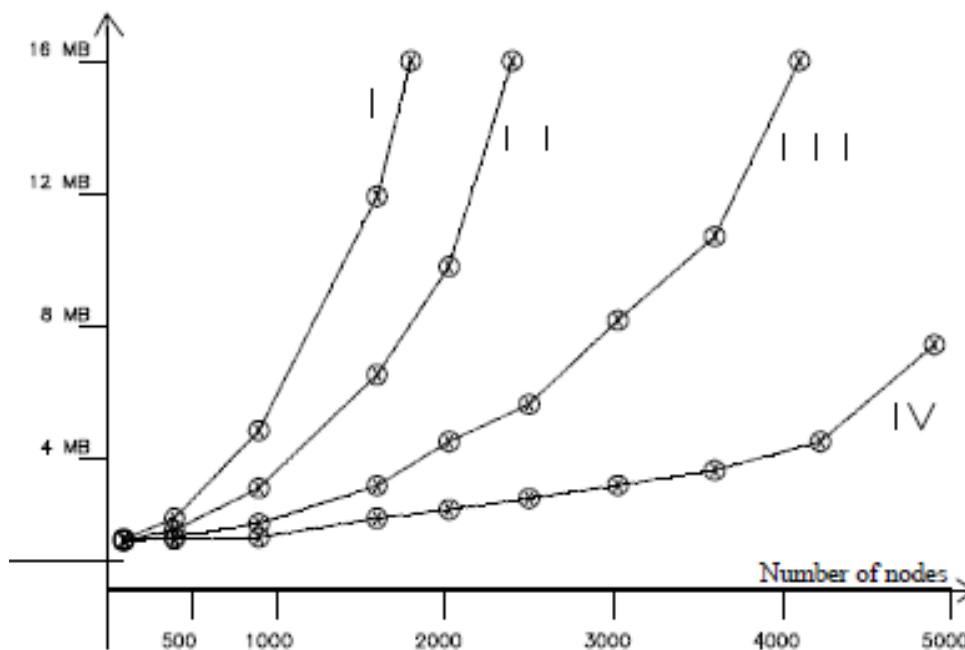
Число профилей:	999
Число узлов:	999999
Номера узлов:	999999

Дальнейшие ограничения налагаются HASE, а так же также компьютерным оборудованием.

Матрица жесткости должна быть определена обращением матрицы податливости. В этом случае, система уравнений должна быть решена  $n$  раз (где  $n$  — количество узлов в полупространстве). В ASE система уравнений должна быть решена для загрузки только 1 раз, но для  $m$  неизвестных (для плиты это  $m=3*n$ , так как каждый узел имеет 3 неизвестных перемещения).

Из-за того что обращение матрицы требует значительного использования центрального процессора, оно выполняется только в ядре (т. е. только в основной оперативной памяти). Таким образом, количество узлов которое может быть учтено при расчете, зависит от размера доступной основной памяти. Это также зависит от размера системы уравнений. Требования к количеству доступной памяти могут быть снижены понижением радиуса

влияния с помощью записи CTRL INFL. Уменьшение радиуса влияния соответственно снижает время расчета. Потребности в количестве оперативной памяти могут быть оценены по следующей диаграмме. Кривые I... IV соответствуют различным радиусам влияния:



### Требования к памяти

Кривая I: Радиус влияния = 999м

Кривая II: Радиус влияния = 30% размера системы

Кривая III: Радиус влияния = 10% размера системы

Кривая IV: Радиус влияния = 3% размера системы

### Пример:

Квадратная плита 16x16м заданная сеткой 40x40 элементов (41x41=1681 узел) требует приблизительно в 6... 7Мб оперативной памяти при радиусе влияния 4,80м (=30% от 16м). При доступных 4Мб основной памяти могут быть решены задачи с максимальным радиусом влияния равным примерно 3,00м.

## **2.9. Файлы и сопряжение с расчетными модулями**

Жесткость полупространства сохраняется HASE в файле PROJECT.\$E2.

При запуске последующих статических модулей (ASE, SEPP или STAR2) этот файл \$E2 считывается с помощью записи STEX. Жесткость верхней части здания затем сопоставляется с матрицей жесткости полупространства для формирования полной матрицы жесткости. Система уравнений решается и сохраняется как PROJECT.\$D1.

По умолчанию аргументом для записи STEX является PROJECT.\$E2, поэтому как правило достаточно указывать STEX без аргумента. Поскольку нумерация узлов полупространства осуществляется отдельно, альтернативно может быть указан любой другой файл с расширением \$E2.

В последующих статических расчетах загрузки могут быть быстро вычислены без необходимости в пересчете системы уравнений. Команда STEX должна быть указана только один раз для множественных загрузок. Выбор групп элементов не допускается. Если параметры материалов или похожие значения, используемые как исходные данные для HASE изменяются, система уравнений должна быть составлена и решена заново в модуле HASE.

## **2.10. Литература**

[1] Ulrich Smolczyk (1980) Grundbau Taschenbuch 3. Auflage Teil 1, Wilhelm Ernst&Sohn

### 3. Входные данные

#### 3.1. Язык входных данных

Модуль HASE использует язык входных данных CADINP, описание которого доступно в общем руководстве SOFiSTiK.

#### 3.2. Записи входных данных

Ранее определенные характеристики материалов могут быть модифицированы в HASE.

Входные данные упорядочены в виде блоков, заканчивающихся записью END. В каждом блоке могут быть проанализированы отдельная система или загрузка. Программа заканчивает работу по достижении пустого (END/END) блока.

Определены следующие записи.

Записи	Пункты									
CTRL	OPT	VAL								
HALF	TYPE	PROF	EP	Z	FAKX	FAKY	FAKZ	NAME	ZMAX	
BORE	NO									
PILE	X	Y	D0	D	Z	MANT	ZMAN	PMAM	PMAF	
	MNO	TITL								
XPIL	GRP	FOOT								
PLAS	PMAX									
LOAR	NO	R								
LC	NO	NAME	TITL	STVZ						
LOAD	NO	PZ								
SELE	NO	Z								
SELP	Z	LCST	BRIC							
ECHO	OPT	VAL								

Записи HEAD, END и PAGE описаны в общем руководстве пользователя SOFiSTiK.

Смотри также: HALF PLAS

### 3.3. CTRL - Контрольные параметры расчета

Команда	Описание	Ед. изм.	По умолч.
OPT	Контрольный параметр	LIT	-
	INFL Радиус влияния для сокращения ширины матрицы		
	TOLS Нижняя граница учитываемой жесткости		
	GAUS Число точек Гаусса на слой интегрирования		
	SOLV Выполнять проверку памяти		
	FAKU Игнорировать растяжение, вызванное усилиями в сваях		
	WARN Выключение сообщений об ошибках		
VAL	Значение параметра	-	-

**INFL** Узлы, удаленные на расстояние, превышающее INFL [м] друг от друга не оказывают влияния друг на друга. С помощью этой опции время расчета может быть радикально сокращено для больших систем.  
По умолчанию INFL = 999м.

**TOLS** Значения жесткости более чем в TOLS раз меньше максимальной жесткости не сохраняются, а заменяются нулевыми.  
По умолчанию: TOLS = 1E6

**GAUS** Количество точек Гаусса на слой интегрирования. Модуль HASE автоматически разбивает толстые слои грунта на более тонкие для обеспечения более точного интегрирования деформаций в зависимости от величины напряжений. Более тонкое деление этих слоев интегрирования приводит, в большинстве случаев, лишь к незначительному (несколько процентов) повышению точности.  
По умолчанию: GAUS =1; максимальное значение: GAUS =3.

**SOLV** Расчет может быть отключен при помощи параметра SOLV 0. В таком случае единственная цель расчета — определение и отображение требуемого объема оперативной памяти. SOLV может быть использован для определения максимального значения радиуса влияния INFL, который позволяет выполнить расчет при заданном объеме памяти. Кроме того, при использовании параметра SOLV 0 могут быть изменены параметры нелинейного расчета программы ASE (см. запись PLAS).

Для использования ASE при выполнении расчета (рекомендуется только для расчетов с небольшими или разреженными матрицами жесткости), инверсия матрицы податливости в HASE может быть отключена при помощи CTRL SOLV NONL.

**FAKU** Сваи в полупространстве.

Если свая опирается на несущий жесткий слой, то передача нагрузки происходит в направлении вниз, без частичного восприятия усилия за счет растягивающих напряжений в грунте (как предполагается в уравнении [1] для нагрузки, действующей в полупространстве). На основе грунтового профиля (доступная фактическая жесткость), HASE автоматически определяет, какая доля нагрузки от свай будет передана непосредственно вниз. Далее эта часть нагрузки не вызывает растяжения в лежащей выше области полупространства. Она выводится как “faku” таблице с параметрами свай. Для особых случаев минимальное значение может быть задано при помощи FAKU — когда установлен параметр CTRL FAKU 1, то усилие в свае (включая силы трения по поверхности свай) полностью передается на нижележащую область полупространства как сжимающее.

ПСС



Смотри также: CTRL LOAR LC LOAD PLAS

### 3.4. HALF — Задание полупространства

Команда	Описание	Ед. изм.	По умолч.
TYPE	Распределение характеристик жесткости основания в плане  CONS Постоянный профиль по всей поверхности QUAD Профиль определяется вторичной сеткой четырехузловых КЭ COOR Интерполяция по координатам скважин с использованием весовых коэффициентов EP	LIT	CONS
PROF	Номер профиля (скважины)	-	1
EP	Весовой коэффициент (только для TYPE COOR)	-	1,5
Z	Поверхность полупространства в глобальной системе	м	0
FAKX	Коэффициент жесткости в направлении X	-	0,4
FAKY	Коэффициент жесткости в направлении Y	-	0,4
FAKZ	Коэффициент жесткости в направлении Z	-	1
NAME	Имя базы данных, содержащей вторичную сетку КЭ	LIT32	-
ZMAX	Допуск расположения узлов поверхности	м	0

Для TYPE CONS толщина слоев полупространства в плане постоянна, причем каждый слой содержит неизменные параметры материала.

Для TYPE QUAD, произвольное распределение слоев в плане может быть задано при помощи вторичной системы четырехузловых конечных элементов. Для TYPE COOR, переменный профиль может быть определен на основе итерполяции по скважинам (см. главу 2.3: Распределение грунта в плане).

Жесткость в горизонтальном направлении может быть учтена коэффициентами  $FAKX$  и  $FAKY$  (см. главу 2.6: Горизонтальная жесткость).

При указании значения  $ZMAX$  не равного  $Z$ , все считываемые узлы от  $Z$  до  $ZMAX$  принимаются в качестве узлов на поверхности полупространства. Таким способом может быть задана наклонная поверхность полупространства. Тем не менее, при расчете напряжения определяются в предположении горизонтальной поверхности полупространства, изменение высоты поверхности не учитывается.



ЛСС

Смотрите также: HALF

### **3.5. BORE — Выбор профилей скважин**

Команда	Описание	Ед. изм.	По умолч.
NO	Номера выбранных профилей скважин	-	!

Запись BORE может быть использована для выбора профилей скважин для интерполяции координат скважин с использованием весовых коэффициентов, указанных в качестве значения параметра COOR в записи HALF. Если запись BORE не определена, все профили скважин будут использоваться при интерполяции.

Смотрите также: PLAS

### 3.6. PILE — Сваи в полупространстве

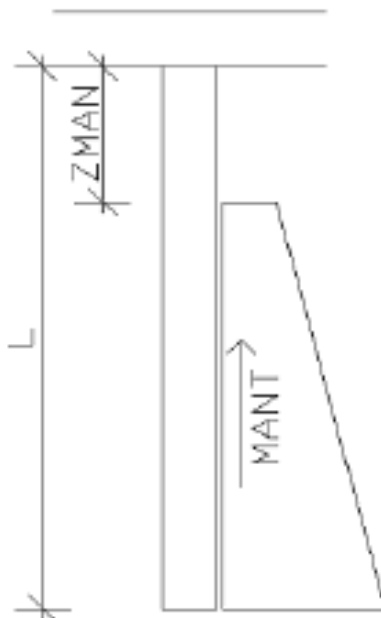
Команда	Описание	Ед. изм.	По умолч.
X	Координаты сваи или номер узла с $X=NNO$ и	м	!
Y	$Y$ =номер узла	м	!
D0	Диаметр сваи	м	D
D	Диаметр конца (лба) сваи Эффективные напряжения при осадке определяются непосредственно под лбом сваи с использованием этого значения	м	! / $1.5 \cdot D0$
Z	Координата конца сваи	м	!
MANT	Доля нагрузки от сваи, передающаяся на грунт как трение по боковой поверхности	-	0.50
ZMAN	Координата Z, с которой начинается учитывать трение по боковой поверхности. По умолчанию: 25% от длины сваи, начиная от поверхности, считаются неактивными.	м	*
PMAM	Максимальная нагрузка, передающаяся за счет трения по боковой поверхности	кН	-
PMAF	Максимальная нагрузка, передающаяся под концом сваи. PMAM, PMAF применяется только для нелинейных расчетов- см. запись PLAS	кН	-
MNO	Номер материала сваи	-	-
TITL	Обозначение сваи	LIT16	-

Запись PILE доступна только в расширенной версии HASE (HASE-3D).

