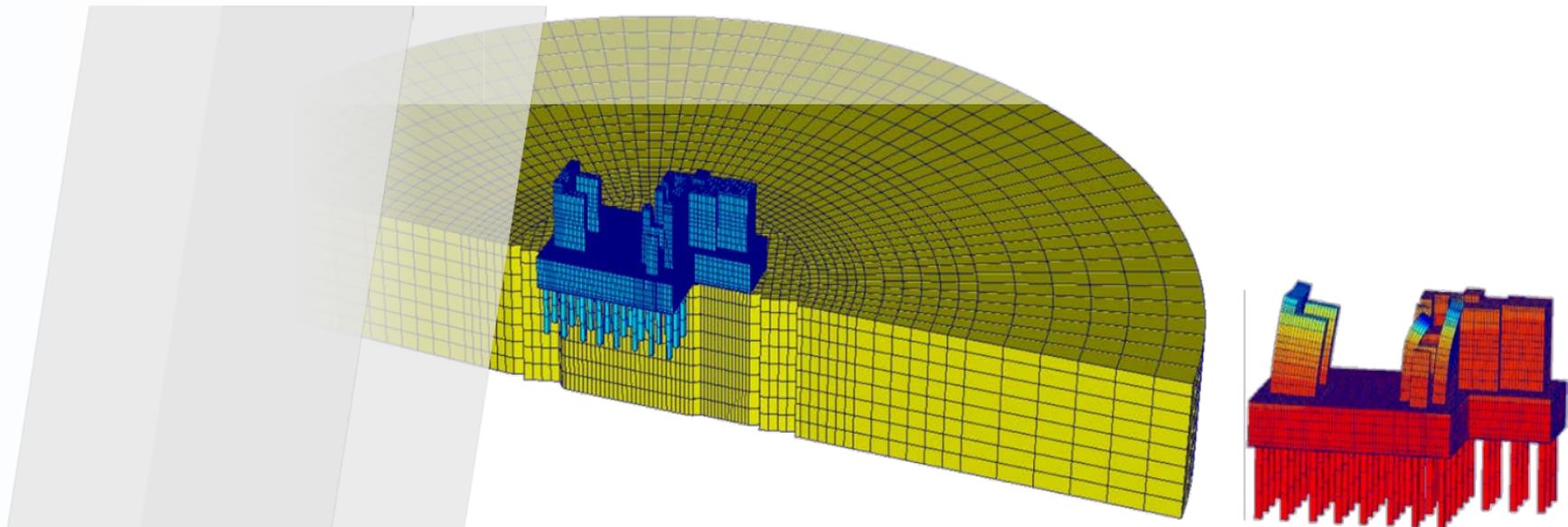




Особенности моделирования в SCAD 21.1.9.3 фундаментов на естественном основании согласно СП 22.13330.2016



Докладчик: **Михайлов Виктор Сергеевич**

ЦНТП «SCAD SOFT Новосибирск»

Научный руководитель: к.т.н. **Нуждин Леонид Викторович**, профессор НГАСУ, ПНИПУ

Москва / 23 апреля 2019 г



Требования ФЗ №384 к расчетным моделям грунтового основания

1. Принципы и теоретические основы моделей линейно деформируемых оснований

Требования ФЗ №384 к расчетным моделям грунтового основания

Статья 16 **ФЗ № 384**. Требования к обеспечению механической безопасности здания или сооружения.

4. Расчетные модели строительных конструкций и основания должны отражать действительные условия работы здания или сооружения, отвечающие рассматриваемой расчетной ситуации. Должны быть учтены:

1) факторы, определяющие напряженно деформированное состояние;	Стандартный расчет МКЭ в SCAD
2) особенности взаимодействия элементов строительных конструкций между собой и основанием;	Совместные расчетные модели с линейно деформируемым основанием
3) пространственная работа строительных конструкций;	Стандартный расчет МКЭ в SCAD
4) геометрическая и физическая нелинейность;	Новый специальный режим SCAD
5) пластические и реологические свойства материалов и грунтов;	Нелинейно-упругая деградация модуля общ.деф. грунтов в режиме МОНТАЖ
6) возможность образования трещин;	Постпроцессор ЖБК в SCAD и АРБАТ
7) возможные отклонения геометрических параметров от их номинальных значений.	Специальный режим ВАРИАЦИЯ моделей в SCAD



Типы моделей линейно-деформируемых оснований в SCAD

Реализованные в SCAD Office модели линейно- и нелинейно- деформируемого основания

1. **Клавишная модель Винклера-Фусса** с одним коэффициентом постели или со связями конечной жесткости;

Модели с близкими результатами по отношению к Винклеровской модели:

1б. Модель уравнивания внешних нагрузок и отпора грунта;

1в. Модель упругого основания только по контуру плиты с использованием объемных КЭ.

2. **Пространственная модель линейно-деформируемого основания (ЛДО) с исп. ОКЭ;**
2б. Модель ЛДО с промежуточным Винклеровским слоем с использованием объемных КЭ.
3. **Модель Пастернака** с двумя коэффициентами постели и с применением законтурных элементов для учета распределительной способности основания за пределами фундамента.
4. **Билинейная и Линейная модель Федоровского** с переменным коэффициентом постели из программы КРОСС с учетом заданной глубины сжимаемой толщи и зоны пластических сдвиговых деформаций грунта под краями плиты.
5. **Генетически нелинейно-упругая пространственная модель в режиме МОНТАЖ** с учетом деградации свойств грунтов при превышении расчетного сопротивления.

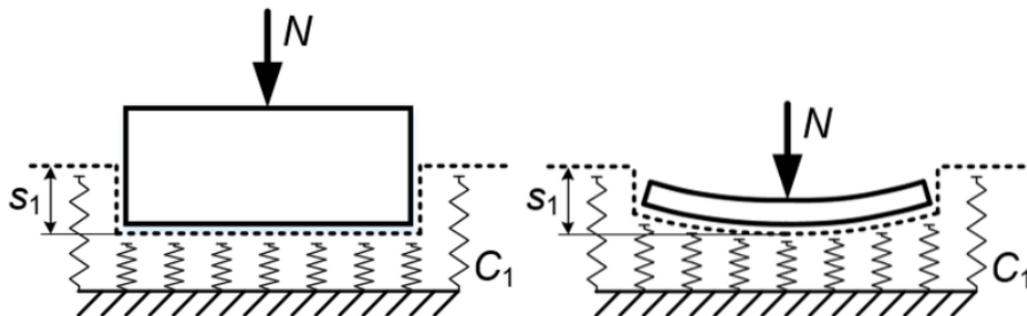


Типы моделей линейно-деформируемых оснований в SCAD

Однопараметрическая модель основания пропорциональных деформаций Фусса-Винклера

(Николай Иванович Фусс, Российская Империя, 1801 г.; Эмиль Винклер, Германия, 1867 г.)

$$s_z = \frac{q}{C_1}$$



где s_z – осадка основания, q – распределенная нагрузка на штамп, создающая давление под фундаментной плитой, а C_1 – коэффициент пропорциональности, чаще всего называемый коэффициентом постели, который означает какую нагрузку следует приложить, чтобы получить единичную деформацию.

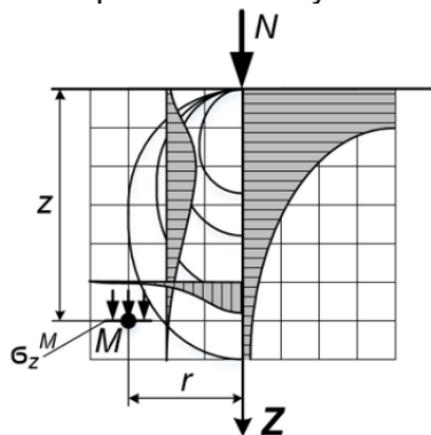
Поведение основания приближается к модели Винклера-Фусса в очень рыхлых грунтах, слабо воспринимающих сдвиговые усилия в массиве грунта или при высоких краевых напряжениях, вызывающих срез подстилающего слоя грунта за счет развития пластики. Осадочная воронка в данной модели не образуется.



Типы моделей линейно-деформируемых оснований в SCAD

Модель линейно-деформируемого полупространства Буссинеска

(Жозеф Волантен Буссинеск, Франция, 1885 г.)



$$s_z = \frac{1}{E_0} \cdot \frac{N}{\pi \cdot r} \cdot \frac{1}{1 - \nu_0^2}$$

где $r = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2}$ – расстояние от точки приложения сосредоточенной нагрузки $N=q/A$, E_0 – общий модуль деформации грунта, ν_0 – коэффициент поперечной деформации грунта по типу Пуассона.