Сваи оказывают влияние на коэффициенты жесткости, вычисленные для узлов на поверхности полупространства. При линейном расчете предполагается, что полная нагрузка от сваи передается на грунт за счет трения по боковой поверхности (соответственно значению MANT) и сопротивления грунта под лбом сваи. В нелинейном расчете нагрузки аналогичным образом передаются на грунт, но с условием, чтобы предельные значения, заданные в PMAM/PMAF, не превышались.

Трение по боковой поверхности распределяется по длине сваи относительно

жесткости грунта, начиная с глубины ZMAN, и затем численно интегрируется. При помощи записи ZMAN можно моделировать ситуацию, при которой любое усилие передается сваей на грунт непосредственно под плитой из-за малых относительных перемещений на небольших глубинах.



Передача нагрузки происходит внутри полупространства в соответствии с: [1, стр 195] в соответствии с решением Midlin для полупространства. Это разделяет нагрузку в полупространстве на расположенный ниже компонент сжимающих напряжений и расположенный выше компонент растягивающих напряжений.

Сжатие сваи учитывается при расчете как  $\delta l = N \cdot l / EA$  во время расчета осадок. Точное распределение нормальных усилий используется здесь с использованием фиксированного значения модуля упругости бетона  $28000 \text{ МН/м}^2$  (С30/37). Площадь  $A$  поверхности бетона рассчитывается исходя из диаметра.

Если для сваи указан номер материала, при расчете используется модуль упругости этого материала (например, для вибропогружаемых свай). Если номер материала не указан, в расчете используется значение модуля упругости  $28000 \text{ МН/м}^2$ .

Дополнительные описания параметров нелинейных расчетов приведены в записи PLAS.

Смотри также: PILE

### 3.7. XPIL — Расширенные параметры свай

Команда	Описание	Ед. изм.	По умолч.
GRP	Номер группы ALL Все группы активны	LIT	!
FOOT	Радиус конца сваи. Отрицательные значения воспринимаются как множитель к радиусу сваи	м	-1.4

В HASE возможно непосредственно учитывать взаимодействие грунтового массива и свайного основания, модель которого представлена дискретными стержневыми элементами, являющимися частью структуры. Запись XPIL может быть использована для указания групп стержней, жесткость которых должна быть вычислена с учетом нахождения в полупространстве. В отличие от возможностей записи PILE, которая сводит суммарное воздействие к сосредоточенной в точке, где свая соединяется с конструкцией, жесткости каждый узел в составе сваи отражает действительные степени свободы в пределах полупространства. Это позволяет определять характеристики упругого основания на всем протяжении сваи.

Если группа не указана, то все узлы стержней, расположенные ниже поверхности полупространства будут рассматриваться как XPIL узлы. Если активизируются только определенные группы свай, то они могут быть указаны в записи GRP.

Для имитации эффекта дополнительной жесткости в конце сваи, диаметр конца сваи (положительный) может быть указан в качестве значения параметра FOOT. Кроме того, диаметр конца сваи может быть указан кратным диаметру сваи (когда диаметр сваи рассчитывается как эквивалентный в зависимости от площади поперечного сечения сваи), в этом случае значение параметра FOOT отмечается знаком минус. Значение по умолчанию в 1.4 раз более диаметра сваи (FOOT=-1.4).

Характеристики упругого основания сваи (жесткость) всегда определяются на основании данных о грунтовых профилях. Если необходим учет дополнительных нелинейных эффектов основания, это возможно за счет:

- Определения грунтовых профилей, содержащих требуемую информацию (см. ниже);
- Назначение этих профилей для соответствующих свай при формировании расчетной модели.

При выполнении нелинейного анализа в сочетании с ASE могут быть учтены следующие нелинейные характеристики свай:

- Максимальное трение по боковой поверхности вдоль сваи CO (см. AQUA, запись BBAX)
- Максимальная осевая нагрузка на сваю PMAX (см. AQUA, запись BBAX)
- Максимальное поперечное сжатие PMA1 и PMA2 (см. AQUA, запись BBLA).

Ниже приведен фрагмент из примера *kpp1.dat*.

```
PROG AQUA
HEAD Materials and cross sections
. . .
$ Piles
BORE 1 NZ 1 TITL 'Bohrprofil Pile'
BBAX S1 0 S2 100 K0 1 CO #qs1 PMAX #Pfmax $ Currently a dummy value >0 must
$ be assigned to K0
$ Soil
BORE 2 X 0 Y 0 Z 0 NZ 1 TITL 'Bohrprofil Soil'
BBAX S1 0 S2 100 K0 #Es
. . .
END
- - -
PROG HASE
HEAD Half space calculation
HALF TYPE COOR FAKX 1.0 FAKY 1.0 Z 0.0
BORE 2
PLAS PMAX #sighs $ Maximum half-space stress
CTRL SOLV NONL
$ XPIL GRP ALL FOOT -1.4 $ Record XPIL is required only when GRP and FOOT are
$ different from the default ones.
END
```

Другие примеры приведены в *hase21\_kpp\_extended\_piles.dat* и *kpp3b.dat*.

ПССС

Смотри также: CTRL HALF PILE

### 3.8. PLAS — Учет пластичности грунта

Команда	Описание	Ед. изм.	По умолч.
PMAX	Максимальное давление на полупространство	кН/м <sup>2</sup>	-

#### Нелинейные расчеты полупространства:

Модуль ASE может быть использован для расчетов с отрывом плиты от грунта при нелинейном расчете, а также учитывающих возникновение пластических деформаций под краями плиты и узлами свай.

Запись PLAS может быть использована для указания значения максимального давления на поверхности грунта PMAX в кН/м<sup>2</sup> для фундаментной плиты (которое будет учитываться по всей площади полупространства). Указываемое значение представляет собой положительное сжимающее напряжение.

При нелинейном расчете в ASE могут быть указаны следующие параметры:

- Для узлов полупространства:

Давление на основание не превышает PMAX (запись PLAS);

Под фундаментом не возникает растягивающих напряжений;

- Для узлов свай:

Усилия в сваях не превышают  $P_{MAX} = P_{MAM} + P_{MAF}$  (запись PILE)

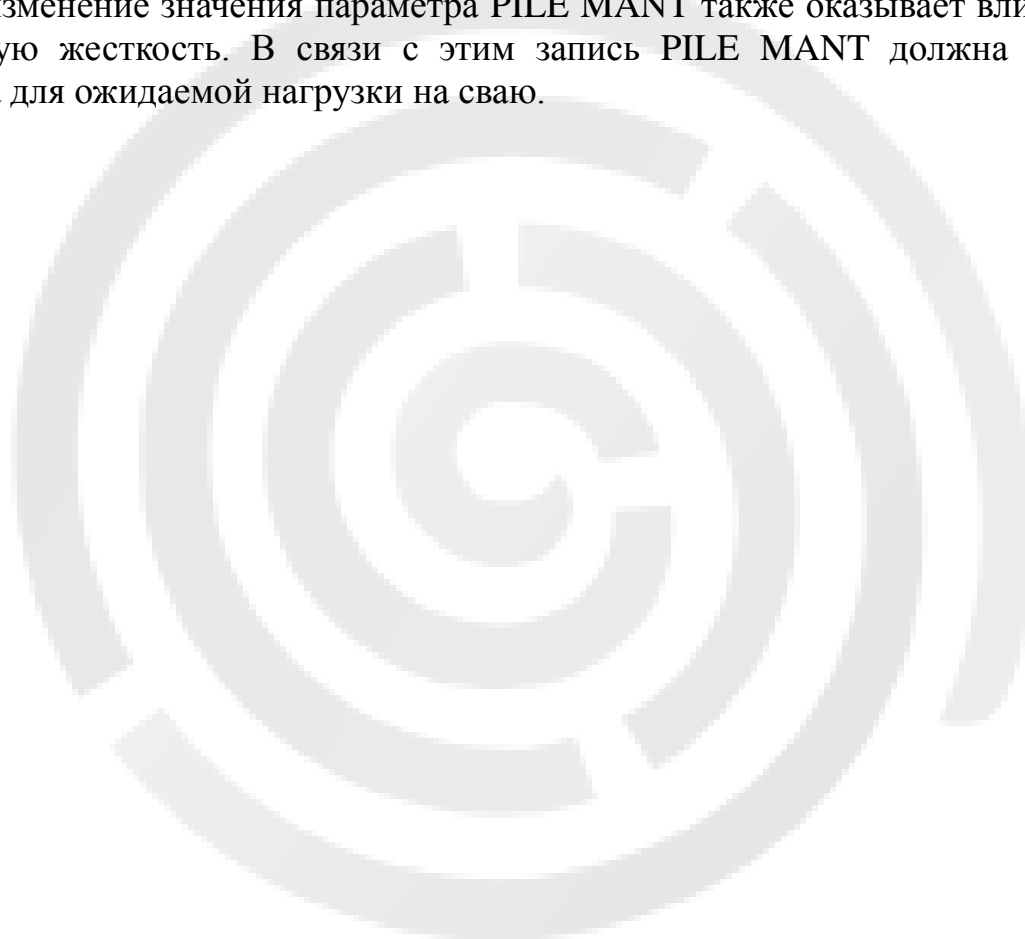
Растягивающие усилия допустимы, но ограничены PMAX (сваи, работающие на растяжение).

Если максимальное усилие под концом сваи PMAF или максимальное боковое трение PMAM возникает до достижения максимального полного усилия в свае  $P_{MAX} = P_{MAM} + P_{MAF}$  (если параметр MANT не указан как соотношение  $P_{MAM}/P_{MAX}$ ), учет пластичности в ASE будет осуществляться начиная с этого условия нагружения. Деформации сваи, таким образом, будут расти непропорционально исходному линейному состоянию. Если сила в свае достигает значения PMAX, с этого момента свая будет вдавливаться в грунт.



Анализ чувствительности:

Если изменены только нелинейные параметры в записи PLAS PMAX или PILE PMAM PMAF, то они могут быть переданы в базу данных с помощью записи CTRL SOLV 0 в блоке модуля HASE без нового перерасчета линейной матрицы жесткости полупространства (файл *project.\$e2*). Затем в модуле ASE может быть выполнен нелинейный расчет с учетом изменившихся данных. Тем не менее, изменение значения параметра PILE MANT также оказывает влияние на линейную жесткость. В связи с этим запись PILE MANT должна быть определена для ожидаемой нагрузки на сваю.



Л С С

Смотри также: HALF

### 3.9. LOAR – Радиус загрузки

Команда	Описание	Ед. изм.	По умолч.
NO	<p>Номер узла</p> <p>ALL минимальный радиус нагрузки для всех узлов определяется по R.</p> <p>По умолчанию: 0.01м</p> <p>BEAM минимальный радиус нагрузки для узлов стержней определяется по R.</p> <p>По умолчанию: 0.25м</p>	ЛИТ	1
R	Радиус загрузки	м	!

Смотри также: HALF LOAD

### 3.10. LC — Загрузка

Команда	Описание	Ед. изм.	По умолч.
NO	Номер загрузки	-	1
NAME	Название базы данных с результатами	LIT32	*
TITL	Наименование загрузки	LIT24	*
STVZ	Номер загрузки для хранения перемещений u-z поверхности полупространства	-	1

По умолчанию в качестве значения параметра NAME используется текущее имя проекта. Тем не менее, результаты вычислений могут также использоваться другой базой данных. Тогда используются опорные реакции из внешней базы данных. Сопоставление данных осуществляется за счет внешней нумерации узлов.

С помощью параметра TITL загрузке может быть присвоено новое наименование. Это может быть полезно, если результаты переданы из внешних баз данных (по умолчанию используется выбранное там обозначение). Указание параметра TITL необходимо для независимого расчета осадки.

Существуют два режима расчета:

#### 1. LC без указания записи LOAD: расчет полупространства

Программа использует загрузки, рассчитанные с помощью модулей статического расчета и оценивает напряжения на основании нагрузок на полупространство, определенных с помощью модулей статического анализа (опорных реакций модели).

Характеристики полупространства должны быть предварительно вычислены и прочитаны в предшествующем блоке модуля HASE. Указание записи HALF в этом случае не допускается.

Давление под подошвой фундамента по умолчанию хранится в базе данных и может быть отображено в графическом виде. Если в дополнение к характеристикам полупространства заданы характеристики упругого основания четырехузловых конечных элементов, то хранение давления под фундаментом не возможно из-за возможного конфликта.

## 2. LC с последующей записью LOAD: расчет полупространства

Выполняется независимый расчет осадки. Полупространство должно быть определено записью HALF. Нагрузки на узлы должны быть определены с записью LOAD. Перемещения из этого расчета сохраняются с номером загрузки для графического отображения. Если загрузка с таким номером ранее существовало, то оно удаляется. Если указано значение NO=0, то ничего не сохраняется.

### О записи STVZ:

Для нелинейных расчетов в HASE (режим расчета 1), перемещения u-z в полупространстве могут быть сохранены в отдельное загрузку при помощи параметра LC...STVZ. При нелинейном расчете эти перемещения отличаются от перемещений нижнего края фундаментной плиты (перемещения из модуля ASE), поскольку в нелинейной задаче фундаментная плита может отрываться при возникновении растягивающих напряжений или может продавливаться в пластичный грунт. Пример *hase9.dat*: 'bottom plate non-linear lift and plasticizing' отражает возможности применения и содержит сравнение величин перемещений при помощи модуля WING.