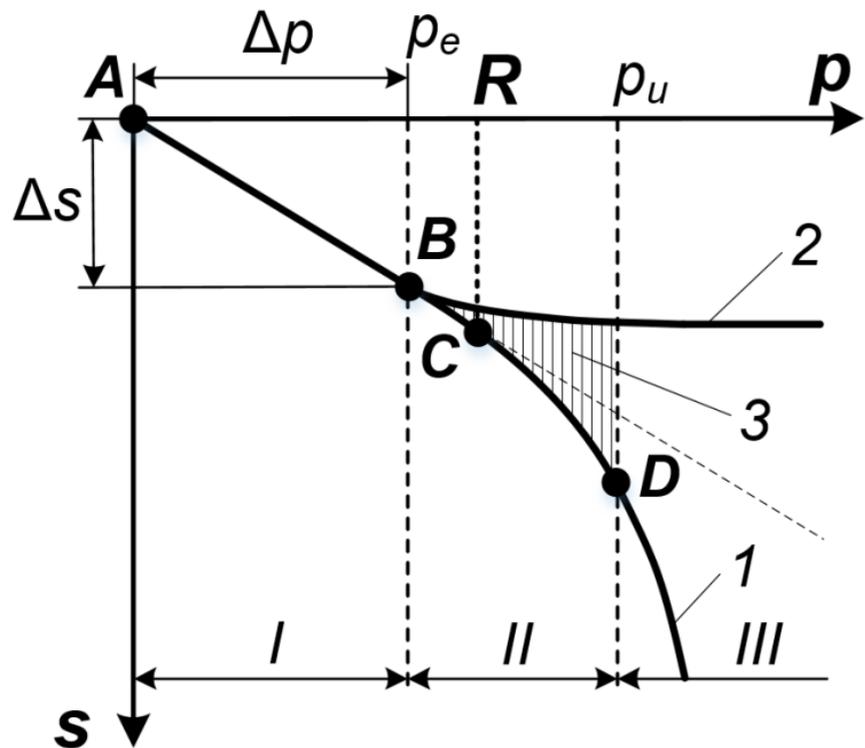
Модель линейно-деформируемого полупространства Буссинеска правдоподобна для грунтовых оснований под гибкими фундаментными плитами при отсутствии концентраций напряжений под торцами консольных участков плиты,

а также при давлении под плитой значительно ниже расчетного сопротивления грунта.

В данной модели упругого полупространства диаметр осадочной воронки стремится к бесконечности и отсутствует возможность учета пластических деформаций сдвига, за счет чего по краям плиты появляются завышенные фиктивные поперечные напряжения. Значительная доля энергии деформации перераспределяется из-под фундамента на формирование осадочной воронки в примыкающем массиве грунта.



Типы моделей линейно-деформируемых оснований в SCAD



В каких случаях правдоподобно могут быть описаны деформации основания идеально упругой моделью твердого массива грунта из объемных конечных элементов, аналитически представленной Ж. Буссинеском?

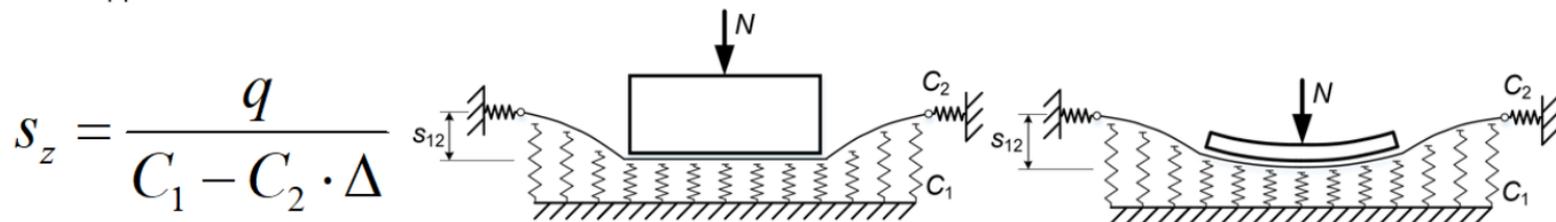


Типы моделей линейно-деформируемых оснований в SCAD

Двухконстантная контактная модель Пастернака

(СССР, 1954 г.)

Математическое приведение модели Буссинеска для упругого полупространства к поверхности контакта подошвы плиты:



$$s_z = \frac{q}{C_1 - C_2 \cdot \Delta}$$

где C_1 – коэффициент пропорциональности сжатия, Т/м³; C_2 – коэффициент пропорциональности

сдвига, Т/м; $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ - оператор Лапласа 1/м². Первый параметр “по смыслу аналогичен”

коэффициенту постели по гипотезе Винклера, однако имеет другое численное значение - тем больше отличается, чем более упругим является основание с более полой осадочной воронкой. Вторым коэффициентом сдвига учитывает работу упругого основания на сдвиг (срез). Если второй параметр принимать нулевым, то модель преобразуется в основание Винклера.



Типы моделей линейно-деформируемых оснований в SCAD

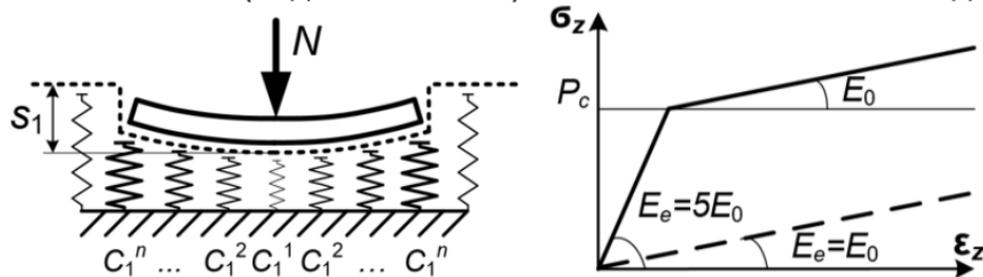
Билинейная модель основания Федоровского с переменным коэффициентом постели

(Федоровский В.Г., Безволев С.Г., "Прогноз осадок фундаментов мелкого заложения и выбор модели основания для расчета плит" / Основания, фундаменты и механика грунтов, 2000, № 4, с. 10-18)

Билинейная модель - это упругая модель, которая является дальнейшим усложнением модели линейно-деформируемого полупространства и учитывает наличие у грунта структурной прочности. Модель основания представлена в виде слоя с модулем общей деформации E_0 , опирающегося на значительно более жесткое полупространство с заданным модулем упругости E_e , который по умолчанию в 8 раз выше E_0 . Толщина более деформативного слоя зависит от нагрузки и структурной прочности грунта, а модуль деформации слоя получается осреднением по глубине.

Осадка какой-либо точки поверхности основания (подшвы плиты) может быть записана в виде:

$$s_z = \int_{z_f}^{z_d} \varepsilon_z dz$$



где ε_z - послойные деформации грунта; z - вертикальная координата, возрастающая вниз; z_f - координата подошвы плиты; $z_d = z_f + H$ - нижняя граница интегрирования; H - глубина сжим. толщи.



Типы моделей линейно-деформируемых оснований в SCAD

При определении s_z методом послойного суммирования без учета боковых деформаций ($\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$; $\varepsilon_z \neq 0$) в случае грунта со структурной прочностью для ε_z принимаются, зависимости:

$$\varepsilon_z = \beta \frac{\sigma_z - \sigma_0}{E_e} \quad \text{при } \sigma_z \leq p_c; \quad \varepsilon_z = \beta \left[\frac{p_c - \sigma_0}{E_e} + \frac{\sigma_z - p_c}{E_0} \right] \quad \text{при } \sigma_z > p_c$$

где σ_z - суммарное эффективное вертикальное напряжение $\sigma_z = \sigma_0 + \sigma_p$;

σ_0 - начальное вертикальное эффективное напряжение до начала приложения нагрузки, т.е. бытовое давление от собственного веса грунта с учетом давления от существующих соседних сооружений;

σ_p - дополнительное вертикальное эффективное напряжение (от вновь построенного сооружения);

E_0 - модуль общей (упругопластической) деформации;

$E_e = (4 \div 12)E_0$ - модуль упругой (обратимой) деформации, по умолчанию в КРОСС задан как $E_0/0,125 = 8E_0$ в соответствии с п.10.12 СП 22.13330.2011, который был исключен из редакции 2016 года. **В**

примечании к п. 5.6.31 дается указание о применении $5 E_0$ при отсутствии опытных данных для E_e ;

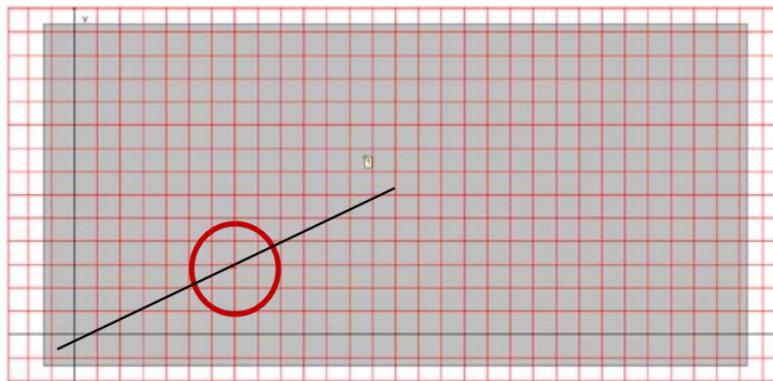
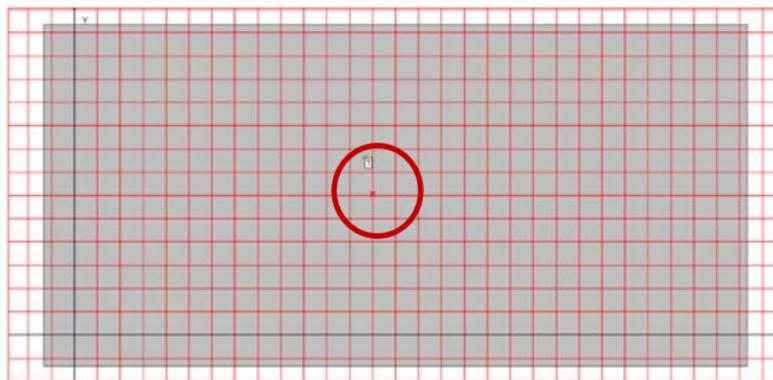
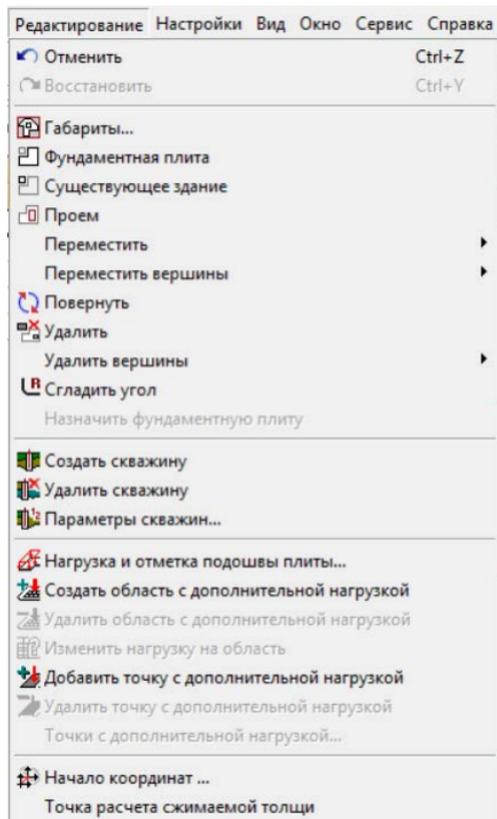
p_c - структурная прочность на сжатие, зависящая от плотности (пористости) грунта и давления, т.е. то давление, которое сложилось в массиве грунта за длительный срок от собственного веса грунта на рассматриваемой глубине в толще основания. **При глубине до 5 м допускается не учитывать второе слагаемое с E_e согласно п. 5.6.34 СП 22.13330.2016 и расчет выполнять только по E_0 .**

β - коэффициент, отражающий степень стесненности боковых деформаций в условиях компрессионного испытания ($\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0$).



Особенности задания параметров основания в КРОСС по СП 22.13330.2016

Уточнение для автом.расчета глубины сжимаемой толщи в центре плиты или в зоне средн.деформаций



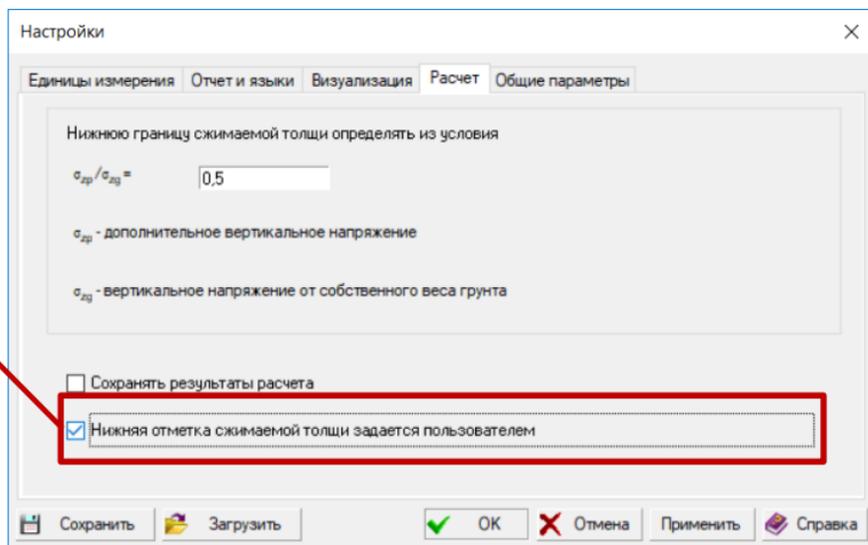
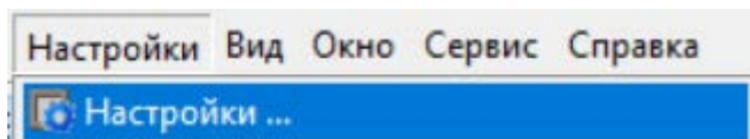
**Особенности задания параметров основания в КРОСС по СП 22.13330.2016**

Ручное задание толщины сж.толщи по СП 22.13330/ЗАПРОС и отказ от Ее при глубине котлована <5м

Грунты

№	Наименование	Удельный вес	Модуль деформации	Модуль упругости	Коз.фициент Пуассона	Коз.фициент переуплотнения	Давление переуплотнения	Цвет
		T/M ³	T/M ²	T/M ²			T/M ²	
1	Однородное осн...	2	1600	1600	0,25	1	2,5	

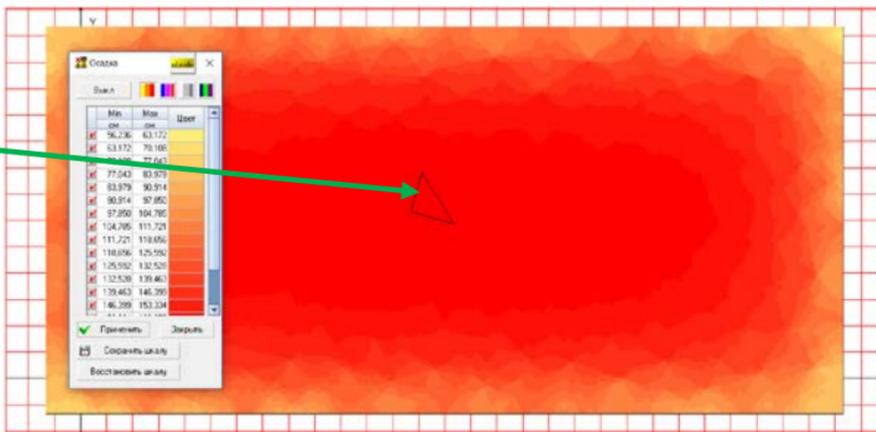
Применить
Добавить





Особенности задания параметров основания в КРОСС по СП 22.13330.2016

Детальный контроль расчета осадок методом посл.суммирования в центр.точке гибкой плиты в КРОСС



Результаты расчета

Координаты
 X 20,08 м
 Y 10,008 м

Коэффициент постели 167,069 Т/м²
 Осадка 166,977 см

Грунт	Отметка м
1 ИГЭ1	0,000
2 ИГЭ1	-12,600

№	Отметка м	Толщина слоя м	Грунт	Бытовое давление Т/м ²	Изменений напряжений Т/м ²	Начальные напряжения Т/м ²	Напряжение от нагрузок Т/м ²	Напряжение от единичной нагрузки (Alpha) м ²	Напряжение Т/м ²	Коэффициент сжимаемости (Beta)	Структурная прочность слоя на сжатие (Pc)		
											Т/м ²	Т/м ²	Т/м ²
1	-4,200	2,200	ИГЭ1	8,400	-3,985	4,415	277,975	0,996	282,389	0,951	10,900	0,173	31,683
2	-6,400	2,200	ИГЭ1	12,800	-3,900	8,900	272,184	0,975	281,084	0,880	15,300	0,170	37,778
3	-8,600	2,200	ИГЭ1	17,200	-3,723	13,477	259,956	0,931	273,434	0,910	19,700	0,162	36,562
4	-10,800	2,200	ИГЭ1	21,600	-3,477	18,123	242,886	0,869	261,009	0,936	24,100	0,152	34,547
5	-12,600	1,800	ИГЭ1	25,200	-3,250	21,950	227,048	0,812	248,999	0,955	27,700	0,142	26,407



Особенности задания параметров основания в КРОСС по СП 22.13330.2016

Контроль осадок и коэффициента Винклера в центральной точке гибкой плиты в ЗАПРОС/СП 22.13330

ЗАПРОС (64-бит) - Осадка фундамента

Файл Режимы Настройки Сервис Справка

Общие данные Нагрузки на пол Грунты Результаты

Проверка для уровня подошвы удовлетворена

Расчетное сопротивление грунта в уровне подошвы фундамента	29,979	T/m ²
Среднее давление от нагрузок (включая вес тела фундамента, грунта и пола) в уровне подошвы фундамента	20	T/m ²

Осадка определена для основания в виде упругого полупространства

Осадка основания	115,974	мм
Просадка от нагрузки	0	мм
Просадка от веса грунта	0	мм
Сумма осадки и просадки	115,974	мм
Глубина сжимаемой толщи	8,5	м
Винклеровский коэффициент постели	172,452	T/m ³

Осадка больше допустимой

Данные по слоям грунта

	Толщина слоя	Давление от нагрузки в средней точке слоя	Бытовое давление в средней точке слоя	Расчетное давление в уровне кровли разнородных слоев грунта	Осадка	Просадка
	м	T/m ²	T/m ²	T/m ²	мм	мм
1	4	18	4	0	80	0
2	4	12,49	12	76,742	33,307	0
3	0,5	8,698	16,5	0	2,668	0