Смотри также: HALF LC

### 3.11. LOAD — Сосредоточенные нагрузки

Команда	Описание	Ед. изм.	По умолч.
NO	Номер узла, в который устанавливается нагрузка	-	!
PZ	Величина нагрузки в направлении Z	кН	0

Для указания нагрузки при помощи записи LOAD выполняется отдельный расчет осадок (см. запись LC). Нагрузки интерпретируются как внешние (ненапряженные) нагрузки на полупространство. Жесткости вышележащей системы конечных элементов не рассматриваются. Если загрузка с тем же номером существует, то оно будет удалено.

Отдельный расчет осадок, который возможно использовать для тестирования, выполняется при указании номера узла NO равным 0, что равносильно приложению равномерно-распределенной нагрузки для всех четырехугольных элементов на поверхности полупространства.

Например:

```
LC 101; LOAD NO 0 PZ 1.0
```

ПСС

Смотри также: SELP

### 3.12. SELE — Выбор результатов

Команда	Описание	Ед. изм.	По умолч.
NO	Номер узла Если значение NO не указано, то координата $z$ рассчитывается для всех точек	-	-
Z	Рассматриваемая глубина заложения	м	0

Без указания глубины  $Z$ , напряжения выводятся на всех границах слоев. По умолчанию (без уточнения параметров записи SELE) возвращаются напряжения на границах слоев для всех узлов.

Смотри также: SELE

### 3.13. SELP — Выбор печатного представления

Команда	Описание	Ед. изм.	По умолч.
Z	Глубина, в пределах которой сохраняются данные	м	!
LCST	Номера загрузок для сохранения	-	!
BRIC	Имя файла для вновь создаваемой базы данных	LIT32	*

#### Применение:

При указании

```
SELP Z 5.0 LCST 1001
```

напряжения рассчитываются в полупространстве на глубине до 5,0м и сохраняются в качестве напряжений в основании четырехузловых конечных элементов в загрузку с номером 101. Далее, при использовании модуля WING, значения могут быть представлены в виде контурных линий, например (LC 101; CONT P), при указании записи

```
SELP Z (2 20 2) LCST (102 2) BRIC file
```

создается новый файл *file.cdb* в дополнение к результатам для LCST. Этот файл содержит объемные элементы с напряжениями в узлах.

Если в записи указывается только номер загрузки LCST без параметра глубины Z, то номера загрузок автоматически увеличиваются. Таким образом, несколько LC загрузок могут быть проанализированы за один раз, создавая  $n_{LC} * n_{depth}$  загрузок.

Имя файла для вывода объемных напряжений полупространства может быть указано в отдельной строке без ввода значения параметра глубины Z.

### 3.14. ECHO — Управление выводом

Команда	Описание	Ед. изм.	По умолч.
OPT	Литеры из следующего списка: PROF Характеристики грунтовых профилей PILE Свайные элементы NODE Узловые значения, радиусы загрузки ELEM Элементы STRE Напряжения DISP Перемещения HALF Значения характеристик полупространства NPRO Характеристики грунтовых профилей в узлах LOAD Нагрузки BEDD Сохранение напряжений в основании STAT Статистические данные, время расчета FULL Все вышеуказанные опции	LIT	-
VAL	Параметры вывода: OFF не считать или не выводить NO Без вывода YES Обычный вывод FULL Расширенный вывод EXTR Максимально полный вывод	-LIT	FULL

По умолчанию установлены значения NO для опций PROF, NODE, ELEM и LOAD, значение YES устанавливается для всех остальных опций.

Соранение значений напряжений в основании может быть отключено при помощи ECHO BEDD OFF. Для тестовых целей опция ECHO BEDD 77 приводит к сохранению эквивалентного модуля жесткости основания (соотношение давление/деформация) как характеристики упругого основания, при этом наименование рисунка в WINGRAF будет неправильным.

Этой записи должно предшествовать его наименование ECHO, чтобы избежать путаницы с аргументами записей с аналогичными названиями.



## 4. Вывод результатов

### 4.1. Контрольный список профилей скважин

Профили выводятся только если были произведены изменения или вывод организован с помощью записи ECHO PROF. Таблица идентична программе AQUA.

Так же выводится таблица профилей скважин, используемых в расчетах. Профили скважин, выбранные в записи BORE отображаются здесь.

#### Используемые профили скважин

Profile	Номер профиля
Position X[m] Y [m]	Расположение профиля

### 4.2. Параметры грунтов в узлах

Используя параметры TYPE QUAD или TYPE COOR в записи HALF, могут быть выведены усредненные параметры грунтов в узлах. Эта опция может быть отключена при помощи ECHO NPRO NO.

#### ГРУНТОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ В УЗЛАХ

Node	Номера узлов
Depth [m]	Начальная глубина z данного слоя
Bottom	Конечная глубина последнего слоя
K0,K1,K2,K3 [МПа]	Модуль жесткости в МПа

ПСС

### 4.3. Параметры полупространства

Данная таблица выводится по умолчанию для каждого определения полупространства. Вывод может быть отключен при помощи ECHO HALF NO.

#### HALFSPACE

Soil profile	Номер грунтового профиля PROF из записи HALF
Number of layers	Число слоев из BLAY (программа AQUA)
Top-halfspace [m]	Глобальная координата Z
Min-load-radius [m]	Минимальный радиус загрузки из записи LOAR
Beam-load-radius [m]	Радиус по умолчанию для узлов стержней
Influence – radius [m]	Сокращение полосы пропускания матрицы жесткости
Direction of the Bedding (factor) X, Y, Z	Величина указывает процент от общей жесткости, сохраненной в направлении X, Y или Z
Contact area [m <sup>2</sup> ]	Сумма площадей для всех узлов
Total number nodes	Количество узлов сопряжения модели и полупространства
Active quad nodes	Количество узлов четырехузловых КЭ, найденных на поверхности полупространства
Active quad elements	Количество четырехузловых КЭ, найденных на поверхности полупространства (используется для определения радиуса нагрузки)
Active quad area [m <sup>2</sup> ]	Сумма площадей четырехузловых КЭ
Beams nodes	Количество узлов стержней
Maximum bedding Stress for non-linear Analysis	Максимальное напряжение на поверхности, определенное в записи PLAS в кН/м <sup>2</sup>

#### 4.4. Характеристики свай

Этот перечень характеристик свай может быть выведен при помощи записи ECHO PILE

##### PILE

Title	Наименование свай
X [m]	Координаты свай
Y [m]	
Node [-]	Номер узла
D-pile [m]	Диаметр свай
D-foot[m]	Диаметр конца свай
Z-foot [m]	Z-координата конца свай
Faku [0/0]	Процент усилия в свае, которое передается непосредственно вниз и не вызывает растягивающего напряжения выше (свая на жестком основании) в процентах
Mant [0/0]	Доля нагрузки в процентах, передающаяся за счет трения по боковой поверхности
z-mant [m]	Координата по Z, с которой начинает действовать трение по боковой поверхности
P-mant[kN]	Максимальная нагрузка, передающаяся за счет сил трения
P-foot [kN/m]	Максимальная нагрузка, передающаяся на грунт под концом свай

#### 4.5. Контрольный перечень узлов

Список узлов выводится только, если радиальная нагрузка была введена вручную, или если выход запросили при помощи ECHO NODE.

##### NODES

Number	Номер узла
X [m] Y [m] Z [m]	Координаты
Load radius [m]	Радиус загрузки $r$
Area [m <sup>2</sup> ]	Площадь $\pi \cdot r^2$
Contact numbers of the substructure	Номера узлов, связывающих полупространство с расчетной моделью

#### 4.6. Контрольный перечень нагрузок

Этот перечень выводится только при независимом расчете осадок. Для расчета

напряжений в случае загрузений больших 0 он может быть запрошен при помощи ECHO LOAD FULL.

### NODAL LOADS

Node	Номер узла
P-Z [kN]	Значение нагрузки

### 4.7. Результаты

Вывод перемещений может быть отключен при помощи ECHO DIP NO, вывод напряжений — при помощи ECHO STRE NO.

### STRESSES IN THE HALFSPACE

node	Номер узла
depth -z[m]	Глобальная координата Z (глубина)
-sig [kN/m <sup>2</sup> ]	Сжимающие напряжения положительны (1кПа=1кН/м <sup>2</sup> )
setting [mm]	Осадка поверхности

При неоднородном распределении грунта, могут иметь место различия в осадках по сравнению с результатами, полученными статическим расчетом, так как в формировании матрицы жесткости, профиль грунта в точке *i* влияет на осадку в точке *k*. На этапе постобработки, тем не менее, для расчета осадки используются только характеристики профиля для узла *k*.

ПСС

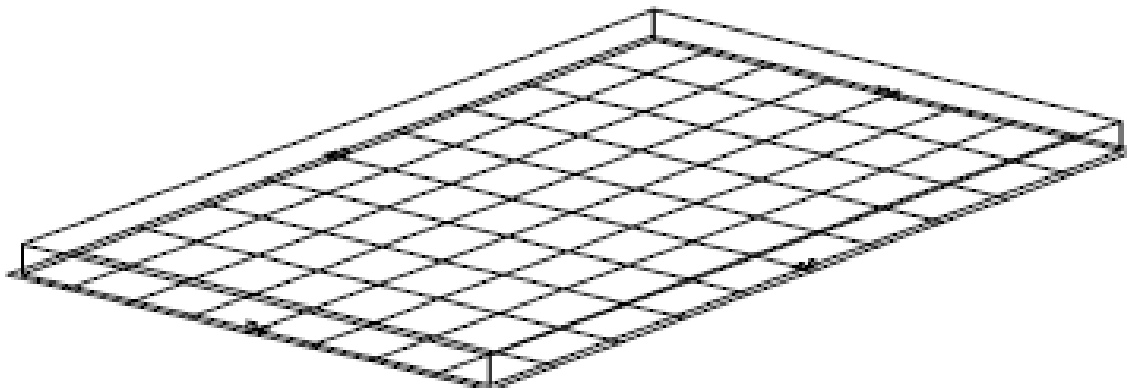
## 5. Примеры

Файлы входных данных для приведенных задач могут быть найдены в каталоге установки программы SOFiSTiK в подкаталоге hase.dat/english. Так же можно найти указанные примеры при помощи меню программы TEDDY HELP → Examples, упорядоченные по имени модуля и языку.

Для дополнительной справки в виде пособий, видео инструкций, учебных задач и практических примеров использования посетите информационный портал на нашем вебсайте ([www.sofistik.com/Infoportal](http://www.sofistik.com/Infoportal)). Примите во внимание, что ряд примеров, расположенных на информационном портале доступен только покупателям, заключившим контракт на обслуживание. Вы найдете необходимые имя пользователя и пароль доступа в последней служебной рассылке.

### 5.1. Плита основания рассчитывается методом коэффициента жесткости.

Опорная плита с размерами 6-10м дана с настенной нагрузкой рассматривается как нерастяжимая нагрузка. Опорная плита имеет толщину 30см.



#### Опорная плита с настенными нагрузками

Система считается как плита при помощи программы SEPP. Ввод считывает:

```

PROG AQUA
HEAD BASE PLATE - STIFFNESS COEFFICIENT METHOD
NORM DIN 1045-1
CONC 1 C 25
BORE 1
BBAX 0 1.20 k0 50000
BBAX 1.20 3.20 k0 12000
BBAX 3.20 5.20 k0 9000
BBAX 5.20 10.00 k0 90000
BBAX 10.00 - k0 200000
END

PROG SOFIMSHA
HEAD BASE PLATE - STIFFNESS COEFFICIENT METHOD
...
END

PROG HASE
HEAD
HALF TYPE CONS PROF 1
END

PROG SEPP
HEAD
STEX $(PROJECT)
LC 1 $ WITHOUT DEAD LOAD OF BASE PLATE, NOW RELEASING!
LILO XA YA DX DY PA PE
0.10 0.10 9.80 0.00 70 70
0.10 5.90 9.80 0.00 70 70
0.10 0.10 0.00 5.80 70 70
9.90 0.10 0.00 5.80 70 70
END

```

```

PROG HASE
HEAD STRESS ANALYSIS AT HALF SPACE
LC 1
SELE - 0
END

```

В первую очередь HASE запускает расчет и сохраняет жесткость полупространства на основе грунтового профиля 1, определенного ранее в AQUA. Текст выводится из HASE в таблице, описывающей характеристики полупространства:

#### Used Boreprofiles

Profile	position	X [m]	Y [m]
1		0.000	0.000

#### Halfspace

Soil- profil	number of layers	top-half- space[m]	min-load- radius[m]	beam-load radius[m]	influence- radius[m]
1	5	0.000	0.020	0.250	999.000

direction of the bedding total active active active  
(factor) number quad- quad- quad-  
X Y Z nodes nodes elements area[m<sup>2</sup>]