Крен фундамента

Меню

2011

Отчет Справка



Особенности задания параметров основания в КРОСС по СП 22.13330.2016

Преобразование 3D модели КРОСС в равномерно слоистую модель для ЗАПРОС/ПАСТЕРНАК

Результаты расчета

Минимальное значение коэффициента постели	166,805	Т/м ³
Максимальное значение коэффициента постели	500,230	Т/м ³
Среднее значение коэффициента постели	203,844	Т/м ³
Среднеквадратичное отклонение коэффициента постели	0,009	Т/м ³
Максимальная осадка	167,205	см
Средняя осадка	141,668	см
Нижняя отметка сжимаемой толщи	-12,600	м
Толщина слоя сжимаемой толщи	10,600	м
Крен фундаментной плиты	0,116	град
Суммарная нагрузка	282925,428	Т
Объем извлеченного грунта	2024,000	м ³

Градации: 16

	Min	Max
	Т/м ³	Т/м ³
1	166,805	187,6
2	187,644	208,4
3	208,483	229,3
4	229,322	250,1
5	250,161	2
6	271	291,
7	291,84	312,6
8	312,679	333,5

C₂

Справка Применить

Пастернак

Грунты	Наименование	Модуль деформации	Коэффициент Пуассона	Толщина слоя	Цвет
		Т/м ²		м	
1	ИГЭ1	1600	0,25	12,6	

Результаты

Коэффициент сжатия C₁ 152,381 Т/м³

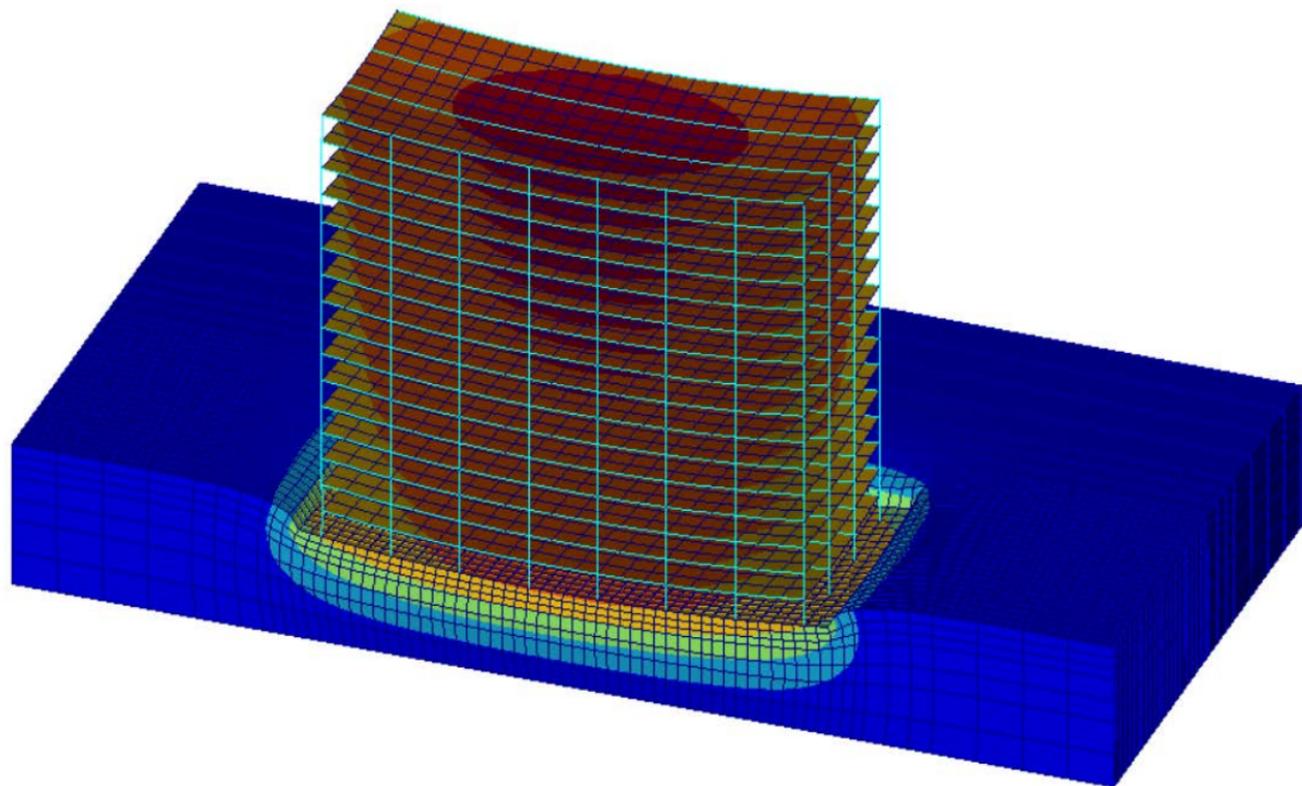
Коэффициент сдвига C₂ 2688 Т/м

Выход Отчет Справка





Рассматриваемая модель здания совместно с каждым из четырех типов оснований

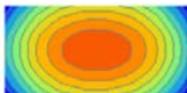




Деформации четырех типов линейно-деформируемых оснований с параметрами основания по контуру плиты и с законтурной областью на две глубины сж.толщи

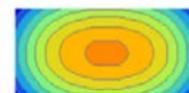
Модели без законтурной области:

- 1.1. Винклера;
- 1.2. ЛДО из объемных КЭ;
- 1.4. Федоровского в КРОСС;
- 1.3. Пастернака

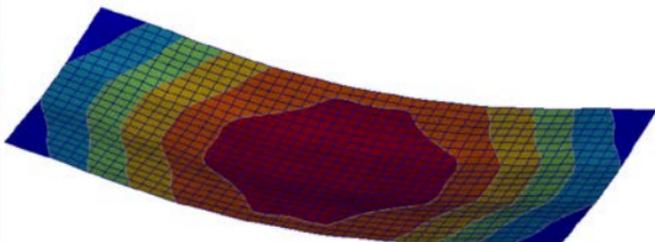
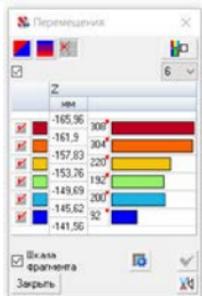


Модели с законтурной областью малой жесткости:

- 1.1. Винклера;
- 1.2. ЛДО из объемных КЭ;
- 1.4. Федоровского в КРОСС;
- 1.3. Пастернака

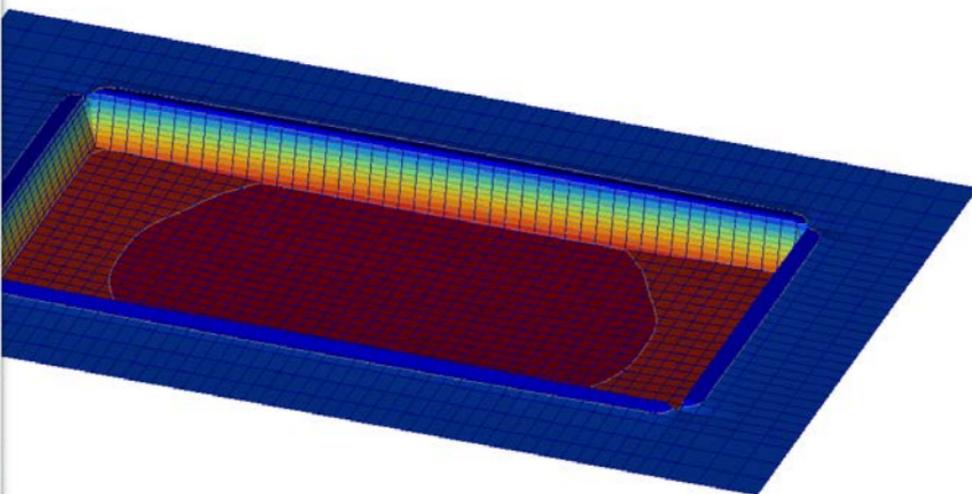


Расчетные схемы исследуемых конструкций

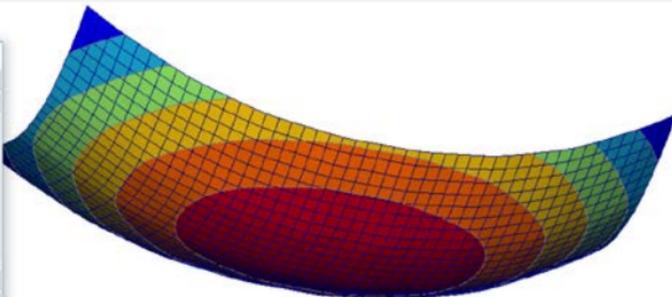
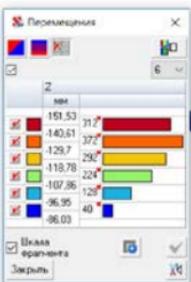


Модели с законтурной областью малой жесткости:

- 1.1. Винклера;
- 1.2. ЛДО из объемных КЭ;
- 1.4. Федоровского в КРОСС;
- 1.3. Пастернака.



Расчетные схемы исследуемых конструкций



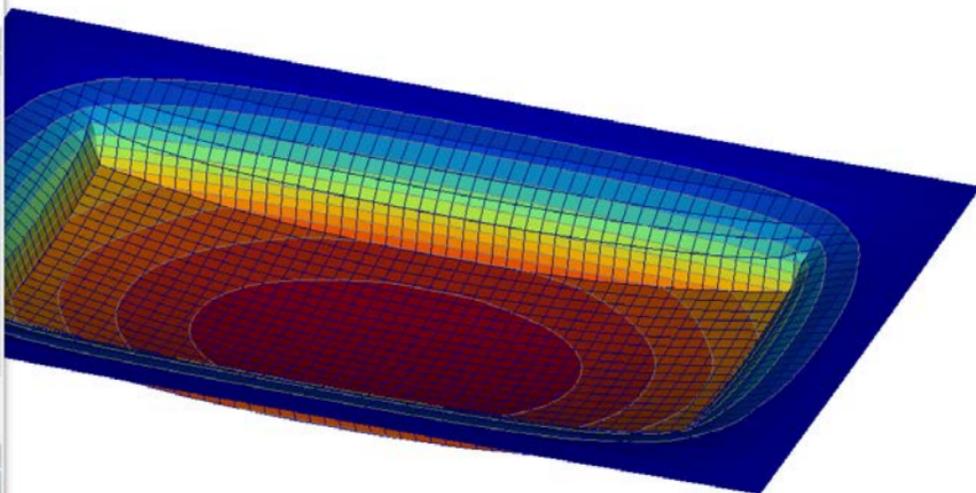
Модели с законтурной областью малой жесткости:

1.1. Винклера;

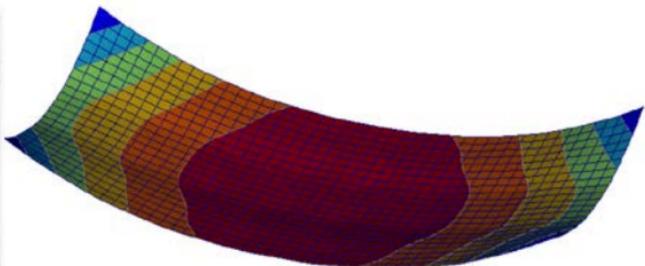
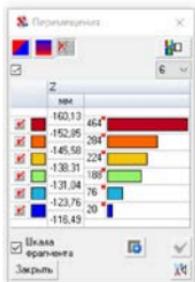
1.2. ЛДО из объемных КЭ;

1.4. Федоровского в КРОСС;

1.3. Пастернака.

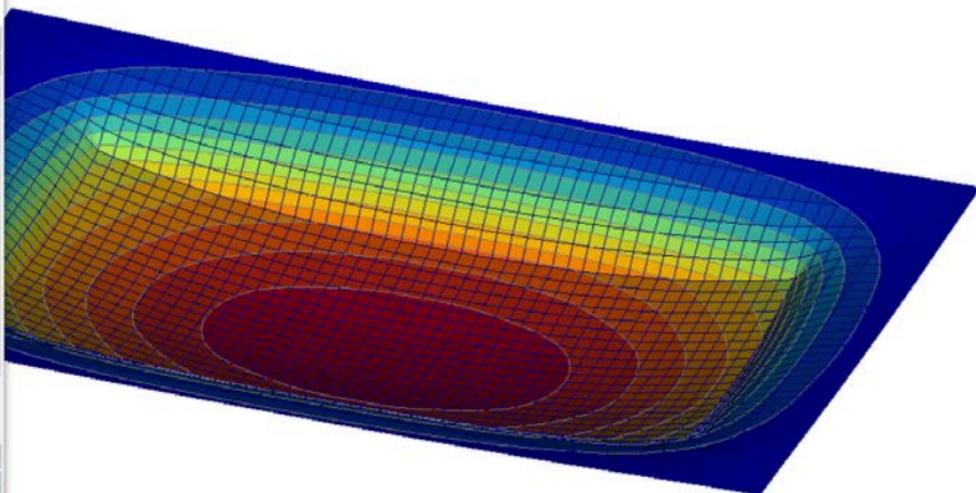


Расчетные схемы исследуемых конструкций

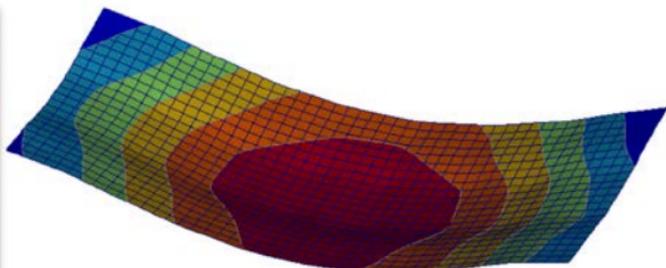
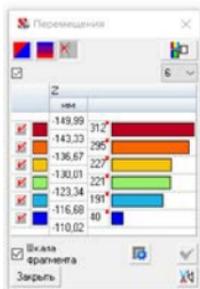


Модели с законтурной областью малой жесткости:

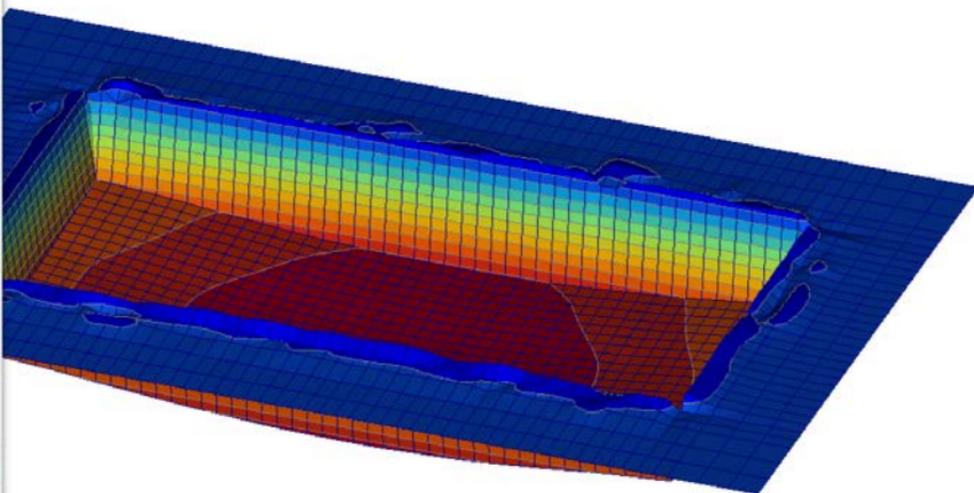
- 1.1. Винклера;
- 1.2. ЛДО из объемных КЭ;
- 1.4. Федоровского в КРОСС;
- 1.3. Пастернака.



Расчетные схемы исследуемых конструкций



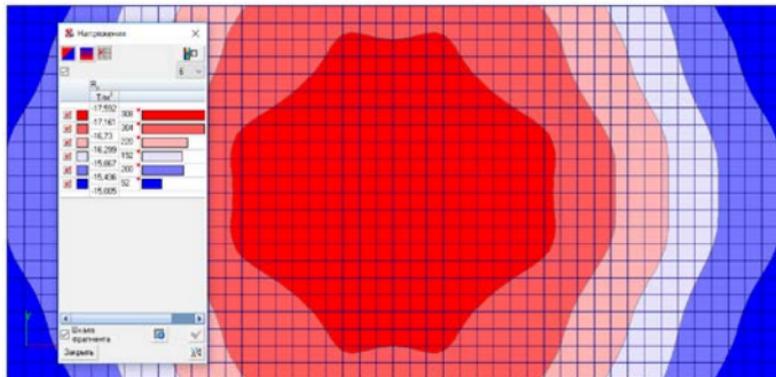
Модели с законтурной областью малой жесткости:
 1.1. Винклера; 1.2. ЛДО из объемных КЭ;
 1.4. Федоровского в КРОСС; 1.3. Пастернака.



Расчетные схемы исследуемых конструкций

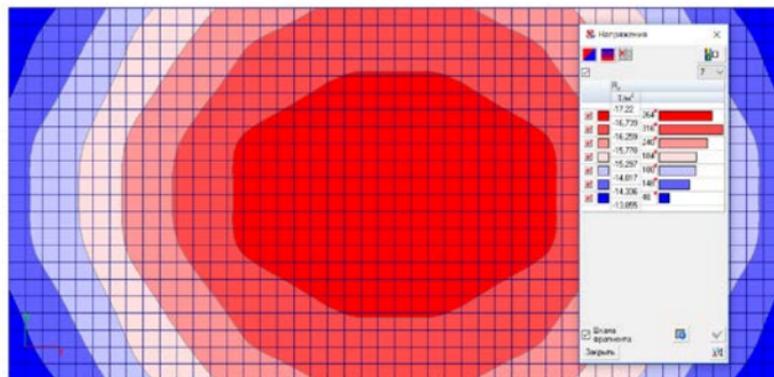
Модели без законтурной области:

- 1.1. Винклера; 1.2. ЛДО из объемных КЭ;
1.4. Федоровского в КРОСС; 1.3. Пастернака



Модели с законтурной областью малой жесткости:

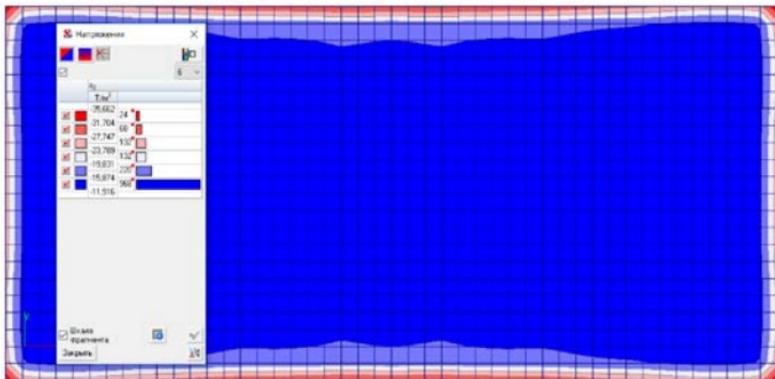
- 1.1. Винклера; 1.2. ЛДО из объемных КЭ;
1.4. Федоровского в КРОСС; 1.3. Пастернака



Расчетные схемы исследуемых конструкций

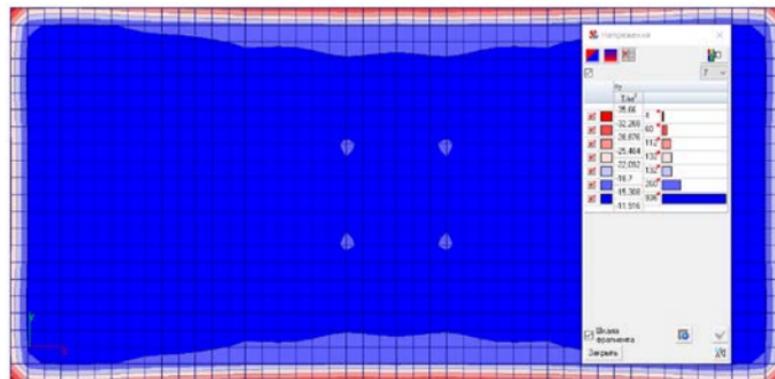
Модели без законтурной области:

- 1.1. Винклера;
- 1.2. ЛДО из объемных КЭ;
- 1.4. Федоровского в КРОСС;
- 1.3. Пастернака.



Модели с законтурной областью малой жесткости:

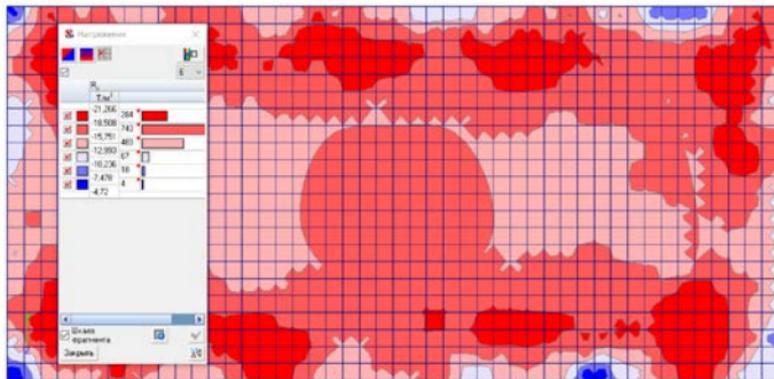
- 1.1. Винклера;
- 1.2. ЛДО из объемных КЭ;
- 1.4. Федоровского в КРОСС;
- 1.3. Пастернака.



Расчетные схемы исследуемых конструкций

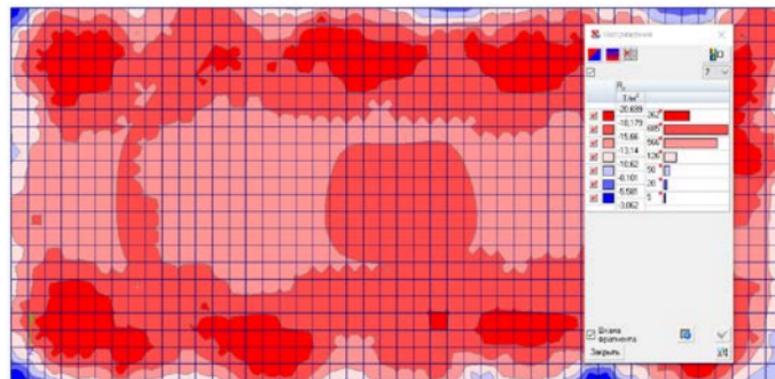
Модели без законтурной области:

- 1.1. Винклера;
- 1.2. ЛДО из объемных КЭ;
- 1.4. Федоровского в КРОСС;
- 1.3. Пастернака.



Модели с законтурной областью малой жесткости:

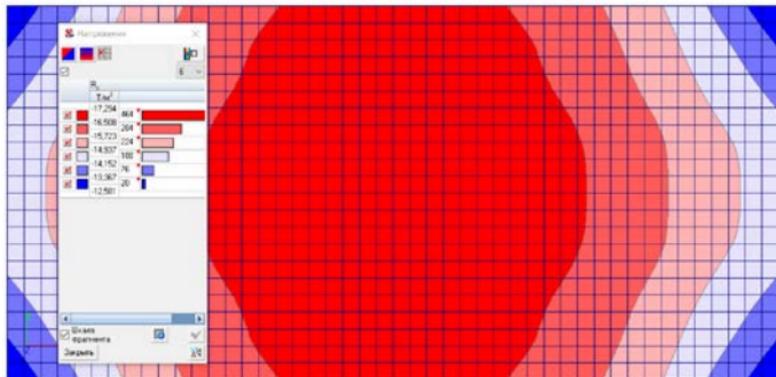
- 1.1. Винклера;
- 1.2. ЛДО из объемных КЭ;
- 1.4. Федоровского в КРОСС;
- 1.3. Пастернака.



Расчетные схемы исследуемых конструкций

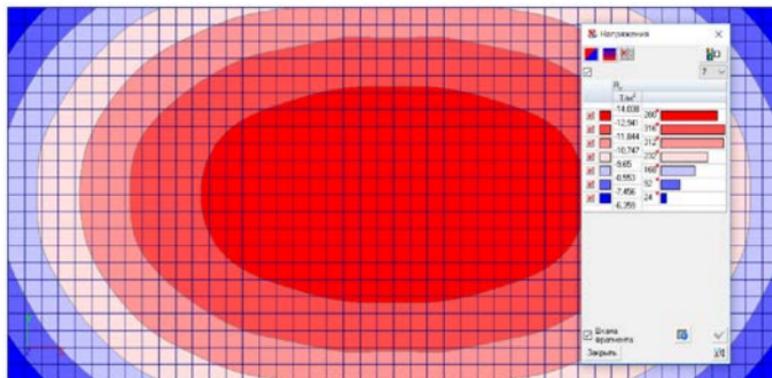
Модели без законтурной области:

- 1.1. Винклера;
- 1.2. ЛДО из объемных КЭ;
- 1.4. Федоровского в КРОСС; 1.3. Пастернака.



Модели с законтурной областью малой жесткости:

- 1.1. Винклера;
- 1.2. ЛДО из объемных КЭ;
- 1.4. Федоровского в КРОСС; 1.3. Пастернака.





Исходные данные к практической задаче

Анализ в постпроцессоре потенциальной энергии деформации для рассматриваемых моделей



Потенциальная энергия и суммарные нагрузки

Загружение	Коеф. надежности и	Доля длительно сти	Потенциальная энергия Т*м	Суммарные внешние нагрузки						
				X Т	Y Т	Z Т	U _x Т*м	U _y Т*м	U _z Т*м	
1	L1 - "Собственный в	1,1	1	627,155	0	0	10938,4	0	0	0
2	L2 - "Вес стен и пер	1,1	1	243,424	0	0	6804	0	0	0
3	L3 - "Полезное на пе	1,3	0,35	25,712	0	0	2211,3	0	0	0
4	L4 - "Вес снега_1"	1,4	0,5	0,174	0	0	158,76	0	0	0
5	L5 - "Собственный в	1,1	1	532,893	0	0	10938,4	0	0	0
6	L6 - "Вес стен и пер	1,1	1	208,11	0	0	6804	0	0	0
7	L7 - "Полезное на пе	1,3	0,35	21,982	0	0	2211,3	0	0	0
8	L8 - "Вес снега_2"	1,4	0,5	0,154	0	0	158,76	0	0	0
9	L9 - "Собственный в	1,1	1	598,615	0	0	10938,4	0	0	0
10	L10 - "Вес стен и пер	1,1	1	232,679	0	0	6804	0	0	0
11	L11 - "Полезное на г	1,3	0,35	24,577	0	0	2211,3	0	0	0
12	L12 - "Вес снега_3"	1,4	0,5	0,168	0	0	158,76	0	0	0
13	L13 - "Собственный	1,1	1	552,46	0	0	10938,4	0	0	0
14	L14 - "Вес стен и пер	1,1	1	214,836	0	0	6804	0	0	0
15	L15 - "Полезное на г	1,3	0,35	22,692	0	0	2211,3	0	0	0
16	L16 - "Вес снега_4"	1,4	0,5	0,158	0	0	158,76	0	0	0