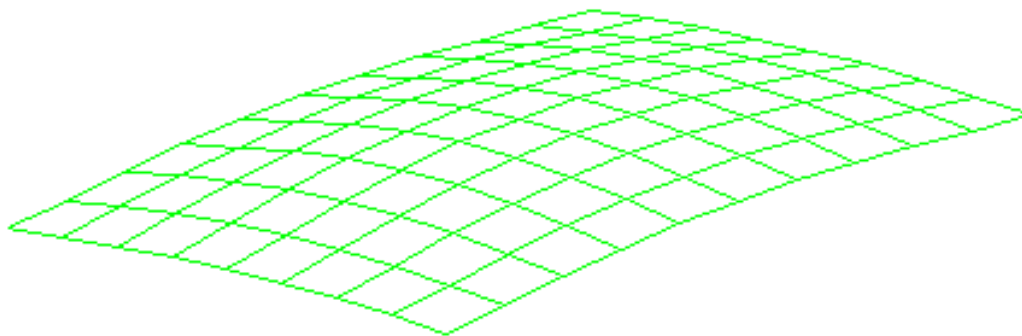
0.00	0.00	1.00	99	99	80	60.000
------	------	------	----	----	----	--------

Halfspace-stiffness calculated

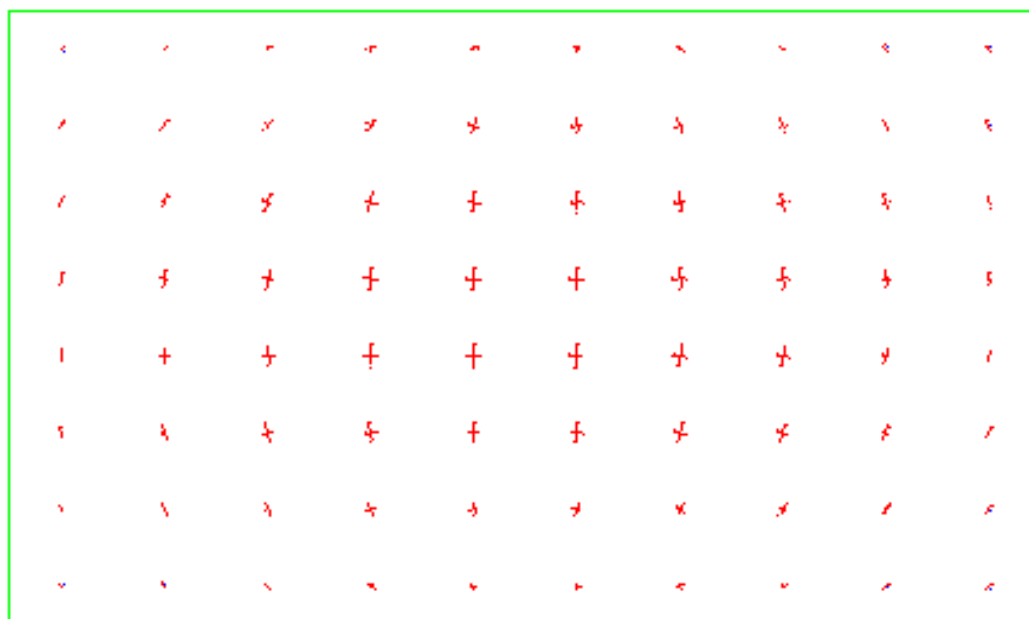
При расчете в SEPP, которое следует, полупространственная жесткость читается в STEX. Стеновые нагрузки рассчитываются по случаю загрузки 1. Постоянная нагрузка опорной плиты не включается, так как это воздействие похоже на разгрузку. (Расчет на постоянную нагрузку вызывает в пластине положительный изгибающий момент. Здесь, однако, дело в том, чтобы найти отрицательные моменты от стеновой нагрузки).

После расчета при помощи программы SEPP деформации и изгибающие моменты могут быть напечатаны:

ПСС



Структура перемещений



Изгибающие моменты

В следующем расчете HASE, определяются напряжения в полупространстве . только напряжения на поверхности полупространства возвращаются с помощью SELE-0. Вывод для узлов серии 600 является:





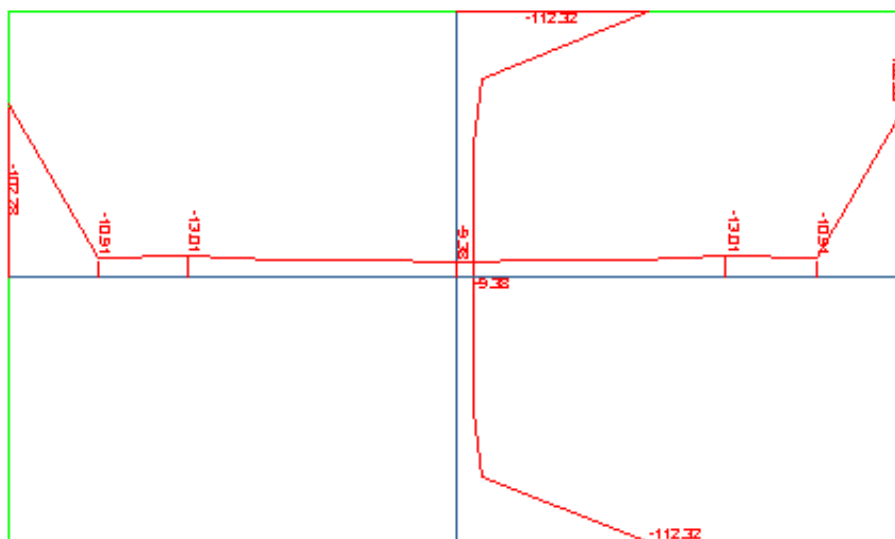
Stresses in the Halfspace Loadcase 1			
node	depth-z[m]	-sig[kN/m <sup>2</sup> ]	setting[mm]
601	0.000	112.32	8.140
602	0.000	14.70	7.512
603	0.000	9.90	6.971
604	0.000	9.43	6.609
605	0.000	9.38	6.483
606	0.000	9.43	6.609
607	0.000	9.90	6.971
608	0.000	14.70	7.512
609	0.000	112.32	8.140

По умолчанию напряжения основания также записываются в базу данных, так что они могут быть представлены вместе с программой WING. Напряжения в центрах тяжести элементов могут быть запрошены при помощи QUAD P:

-141.32	-82.89	-87.57	-84.28	-82.20	-82.20	-84.28	-87.57	-82.89	-141.32
-82.10	-14.29	-14.87	-12.10	-12.47	-12.47	-12.10	-14.87	-14.29	-82.10
-57.29	-11.29	-11.28	-10.45	-9.22	-9.22	-10.45	-11.28	-11.29	-57.29
-28.24	-11.24	-11.21	-10.29	-9.29	-9.29	-10.29	-11.21	-11.24	-28.24
-28.24	-11.24	-11.21	-10.29	-9.29	-9.29	-10.29	-11.21	-11.24	-28.24
-57.29	-11.29	-11.28	-10.45	-9.22	-9.22	-10.45	-11.28	-11.29	-57.29
-82.10	-14.29	-14.87	-12.10	-12.47	-12.47	-12.10	-14.87	-14.29	-82.10
-141.32	-82.89	-87.57	-84.28	-82.20	-82.20	-84.28	-87.57	-82.89	-141.32

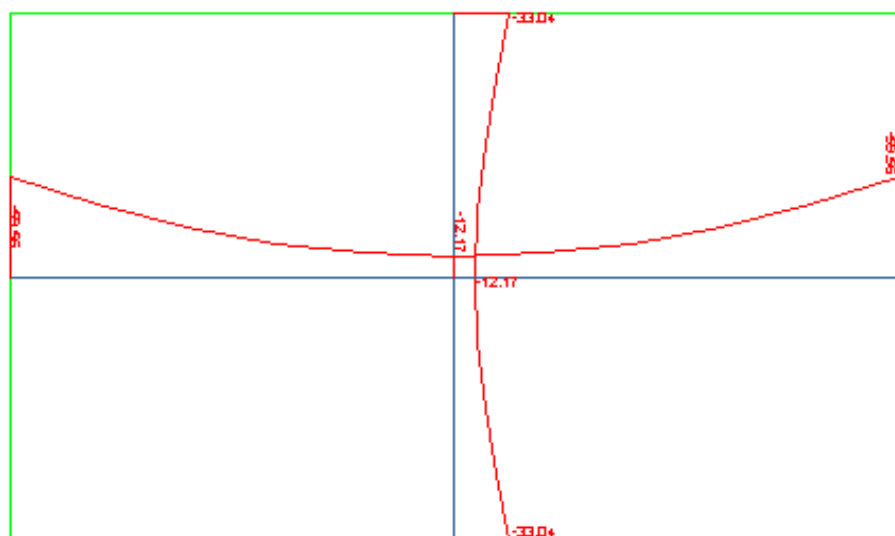
Напряжения в основании случай загрузки 1- метод коэффициента жесткости

Напряжения для сечений в двух перпендикулярных направлениях определяются при помощи HASE. Максимальное значение 112,32 кН/м<sup>2</sup> возникает в узле 601



Напряжения основания в сечениях- метод коэффициента жесткости

Для сравнения, плита была рассчитана, используя допущение Винклера о постоянном коэффициенте постели в  $5000 \text{ кН/м}^3$ . Поскольку в результате осадка не является гладкой кривой, выше давление грунта в центра пластины и таким образом, повторно также выше изгибающие моменты. В результате распределения напряжений в основании максимальным является напряжение на краю в  $33 \text{ кН/м}^2$  для перпендикулярного сечения. Давление грунта в центре пластины увеличивается примерно от 10 до  $12 \text{ кН/м}^2$  (метод коэффициента жесткости).



Напряжение основания- допущение Винклера

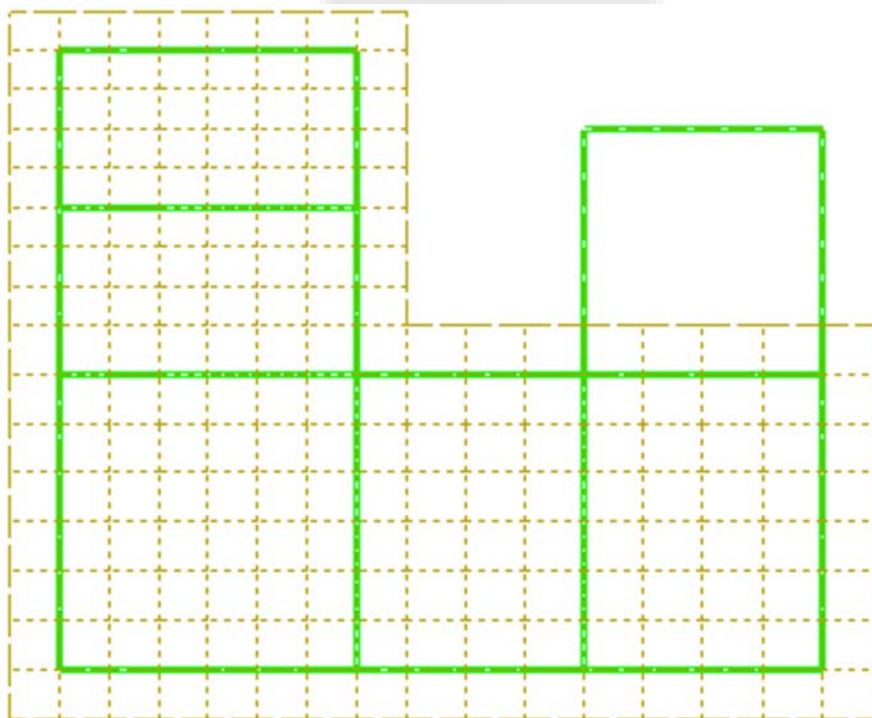
Для других нагрузок эффект может быть противоположным: например, при расчете на удерживающие нагрузки под колонной на плите, используя коэффициент жесткости, изгибающий момент в пластине реально увеличивается из-за веса колонны. Результирующий момент от осадки имеет тот же знак, что и положительные моменты под колонной.



ПСС

## 5.2. Постоянный грунтовый профиль – трехмерная рама с пластиной

Учитывается строение как идеализированную раму. Нижняя плита лежит на земле, которая характеризуется двумя слоями почвы, каждый из которых имеет постоянный модуль жесткости. Грунтовые параметры постоянны в плане.