Справка Таблица Отчет OK



Исходные данные к практической задаче

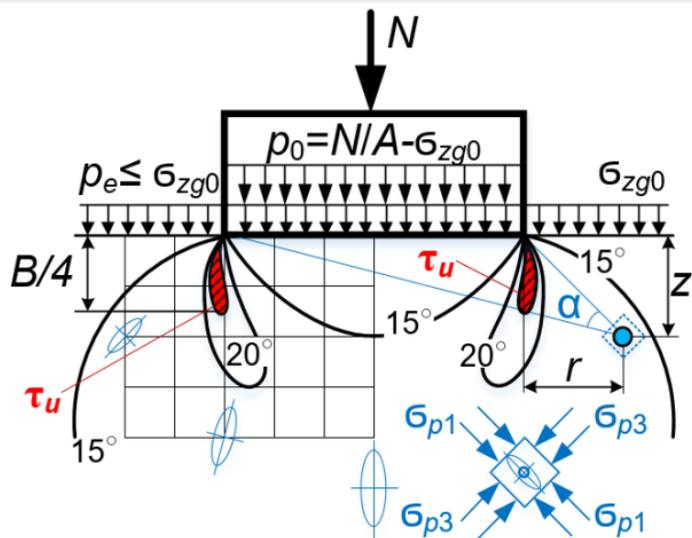
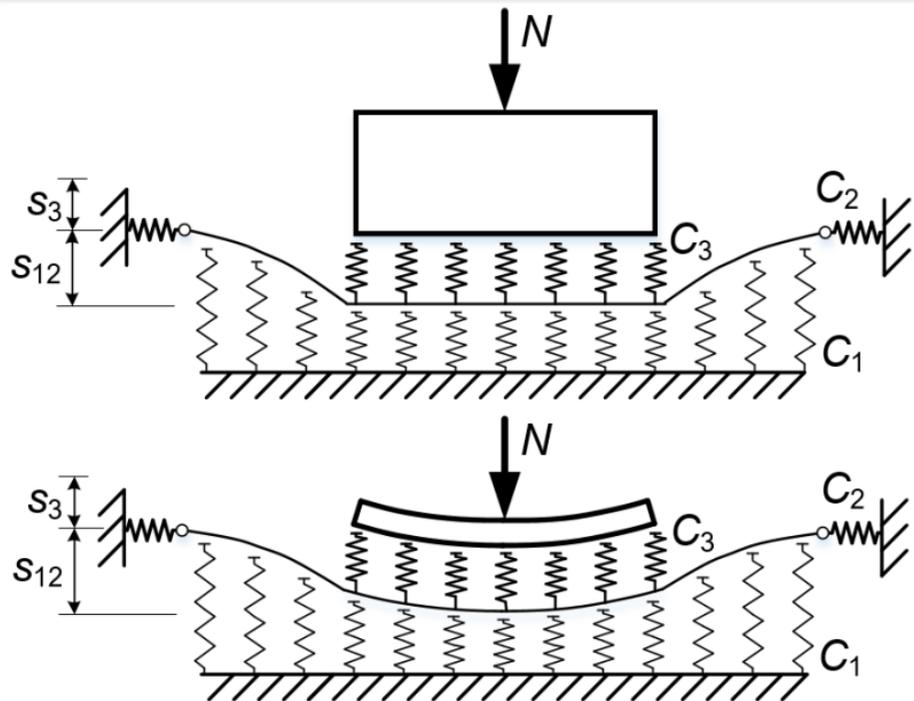
Анализ в постпроцессоре потенциальной энергии деформации для рассматриваемых моделей



	Загружение	Коеф. Надежн	Доля длит.	Потенц. энергия	П.энерг.с зак.обл.	Сумма.расч.нагрузки			Норм.длит
				Т*М	Т*М	X	Y	Z	Z
						T	T	T	T
1	L1 - "Собственный вес ЖБК_1"	1,1	1	627,2	607,5	0	0	10938	9944
2	L2 - "Вес стен и перегородок_1"	1,1	1	243,4	236,0	0	0	6804	6185
3	L3 - "Полезное на перекрытия_1"	1,3	0,35	25,7	24,9	0	0	2211	595
4	L4 - "Вес снега_1"	1,4	0,5	0,2	0,2	0	0	159	57
				896,5	868,7			20112	16782
5	L5 - "Собственный вес ЖБК_2"	1,1	1	532,9	532,9	0	0	10938	9944
6	L6 - "Вес стен и перегородок_2"	1,1	1	208,1	208,1	0	0	6804	6185
7	L7 - "Полезное на перекрытия_2"	1,3	0,35	22,0	22,0	0	0	2211	595
8	L8 - "Вес снега_2"	1,4	0,5	0,2	0,2	0	0	159	57
				763,1	763,1			20112	16782
9	L9 - "Собственный вес ЖБК_3"	1,1	1	598,6	451,8	0	0	10938	9944
10	L10 - "Вес стен и перегородок_3"	1,1	1	232,7	176,9	0	0	6804	6185
11	L11 - "Полезное на перекрытия_3"	1,3	0,35	24,6	18,7	0	0	2211	595
12	L12 - "Вес снега_3"	1,4	0,5	0,2	0,1	0	0	159	57
				856,0	647,6			20112	16782
13	L13 - "Собственный вес ЖБК_4"	1,1	1	552,5	541,7	0	0	10938	9944
14	L14 - "Вес стен и перегородок_4"	1,1	1	214,8	210,8	0	0	6804	6185
15	L15 - "Полезное на перекрытия_4"	1,3	0,35	22,7	22,3	0	0	2211	595
16	L16 - "Вес снега_4"	1,4	0,5	0,2	0,2	0	0	159	57
				790,1	774,9			20112	16782



Решение проблемы торцевых фиктивных напряжений предложено в модели Барвашова В.А.





Оценка глубины зоны развития пластических деформаций в Smath Studio может быть также выполнена как для упругого основания под ленточным штампом

SMath Viewer

Не для продажи или коммерческого использования

Исходные данные и глубина пластич. деф. Пластич. деформации на заданной глубине

Ширина фундамента B , м	18
Глубина заложения d , м	2
Угол внутреннего трения φ , град	25
Удельное сцепление грунта c , кПа	5
Удельный вес грунта γ , кН/м ³	16
Давление от веса грунта на уровне подошвы плиты σ_{z0} , кПа	32
Дополнительное давление под подошвой плиты p_0 , кПа	263
Задайте точность вычисления, м (Должна быть больше 0 и не менее 0,001)	0.01
Начать поиск зоны пластических деформаций с глубины, м	0.3
ПРИМЕЧАНИЕ: Непосредственно под краем штампа проверка на пластику может не выполняться.	
Глубина зоны пластических деформаций под краем штампа, м	2.01
ПРИМЕЧАНИЕ: Дробные численные значения задавать через символ точки "."	

SMath Viewer

Не для продажи или коммерческого использования

Исходные данные и глубина пластич. деф. Пластич. деформации на заданной глубине

Дополнительное давление под подошвой плиты p_0 , кПа	263
Глубина z анализируемой зоны пластических деформаций, м	2
$\alpha(z)$	1.4601
Главное максимальное напряжение σ_{p1} от дополнительной нагрузки, кПа	205.4
Главное минимальное напряжение σ_{p2} от дополнительной нагрузки, кПа	39
Нормальные напряжения σ_d от веса грунта на глубине z , кПа	64
Главное нормальное напряжение σ_1 , кПа	269.44
Главное нормальное напряжение σ_2 , кПа	103.03
Угол предельного отклонения равнодействующей на площадке сдвига θ_{max} , град	24.989
В зоне упругих деформаций $\theta_{max} < \varphi$	25
ПРИМЕЧАНИЕ: Дробные численные значения задавать через символ точки "."	



Оценка глубины зоны развития пластических деформаций в Smath Studio может быть также выполнена как для упругого основания под ленточным штампом

Исходные данные и глубина пластич.деф.

Ширина фундамента B, м

B := 18

Глубина заложения d, м

d := 2

Угол внутреннего трения φ_{II}, град

φ_{II} := 25

Удельное сцепление грунта с_{II}, кПа

c_{II} := 5

Удельный вес грунта γ_г, кН/м³

γ_г := 16

Давление от веса грунта на уровне подошвы плиты σ_{зг0}, кПа

σ_{зг0} := γ_г · d = 32

Дополнительное давление под подошвой плиты p₀, кПа

p₀ := 263

Задайте точность вычисления, м (Должна быть больше 0 и не менее 0,001)

z_{prec} := 0,01

Начать поиск зоны пластических деформаций с глубины, м

z₀ := 0,3

ПРИМЕЧАНИЕ: Непосредственно под краем штампа проверка на пластику может не выполняться.

Давление от веса грунта на уровне подошвы плиты σ_{зг0}, кПа

σ_{зг0} := γ_г · d

α(z) := arctg($\frac{B}{z}$)

θ_{max} := arcsin($\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2 + 2 \cdot c_{II} \cdot \text{ctg}(\varphi_{II} \cdot \frac{\pi}{180})}$) · $\frac{180}{\pi}$ = 28,11

H_{pl} := z = z₀

while θ_{max} ≥ φ_{II}

σ₁ := $\frac{p_0}{\pi} \cdot (\alpha(z) + \sin(\alpha(z))) + \sigma_{зг0} + \gamma_g \cdot z$

σ₂ := $\frac{p_0}{\pi} \cdot (\alpha(z) - \sin(\alpha(z))) + \sigma_{зг0} + \gamma_g \cdot z$

θ_{max} := arcsin($\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2 + 2 \cdot c_{II} \cdot \text{ctg}(\varphi_{II} \cdot \frac{\pi}{180})}$) · $\frac{180}{\pi}$

z := z + z_{prec}

if (z = z_{prec}) ∨ (z = z₀)

z := "Пластические деформации отсутствуют"

else

z := z

z

Глубина зоны пластических деформаций под краем штампа, м

H_{pl} = 2,01

ПРИМЕЧАНИЕ: Дробные численные значения задавать через символ точки ".".