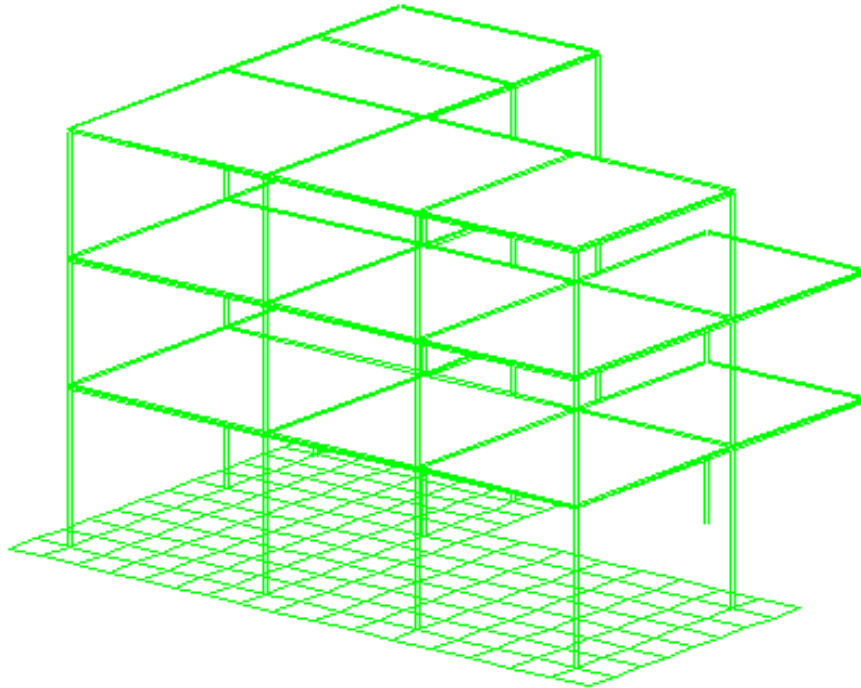
### Система: нижняя плита-балки и колонны-плиты перекрытий

Рама состоит из балочных элементов, а нижняя плита вводится в качестве QUAD элементов. Отдельные основания приведены в узлах 1402 и 1406. Плиты перекрытия определяются с помощью QUAD элементов для того, чтобы загрузить описание и представить верхние уровни пола. Таким образом, скрытый алгоритм линии предоставляет более пластичную картину).

Отсутствие закреплений указывается при вводе данных. Нижняя пластина лежит на уровне  $z=+2.00$  м (глобальная координата Z).

Профиль грунта определяется при помощи записи BORE и BVAX и назначается грунтовый профиль номер 3 (программа AQUA). В первом слое от  $z=2.00$  м до 4.80м, модуль жесткости устанавливается в 90МПа, и во втором слое только 30МПа. Ниже глобальной координаты Z в 9.80м предполагается абсолютно твердый грунт. На этом заканчивается описание грунтового профиля.

```
BORE 3 ; BVAX 2.00 4.80 K0 90000.0
        BVAX 4.80 9.80 K0 30000.0
```



### Система нижней плиты- балки и колонны- плиты

Полупространство сейчас описывается в HASE:

```
PROG HASE  
HEAD FORMATION OF THE HALFSPACE STIFFNESS MATRIX  
HALF TYPE CONS PROF 3 Z 2.00 FAKX 1 1 1  
LOAD BEAM 0.70  
END
```

Жесткость сохраняется во всех трех направлениях с помощью FAKX 1 1 1. Это исключает необходимость позже указывать горизонтальные закрепления. Горизонтальные нагрузки распределяются на нижнюю пластину и тем самым передается строительной площадке.

ПСС

## Вывод в HASE:

## Used Boreprofiles

Profile	position	X [m]	Y [m]
3		0.000	0.000

## Halfspace

Soil- profil	number of layers	top-half- space[m]	min-load- radius[m]	beam-load- radius[m]	influence- radius[m]
3	2	2.000	0.020	0.700	999.000

direction of the bedding	(factor)	total number nodes	active quad- nodes	active quad- elements	active quad- area[m2]
X	1.00	227	225	192	300.000
Y	1.00				
Z	1.00				

## Halfspace-stiffness calculated

Для 192 QUAD элементов нижней пластины Hase распределяет площадь каждого элемента среди ее узлов. HASE маркирует два отдельно стоящих узла 1402 и 1406 как балочные узлы (обрабатываются как свободно стоящие основы узлов). Для этих узлов, ввод LOAR BEAM 0.70 означает, что радиус нагрузки 70см (смотри вывод примера 2). Общая площадь (QUAD элементов + отдельных основ для балочных узлов) составляет 303 см<sup>2</sup>. QUAD элементы перекрытий не используются в HASE, так как координата Z не находится на уровне +2м.

Далее вся система (рама+плита+полупространство) рассчитывается для случая загрузки постоянной нагрузкой при помощи программы ASE:

```

PROG ASE
HEAD
ECHO DISP, FORC, NOST NO
CTRL PLAB 0
STEX
LC 1 DLZ 1 ; ELL0 2001 7999 1 TYPE PZZ P 20
END

```

QUAD элементы 2001-7999 являются плитами перекрытий на верхних этажах. Они получают постоянную равномерно распределенную нагрузку через ELL0.

Опорные реакции рассчитываются программой ASE, представляют контактные силы между нижней пластиной и полупространством. Помимо вертикальных реакций, горизонтальное заложение также очевидно. (нижняя плита и грунт могут воспринимать горизонтальные усилия от рамы).

## Nodal Reactions and Residual Forces

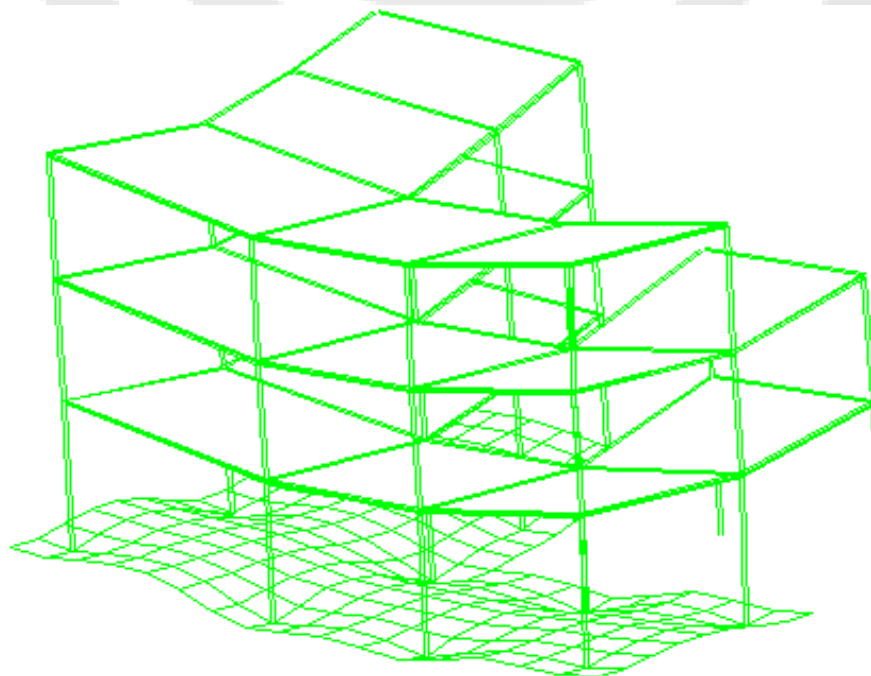
Loadcase 1

Node	P-X	P-Y	P-Z	M-X	M-Y	M-Z
No	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
101			-86.9			
102			-144.1			
103			-106.5			
. . .						
901			-127.1			
902			-202.1			
903			-148.6			
. . .						

Представление деформированной структуры (в программе WING при помощи VISI HIDD LINE)

Показывает локальные деформации под колоннами, а также глобальные осадки (деформации от плиты на высшем уровне).

Осадка отдельных основ сильно зависит от нагрузки на поверхности отдельных фундаментов, так как напряжение в грунте под отдельными фундаментами являются результатом главным образом от их собственной удерживающей нагрузки. Из-за относительно большого расстояния между отдельными фундаментами влияние нагрузки на нижнюю пластину на осадку отдельных фундаментов минимальна.



### Деформированная конструкция

В HASE последующий процесс начинается, напряжения в основании строения могут быть теперь проанализированы:

```

PROG HASE
HEAD STRESS ANALYSIS AT HALFSPACE
LC 1
SELE 101,102,202
SELE 1402 3,4,5,6,7,8,9
END

```

Запрашиваются результирующие напряжения от случая загрузки 1. Для узлов 101,102 и 202 запрашиваются напряжения на границах слоев. Под узлом 1402 запрашивается напряжение для других глубин.

Stresses in the Halfspace Loadcase 1			
node	depth-z[m]	-sig[kN/m <sup>2</sup> ]	setting[mm]
101	2.000	185.42	5.638
	4.800	31.60	
	9.800	17.26	
102	2.000	153.72	6.718
	4.800	40.54	
	9.800	20.23	
202	2.000	112.64	7.324
	4.800	46.54	
	9.800	22.35	
1402	3.000	163.78	7.346
	4.000	58.92	
	5.000	30.59	
	6.000	20.99	
	7.000	17.36	
	8.000	15.91	
9.000	15.30		

Осадки поверхности полупространства, которые определяются здесь в HASE находятся в соответствии с узловыми перемещениями u-z из программы ASE.

Однако, это не относится к параметрам грунтов, которые изменяются в плане(это разъясняется в главе 4:описание ожидаемых результатов- результаты).

ПСС



### 5.3. Независимый расчет осадки

Независимый расчет осадки может быть использован для определения напряжений и результирующего значения осадки от нерастягивающей нагрузки на поверхности полупространства. В этом случае жесткость нижней пластины не имеет значения(эффекта).

В начале, в похожей системе в примере 2 она определена(балки и плиты перекрытий можно опустить).

В программе HASE независимый расчет осадки определяется с помощью записи LC 0. Полупространство описывается при помощи записи HALF.

```

PROG HASE
HEAD INDEPENDENT SETTLEMENT ANALYSIS
ECHO NODE
HALF TYPE CONS PROF 3 Z 2
LOAR BEAM 0.70
LC 9 TITL 'SINGLE LOADS'
LOAD 210 1000
LOAD 1402 3000
SELE (201 210 1)
SELE 1402
SELE 109 2.1,2.2,2.4,2.7,3,4,5,6,7,8,9,10
END

```

Вывод из HASE начинается снова с параметров полупространства. Далее следует таблица узловых значений, запрашиваемая при помощи записи ECHO NODE:

#### Used Boreprofiles

Profile	position X [m]	Y [m]
3	0.000	0.000

#### Halfspace|

Soil- profil	number of layers	top-half- space[m]	min-load- radius[m]	beam-load radius[m]	influence- radius[m]	
3	2	2.000	0.020	0.700	999.000	
direction	of the bedding	total (factor)	active number	active quad- nodes	active quad- elements	active quad- area[m2]
X	Y	Z	nodes	nodes	elements	area[m2]
0.00	0.00	1.00	227	225	192	300.000

Nodes						
Number	X [m]	Y [m]	Z [m]	Loadradius [m]	area	[m <sup>2</sup> ]
101	18.000	0.000	2.000	0.386	0.469	
102	18.000	1.500	2.000	0.546	0.938	
103	18.000	3.000	2.000	0.546	0.938	
* * *						
1402	3.000	1.500	2.000	0.700	1.539	
1406	3.000	7.500	2.000	0.700	1.539	
1409	3.000	12.000	2.000	0.446	0.625	
1410	3.000	13.250	2.000	0.631	1.250	

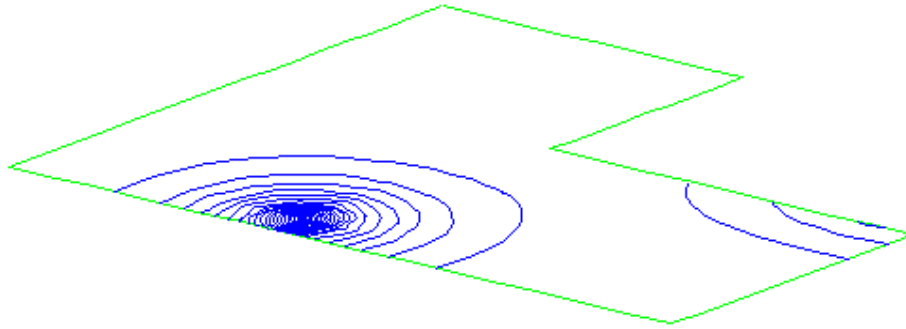
Поверхность отдельных фундаментов (узлы 402 и 1406) является результатом ввода LOAR BEAM 0.70( как в примере 2).

Затем выводятся нагрузки и потом результаты расчетов. Как упоминалось ранее, нагрузки выступают в качестве нерастяжимых нагрузок. Жесткость нижней пластины не принимается во внимание.

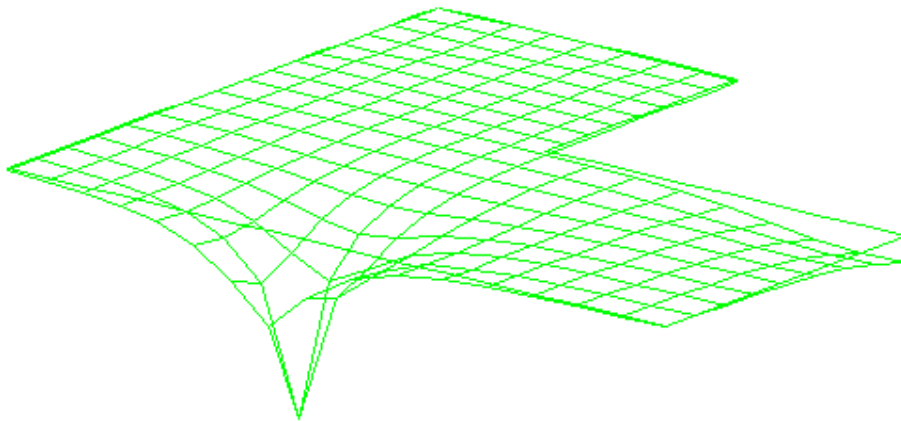
Nodal Loads	
Node	P-Z [kN]
210	1000.0
1402	3000.0

Sum of loads in Z-direction| = 4000.0 [kN]

Stresses in the Halfspace Loadcase 9 SINGLE LOADS			
node	depth-z[m]	-sig[kN/m <sup>2</sup> ]	setting[mm]
109	2.100	0.04	3.134
	2.200	0.34	
	2.400	2.41	
	2.700	9.75	
	3.000	19.40	
	4.000	34.12	
	5.000	28.14	
	6.000	20.52	
	7.000	14.99	
	8.000	11.27	
201	2.000	0.00	0.073
	4.800	0.08	
	9.800	0.97	
* * *			
1402	2.000	1948.84	32.775
	4.800	169.41	
	9.800	23.39	



Осадки- представление при помощи изолиний



Осадки- трехмерное представление

Влияние от нагрузки отдельных фундаментов (узел 1402) в нижней плите можно увидеть справа на изображении.