Оценка глубины зоны развития пластических деформаций в Smath Studio может быть также выполнена как для упругого основания под ленточным штампом

Пластич. деформации на заданной глубине

Дополнительное давление под подошвой плиты p_0 , кПа

$$p_0 = 263$$

Глубина z анализируемой зоны пластических деформаций, м

$$z = 0,32$$

Угол видимости α под краем плиты на глубине z от низа подошвы, рад

$$\alpha(z) := \arctg\left(\frac{B}{z}\right)$$

$$\alpha(z) = 1,553$$

Главное максимальное напряжение σ_{p1} от дополнительной нагрузки, кПа

$$\sigma_{p1} := \frac{p_0}{\pi} \cdot (\alpha(z) + \sin(\alpha(z))) = 213,7$$

Главное минимальное напряжение σ_{p2} от дополнительной нагрузки, кПа

$$\sigma_{p2} := \frac{p_0}{\pi} \cdot (\alpha(z) - \sin(\alpha(z))) = 46,3$$

Нормальные напряжения σ_g от веса грунта на глубине z , кПа

$$\sigma_g := \sigma_{zg0} + \gamma_g \cdot z = 37,12$$

Главное нормальное напряжение σ_1 , кПа

$$\sigma_1 := \sigma_{p1} + \sigma_g = 250,83$$

Главное нормальное напряжение σ_2 , кПа

$$\sigma_2 := \sigma_{p2} + \sigma_g = 83,43$$

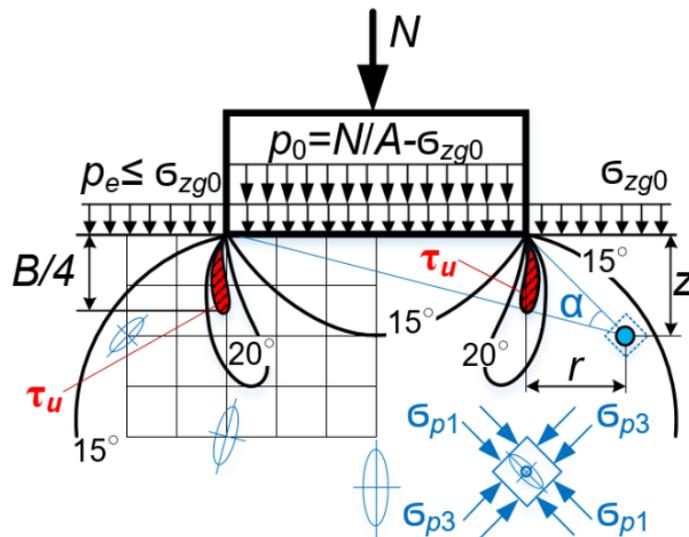
Угол предельного отклонения равнодействующей на площадке сдвига θ_{max} , град

$$\theta_{max} := \arcsin\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2 + 2 \cdot c_{II} \cdot \text{ctg}\left(\varphi_{II} \cdot \frac{\pi}{180}\right)}\right) \cdot \frac{180}{\pi} = 28,075$$

В зоне упругих деформаций $\theta_{max} < \varphi_{II} =$

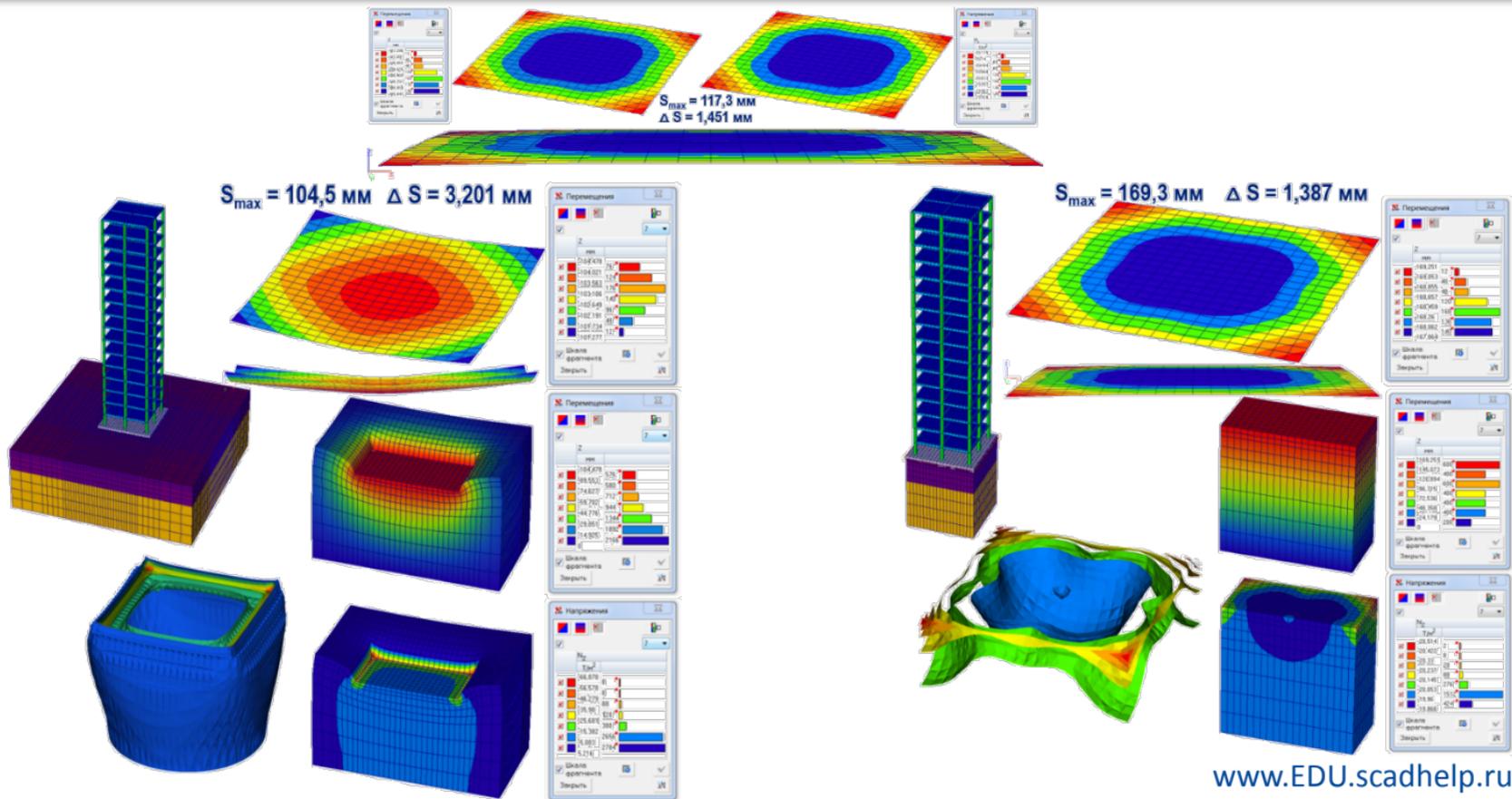
$$\varphi_{II} = 25$$

ПРИМЕЧАНИЕ: Дробные численные значения задавать через символ точки "."





Моделирование Винклерового слоя объемными конечными элементами





Современные нормативные требования к расчетным моделям сооружений и грунтового основания.

ФЗ №384 Статья 16 Требования к обеспечению механической безопасности здания или сооружения:

4. Расчетные модели строительных конструкций и основания должны отражать действительные условия работы здания или сооружения, отвечающие рассматриваемой расчетной ситуации.

Должны быть учтены:

- 1) факторы, определяющие напряженно деформированное состояние;
- 2) особенности взаимодействия элементов строительных конструкций между собой и основанием;
- 3) пространственная работа строительных конструкций;
- 4) геометрическая и физическая нелинейность;
- 5) пластические и реологические свойства материалов и грунтов;
- 6) возможность образования трещин;
- 7) возможные отклонения геометрических параметров от их номинальных значений.

Принцип Парето-Джордано:

«*Существенных факторов немного, а факторов тривиальных множество*» («*принцип 20/80*»)

Эти утверждения задают путь уточнения моделей: **существенные факторы (20%) следует оценивать** возможно точнее, **а несущественные (80%)** – с гораздо меньшей точностью. Создается серия моделей, в которой каждая дает более точный ответ по сравнению с классической линейной задачей.

Британский математик **Джордж Бокс** утверждает:

«*Все модели ошибочны, но некоторые из них полезны*»

Ошибочность не страшна, если модель правдоподобна. Правдоподобная модель становится полезной, если ее параметры откалибровать по экспериментальным данным, получив закон, формулу или алгоритм.

Особенности моделирования в SCAD 21.1.9.3 фундаментов на естественном основании согласно СП 22.13330.2016

Михайлов Виктор Сергеевич / mvs@scadsoft.ru

Руководитель центра научно-технической поддержки «SCAD SOFT Новосибирск»

Научный руководитель:

к.т.н. **Нуждин Леонид Викторович**, профессор НГАСУ, ПНИПУ



**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!**