ПСС

#### 5.4. Переменный профиль грунта в плане- вторая QUAD система

Для того, чтобы лучше описать процесс расчета ниже представлен весь файл входных данных:

```
PROG AQUA
HEAD
NORM DIN 1045
CONC 1
BORE 101 ; BBAX 0.00 5.50 K0 22000.0
BORE 102 ; BBAX 0.00 5.50 K0 13000.0
BORE 103 ; BBAX 0.00 5.50 K0 10000.0
BORE 201 ; BBAX 0.00 5.50 K0 22000.0
BORE 202 ; BBAX 0.00 5.50 K0 13000.0
BORE 203 ; BBAX 0.00 5.50 K0 22000.0
BORE 301 ; BBAX 0.00 5.50 K0 13000.0
BORE 302 ; BBAX 0.00 5.50 K0 4000.0
BORE 303 ; BBAX 0.00 5.50 K0 4000.0
END

PROG SOFIMSHA
...
END

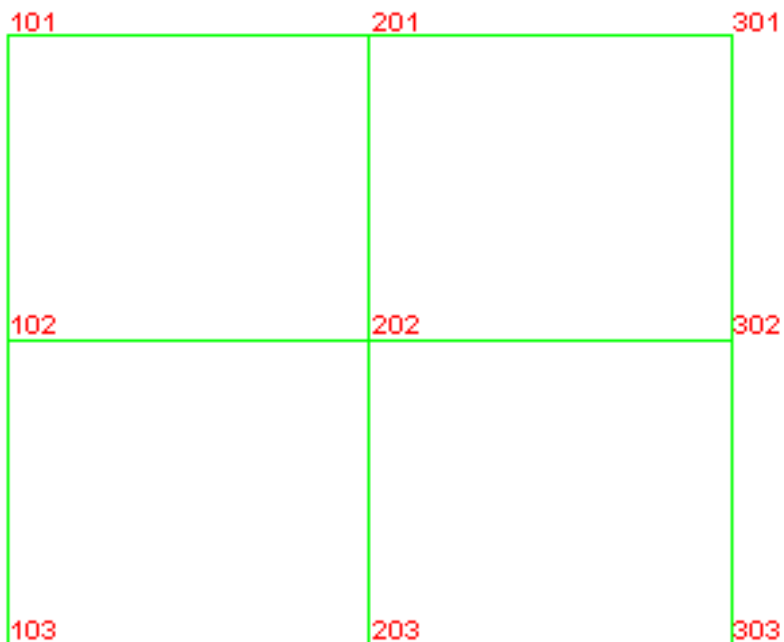
PROG WING
HEAD
SIZE LP 100 ; SCHH H4 0.5
COLO C5 3001 3001 3001 3001
VIEW STAN 0 0 -1 POSX ; STRU 0 1
END

PROG SOFIMSHA
HEAD ANGLE PLATE - COMPUTATION SYSTEM
...
END

PROG HASE
HEAD FORMATION OF HALF-SPACE STIFFNESS
HALF TYPE QUAD PROF 2 Z 0 NAME SYSTEM2
END

PROG ASE
HEAD STRUCTURAL ANALYSIS
ECHO DISP,REAC,FORC,NOST NO
STEX
LC 1 DLZ 1 TITL 'DEAD LOAD'
END
```

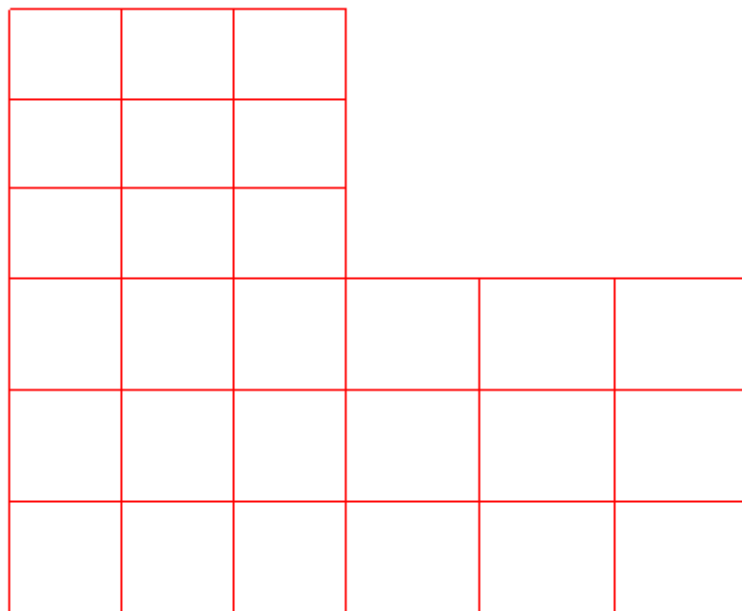
В первом выполнении SOFIMSHA была создана вспомогательная система (second QUAD system) и хранится при помощи +dos инструкции как база данных system2.cdb. используется следующая система:



### Вторичная QUAD система

Реальная система расчета рассчитывается только при втором запуске SOFIMSHA (здесь состоящий только из нижней плиты).

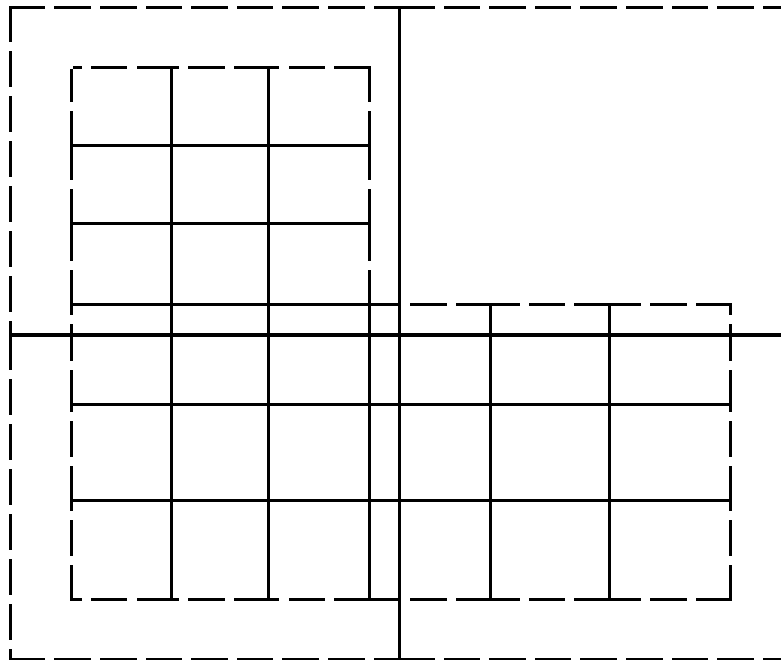
ПСС



Система расчета

Распределение грунтового профиля при расчете системы определяется в расчете HASE при помощи вторичной QUAD системы (NAME SYSTEM2).





Наложение расчет системы и вторичной QUAD системы

Для описания изменения грунтовых профилей в плане, отверстия в профиле вводится для каждого узла вторичной системы QUAD. Номер профиля отверстия должен быть таким же как и номер узла. Теперь интерполяция возвращает различные модули жесткости в узловых точках расчета системы:

Soilprofile - Interpolation  
with profile-QUAD-database system2.cdb

Soil - Parameters in Nodes

Node	depth[m]	bottom	K0	K1	K2	K3[MPa]
22	0.000	5.500	6.52	0.00	0.00	0.00
23	0.000	5.500	11.55	0.00	0.00	0.00
24	0.000	5.500	16.59	0.00	0.00	0.00
25	0.000	5.500	19.61	0.00	0.00	0.00
26	0.000	5.500	17.09	0.00	0.00	0.00
27	0.000	5.500	14.57	0.00	0.00	0.00
28	0.000	5.500	12.06	0.00	0.00	0.00
32	0.000	5.500	6.10	0.00	0.00	0.00

```

33  0.000  5.500  10.29  0.00  0.00  0.00
34  0.000  5.500  14.49  0.00  0.00  0.00
    
```

Описание полупространства производится следующим образом:

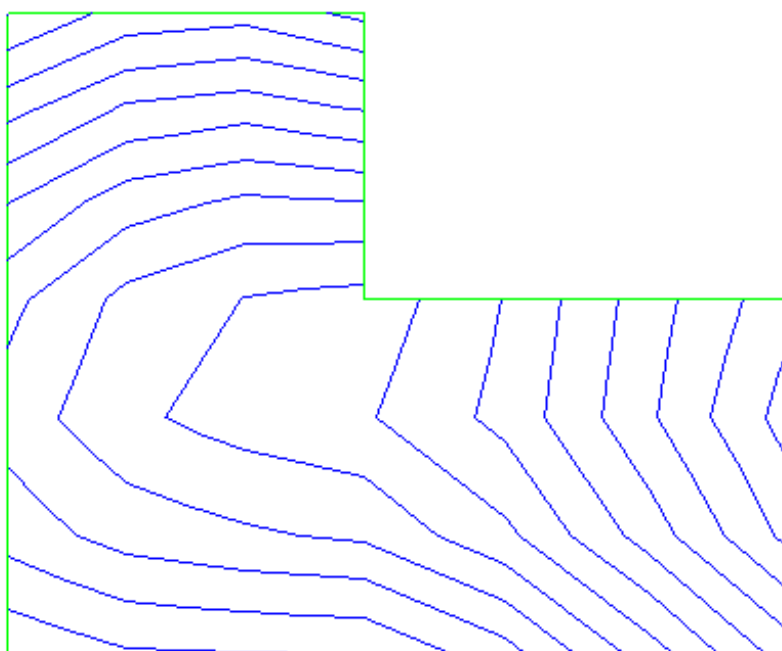
Halfspace

```

Soil- number of top-half- min-load- beam-load influence-
profil layers space[m] radius[m] radius[m] radius[m]
vari 1 0.000 0.020 0.250 999.000
direction of the bedding total active active active
      (factor) number quad- quad- quad-
      X Y Z nodes nodes elements area[m2]
0.00 0.00 1.00 40 40 27 75.000
Halfspace-stiffness calculated
    
```

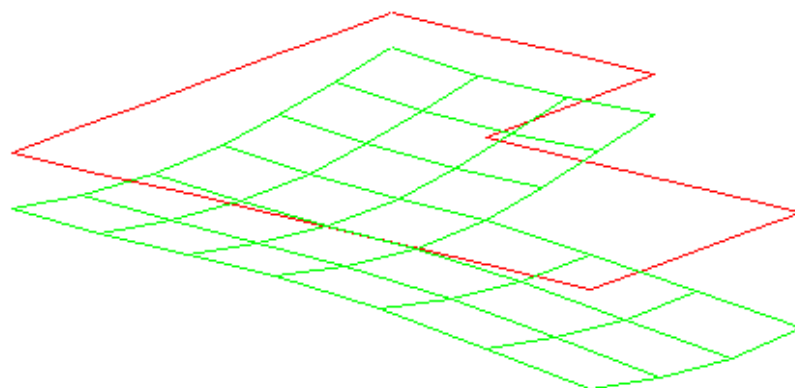
Характеристики основания запрашиваются только в направлении Z (по умолчанию), так как этот пример о пластинчатой системе(SYST GIRД). Горизонтальные ограничения не нужны.

Расчет при помощи программы ASE(равномерно распределенная нагрузка) возвращаются следующие осадки:

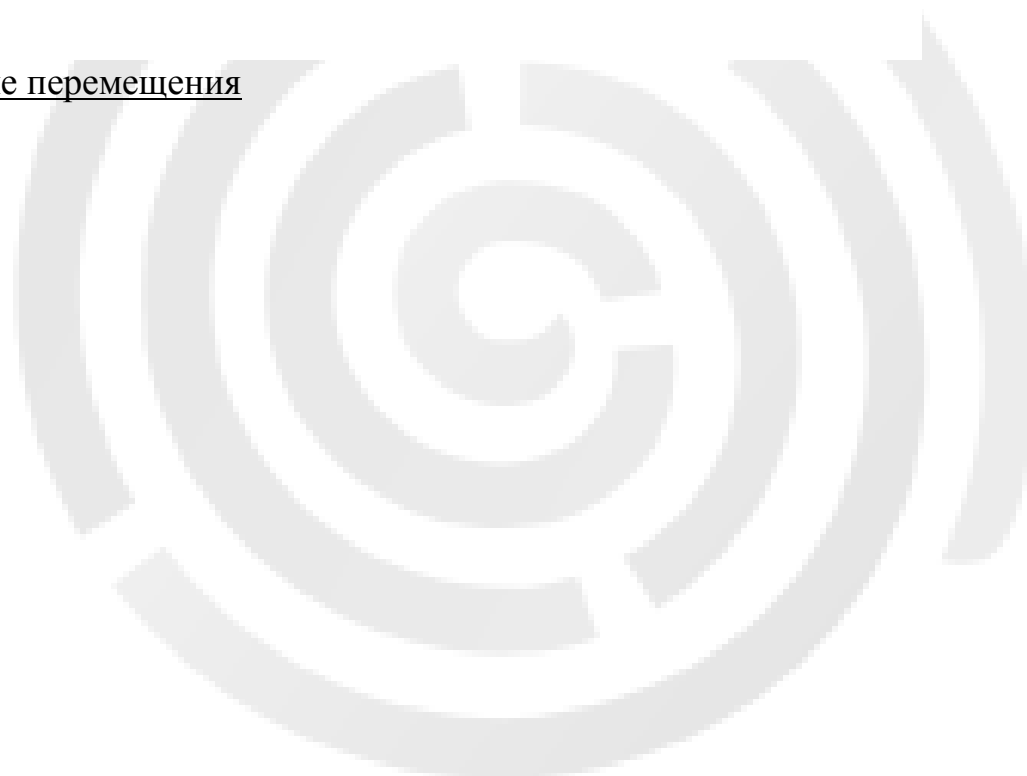


Перемещения по u-z в изолиниях





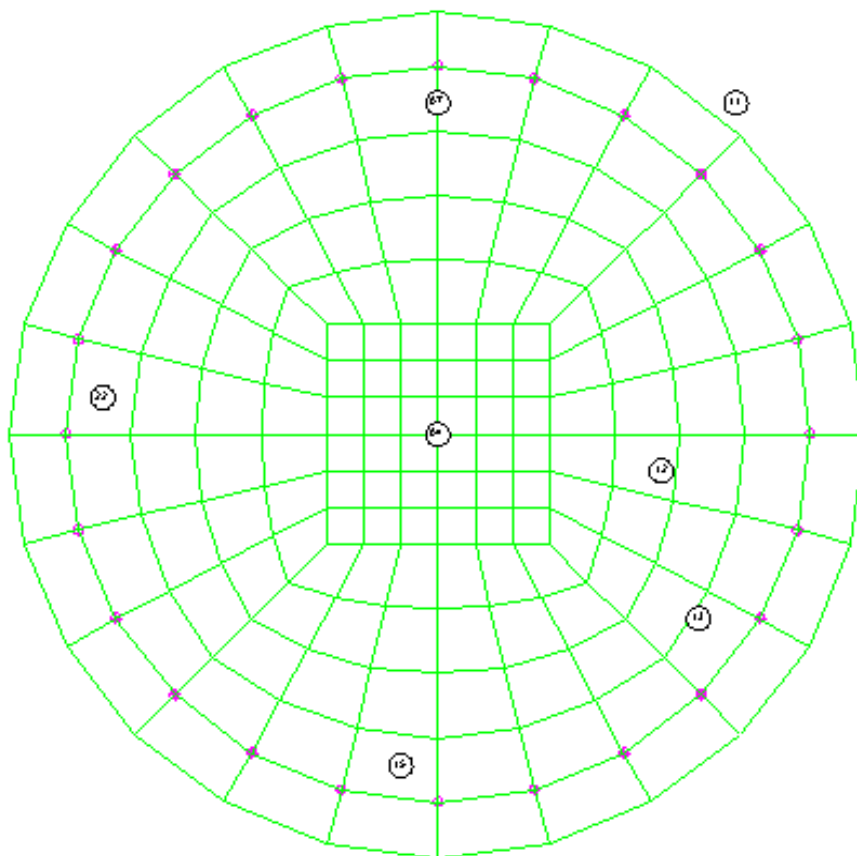
Трехмерные перемещения



ПСС

### 5.5. Интерполяция при помощи весового фактора

Изменение грунтового профиля в плане также может быть задано с помощью координат интерполяции. Для основания резервуара газа были использованы скважины в следующих местах:



#### Расположение отверстий в плане

Грунтовой профиль с координатами расположения скважин выводятся через программу AQUA и системой в программе SOFIMSHA. Контроль полупространства определяется программой HASE.

```

PROG AQUA
HEAD INTERPOLATION WITH INFLUENCE-FACTOR - GAS TANK
NORM DIN 1045-1
CONC 1
CONC 2
BORE 4 0 0 ; BBAX 0.00 2.80 K0 14000.0
      BBAX 2.80 8.80 K0 12000.0
BORE 7 9 0 ; BBAX 0.00 2.80 K0 16000.0
      BBAX 2.80 8.80 K0 9000.0
BORE 11 9 8 ; BBAX 0.00 2.80 K0 13000.0
      BBAX 2.80 10.5 K0 10000.0
    
```

```

BORE 12 -1 6 ; BBAX 0.00 4.00 K0 9000.0
      BBAX 4.00 10.5 K0 6000.0
BORE 13 -5 7 ; BBAX 0.00 4.50 K0 13000.0
      BBAX 4.50 10.5 K0 9000.0
BORE 15 -9 -1 ; BBAX 0.00 2.80 K0 15000.0
      BBAX 2.80 9.80 K0 16000.0
BORE 22 1 -9 ; BBAX 0.00 2.80 K0 14000.0
      BBAX 2.80 9.80 K0 15000.0
END

```

```

PROG SOFIMSHA
HEAD INTERPOLATION WITH INFLUENCE-FACTOR - GAS TANK
. . .
END
PROG HASE
HEAD
CTRL INFL 4.0
HALF TYPE COOR EP 2 Z 0 FAKX .5 .5 1
END

```

Интерполяции подвергается весовой фактор  $EP=2$ , т.е. коэффициент жесткости узла приходится пропорционален квадрату расстояния от узлов и скважины профиля. Например, скважина профиля в 9 раз больше коэффициента жесткости узла, чем в другом профиле, который находится в три раза глубже. Глубина слоя интерполируется таким же образом.

Влияние радиуса было определено в 4м. таким образом ширина полосы полупространства матрицы жесткости ограничивается расстоянием узлов в 4м. узловые нагрузки перестают влиять на осадку узлов, расположенных далее, чем в 4 метрах.

Горизонтальная опора резервуара осуществляется просто, определяя горизонтальную жесткость всех узлов на 50 процентов вертикальной жесткости.

ПСС

Это вывод в HASE:

Used Boreprofiles

Profile	position	X [m]	Y [m]
4		0.000	0.000
7		9.000	0.000
11		9.000	8.000
12		-1.000	6.000
13		-5.000	7.000
15		-9.000	-1.000
22		1.000	-9.000

Soilprofile - Interpolation

with profilecoordinates X0 und Y0, influence-factor EP= 2

Soil - Parameters in Nodes

Node	depth[m]	bottom	K0	K1	K2	K3 [MPa]
1101	0.000		13.90	0.00	0.00	0.00
	2.972	9.333	11.57	0.00	0.00	0.00
1102	0.000		13.87	0.00	0.00	0.00
	2.973	9.261	11.34	0.00	0.00	0.00
1103	0.000		13.82	0.00	0.00	0.00
	2.976	9.219	11.21	0.00	0.00	0.00
1104	0.000		13.73	0.00	0.00	0.00
	2.995	9.226	11.07	0.00	0.00	0.00
1105	0.000		13.56	0.00	0.00	0.00
	3.044	9.300	10.81	0.00	0.00	0.00
1106	0.000		13.28	0.00	0.00	0.00
	3.127	9.439	10.42	0.00	0.00	0.00
1107	0.000		12.88	0.00	0.00	0.00
	3.234	9.615	9.92	0.00	0.00	0.00
1201	0.000		13.83	0.00	0.00	0.00
	2.962	9.293	11.76	0.00	0.00	0.00

...

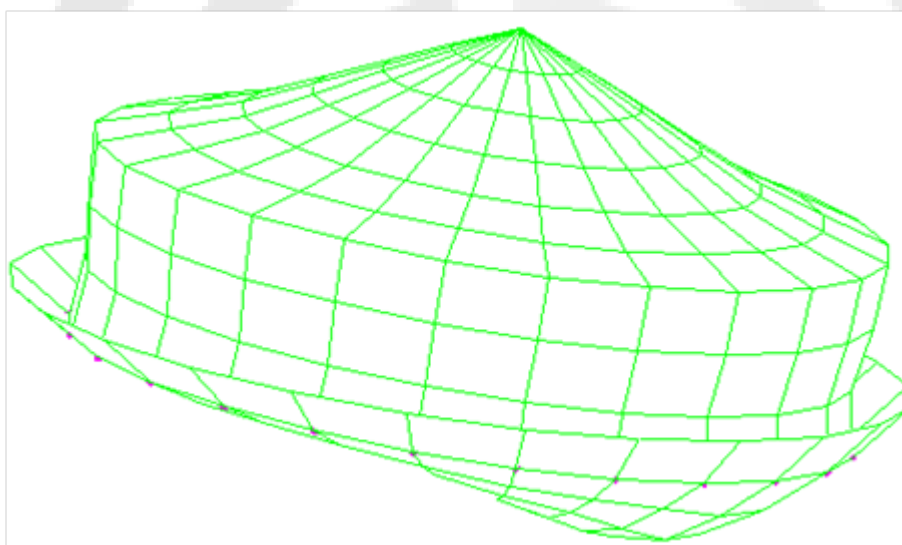
Halfspace

Soil- number of top-half- min-load- beam-load influence-  
 profil layers space[m] radius[m] radius[m] radius[m]  
 vari 2 0.000 0.020 0.250 4.000  
 direction of the bedding total active active active  
 (factor) number quad- quad- quad-  
 X Y Z nodes nodes elements area[m2]  
 0.50 0.50 1.00 169 169 156 410.746  
 Halfspace-stiffness calculated

Нижняя плита имеет радиус 11.5м. Разница между  $r^2\pi (=415.5\text{м}^2)$  и выводимой контактной областью в  $410.7\text{м}^2$  получается из-за полигонального описания нижней пластины при помощи QUAD элементов.

Расчет в программе ASE выводит деформации и напряжения в случае постоянной нагрузки в сумме с нагрузкой содержимого емкости на нижней пластине.

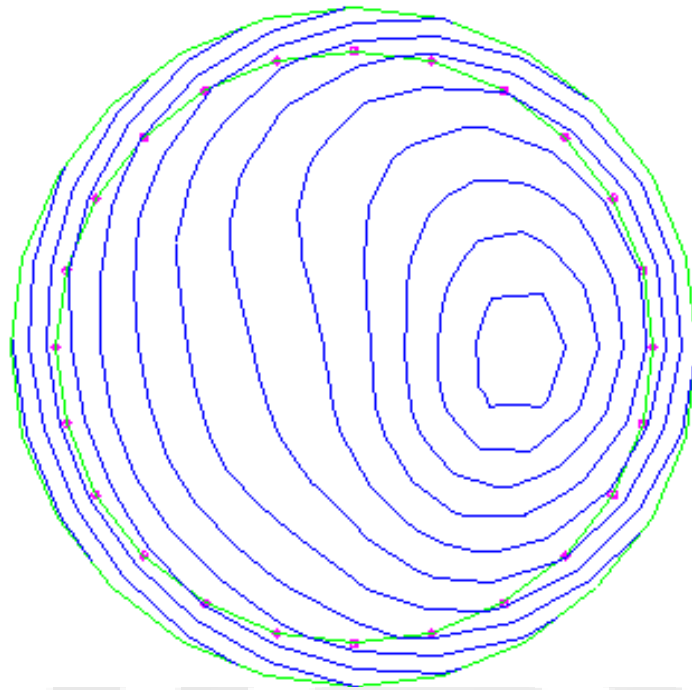
```
PROG ASE  
HEAD  
ECHO DISP,REAC,FORC,NOST NO  
STEX  
LC 1 DLZ 1  
ELLO 1001 5999 1 PZP 50  
END
```



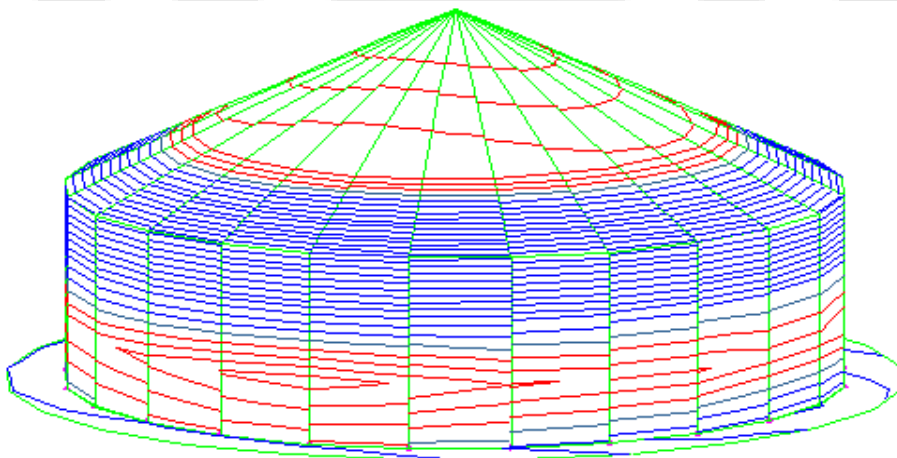
### Деформированная конструкция (сокращенная схема фактор 500)

Наклон резервуара из-за параметров грунтов в плане хорошо виден(горизонтальное и исходное положение). Нормальные напряжения оказывают различное влияние нагрузки в радиальном направлении из-за различных осадок.

ПСС



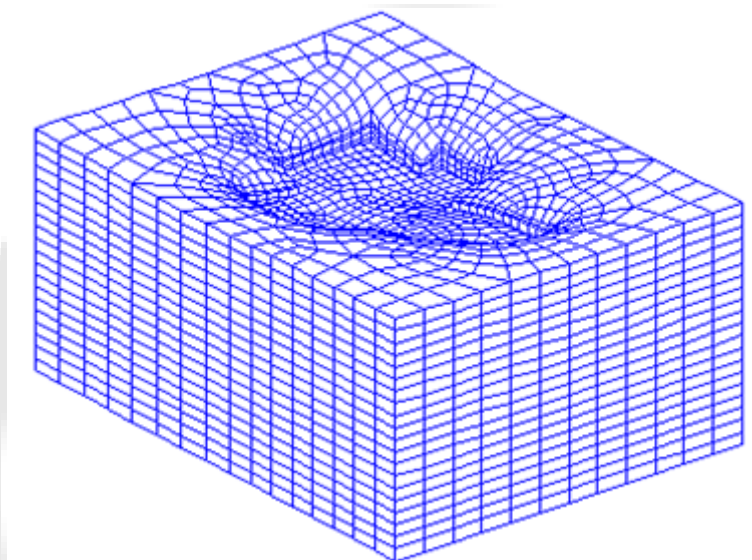
Перемещения  $u-z$  на нижней плите



Основные нормальные напряжения  $p-1$

## 5.6. Напряжения в полупространстве

В следующем примере осадка и напряжения выводятся под нижней плитой и также в окружающей площади. В деформированной структуре влияние нижней плиты в полупространстве может быть рассмотрено:



### Нижняя плита и поверхность полупространства

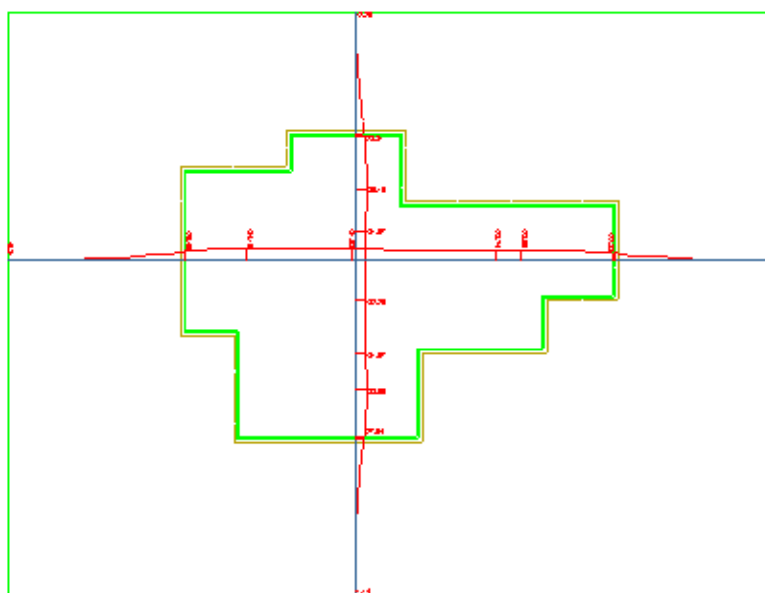
Для того, чтобы получить этот результат в области, прилегающей к нижней пластине также должны быть конечные элементы. В этом случае, важны следующие моменты:

- Зазор должен быть между нижней пластиной и окружающими элементами дисплея. только после этого можно двумя узлами (узлы нижней пластины и незагруженные внешние узлы) рассматривать и представлять по-разному. В данном примере зазор равен 10см.
- По обе стороны от зазора не должно быть тонких элементов, чтобы создать хорошее графическое представление сильной кривизны поверхности полупространства ( кроме дисплея, не имеет никакого влияния на качество результатов).
- Помимо слоя тонких элементов очень большие элементы должны быть расположены в порядке, чтобы не увеличивать процессорное время.
- Окружающие элементы представления определяются в системе ввода GRP...STI 0- т.е. они не обладают какой-либо жесткостью и используют только их геометрию.

Во втором расчете HASE пользователь может запросить напряжения в полупространстве хранящиеся на специально большой глубине. Напряжения на глубине  $Z=1\text{м}$  хранятся в случае загрузки номер 101, напряжения на глубине 2м в случае загрузки 102 и т.д.

```
PROG HASE
HEAD
ECHO STRE NO
LC 1
SELP Z (1 20 1) LCST (101 1) BRIC HASE8B $ STRESSES IN DEPTH Z=1-20m
END
```

Следующее изображение сечения выводится при помощи программы WING. Нижняя плита показана как многоугольник. Напряжения изучаются внизу нижней пластины и в окружающей области:

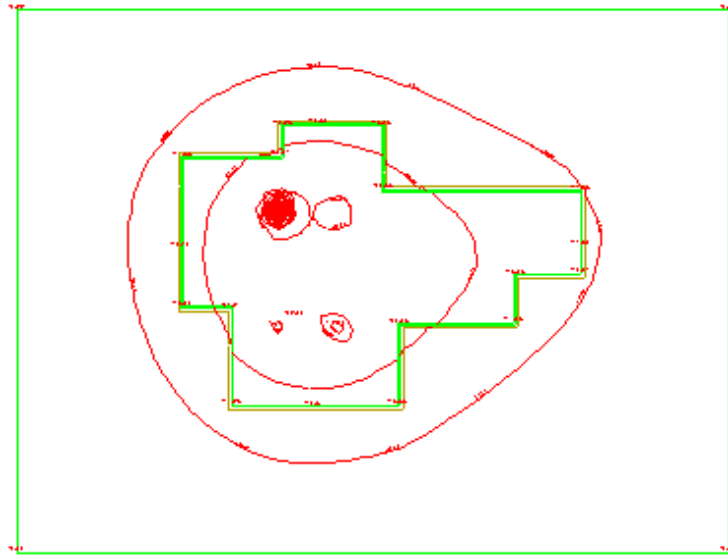


### Напряжения на глубине $Z=5\text{м}$

В примере, четыре одиночных сваи расположены на нижней плите под четырьмя высокими загруженными колоннами. В следующей области для печати концентрация напряжений под концом сваи на глубине 10м может быть ясно видна.

ПСС





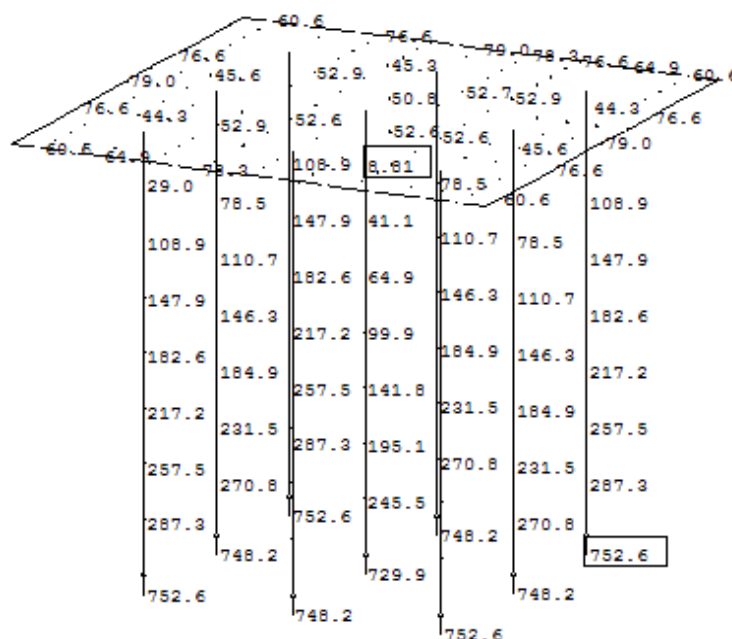
Напряжения на глубине 10м

ПСС

### 5.7. Плитно-свайные фундаменты

Сваи, внедренные в полупространство и узлы свай взаимодействуют через полупространство. Это означает, что если одну сваю загрузить нагрузкой в полупространстве, это одновременно оказывает влияние на все другие в полупространстве узлы, либо путем стимулирования осадки или горизонтальных деформаций.

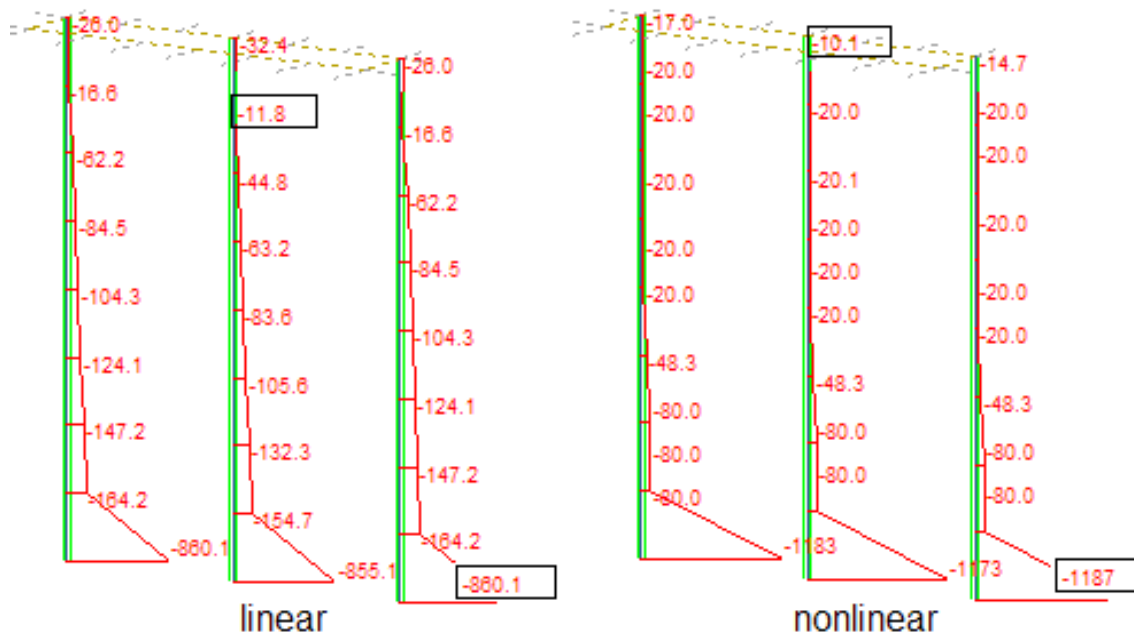
Загружение 1 показывает линейный расчет, где нагрузка воспринимается плитой через основание также как сваями.



#### Удерживающая нагрузка

Сваи, внедренные в полупространство, при запущенном линейном расчете, большая часть нагрузки переносится на грунт от верхней части сваи через боковое трение.





Осевые усилия по боковой поверхности свай и нормальные усилия на концах свай

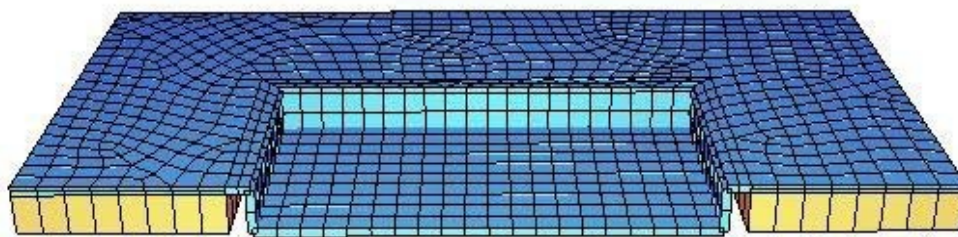
При нелинейном запуске боковое трение ограничено значениями, введенными в определении отверстий профиля, в частности нелинейных контактных параметров  $c_0$ ,  $PMA1$  и  $PMA2$ . Это уменьшает боковое трение в верхней части сваи, вызывает незначительные погружения. Конец сваи и нижней плиты из-за этого может нести большую нагрузку.



### 5.8. Многослойные поверхности полупространства

Часто, строительная площадка состоит из нескольких плоских поверхностей я различной высоты, соединенных и удерживающихся вертикальными стенками. Вполне возможно для имитации этих типов фундаментов зданий при помощи НАСЕ: поверхность полупространства просто определяется на самой глубокой поверхности. Грунт между полупространством и остальными слоями разбивается на конечные элементы.

В следующем примере, моделируется сдавленный фундамент (см.рисунок). Поверхность полупространства устанавливается на сдавленную поверхность, и оба слоя покрыты бетонной плитой толщиной 0,2м. бетонные стены, соединяющие две поверхности немного смещены от элементов грунтов с тем, чтобы избежать близкого расположения узлов из создаваемой цепочки шаговых расстояний, что может привести к численным трудностям.



ПСС