

Применение программного комплекса SCAD Office для расчета стержневых конструкций

Москва 2023, Сизов Д.К.

# Основы расчета в SCAD

В основу комплекса положена система функциональных модулей, связанная между

собой единой информационной средой. Эта среда называется **проектом** и содержит полную информацию о расчетной схеме, сохраняется как файл с расширением **SPR** по умолчанию в папке **SDATA**. **Расчетная схема** (PC) – это идеализированное описание конструкции в виде узлов, линий, связей, назначений жесткостей, нагрузок.

#### Функциональные модули SCAD:

1) Графический препроцессор – ввод исходных данных в интерактивном графическом режиме, и Графический постпроцессор – графический анализ результатов расчета.

2) **Процессор** – выполнение статического и динамического расчетов, а также вычисления РСУ, комбинаций загружений и т.д.

3) Документирование расчетов.

4) Проектирующие постпроцессоры – подбор арматуры, проверка сопротивлений и подбор сечений элементов стальных конструкций.

#### Ориентировочная структура сателлитов SCAD



Основные программы, входящие в SCAD

# Типы конечных элементов

Все применяемые в настоящее время для расчета сооружений и конструкций программные комплексы построены на использовании МКЭ. В МКЭ расчетная схема сооружения или конструкции представляется как совокупность некоторых типовых конечных элементов (КЭ), соединенных между собой и с основанием в жестких узлах. Библиотека КЭ содержит:

1. различные виды стержневых систем, они характеризуются тем, что размер поперечного сечения много больше его длины (колонны, балки, ригели), к ним относятся шарнирно-стержневые элементы, рамные, балочного ростверка на упругом основании,

2. пластинчатые (плоские), они характеризуются тем, что – их толщина много больше остальных размеров (стена, фундаментная плита, перекрытие), к ним относятся плиты, оболочки, балки-стенки,

3. объемные элементы, в которых сопоставимы геометрические размеры,

4. специальные – моделируют условия, а не конструкцию, например, упругую связь, упруго-податливое соединение.

# Таблица типов конечных элементов

Стержни         схемы           1-10         Стержни         1. плоской фермы         2.5         N           2 - плоской рамы         3.5         N, M (My), Q(Qz)           3 - балочного ростверка         3.5         Mk(Mx), My, Qz           4 - пространственный         5         N, Mk, My, Qz, Mt           5 - пространственный         5         N, Mk, My, Qz, Mt           6 - пространстверка на упругом основании         5         N, Mk, My, Qz, Mt           10 - универсальный         1-5         в зависимости от           11-20         Пластины         3.5         Mx, My, My, Qz, Mt           21-30         Элементы для решения плоско-напряженной задачи теории упругости (балка-стенка) и расчет плоского деформированного состояния 21, 22, 29, 30, 23, 24, 27         1, 2, 4, 5         Для плоской дефо           31-40         Элементы для решения объемной задачи         4.5         Nx, Ny, Nz, Txz;           41-50         Оболочки         5         Nx, Ny, Nz, Txz;           71-80         Элементы для решения осесимметричной задачи теории упругости         11         Nx(r), Ny(), Nz(z), Txz(Trz)           71-80         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитыеающие полеречный сдвиги и кривизну         9         Nx, Ny, Nz, Txy, Txe(Trz)           81-90         Элементы для расчета многосло	ип КЭ	Содержание	Допустимые признаки	Вычисляемые усилия
1-10         Стержки 1 - плоской фермы         1, 2, 4, 5         N           2 - плоской рамы         2, 5         N, M (My), Q(Qz)           3 - балочного ростверка         3, 5         Mk(Mx), My, Qz, M           4 - пространственный         5         N, Mk, My, Qz, M           5 - пространственный         5         N, Mk, My, Qz, M           6 - пространственный         5         N, Mk, My, Qz, M           7 - балочного ростверка на упругом основании         3, 5         Mk(Mx), My, Qz, M           11-20         Пластины         3, 5         Mx, My, Mx, Qx, Qx, Qx, MK(Mx), My, Qz           21-30         Элементы для решения плоско-напряженной задачи теории упругости (балка-стенка) и расчет плоского деформированного состояния 21, 22, 29, 30, 23, 24, 27         1, 2, 4, 5         Для плоской дефо Nx, Ny, Nz, Txz;           31-40         Элементы для решения объемной задачи         4,5         Nx, Ny, Nz, Txz;           31-40         Элементы для решения объемной задачи         4,5         Nx, Ny, Nz, Txz;           41-50         Оболочки         5         Nx, Ny, Nz, Txy, T           41-50         Элементы для решения осесимметричной задачи теории упругости         11         Nx(r), Ny(), Nz(z), Txz (Trz)           71-80         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитыеающие поперечный сдвиге, обжатие споее и криеизну		-	схемы	
1 - плоской фермы         1, 2, 4, 5         N           2 - плоской рамы         2, 5         N, M (My), Q(Qz)           3 - балочного ростверка         3, 5         N, K(Mx), My, Qz           4 - пространственный         5         N, Mk, My, Qz, M:           5 - пространственный         5         N, Mk, My, Qz, M:           6 - пространственный         5         N, Mk, My, Qz, M:           7 - балочного ростверка на упругом основании         3, 5         Mk(Mx), My, Qz           10 - универсальный         1-5         в зависимости от           11-20         Пластины         3, 5         Mx, My, Mx, Qx,           21-30         Элементы для решения плоско-напряженной         3, 5         Mx, My, Mx, Qx,           21-30         Элементы для решения объемной задачи         1, 2, 4, 5         Для плоско-напря           3, 5         Эл. Му, Ny, Z, Tz;         29, 30,         1, 2, 4, 5         Для плоской дефи           23, 24, 27         4, 5         Nx, Ny, Nz, Txz;         1, 2, 4, 5         Nx, Ny, Nz, Txz;           31-40         Элементы для решения объемной задачи         4, 5         Nx, Ny, Mx, Txy, T           41-50         Оболочки         5         Nx, Ny, Mx, Mxy, Qx,           51-60         Упруго-податливые связи         11	-10	Стержни		112644011
2 - плоской рамы         2,5         N, M (My), Q(Qz)           3 - балочного ростверка         3,5         Mk(Mx), My, Qz           4 - пространственный фермы         5         N           5 - пространственный с учетом сдвига         5         N, Mk, My, Qz, Mt           6 - пространственный с учетом сдвига         5         N, Mk, My, Qz, Mt           7 - балочного ростверка на упругом основании         3,5         Mk(Mx), My, Qz, Mt           10 - универсальный         1-5         в зависимости от           11-20         Пластины         3,5         Mx, My, Mxy, Qx,           21-30         Элементы для решения плоско-напряженной задачи теории упругости (балка-стенка) и расчет плоского деформированного состояния 21, 22, 29, 30, 23, 24, 27         1, 2, 4, 5         Для плоской дефи           31-40         Элементы для решения объемной задачи теории упругости         5         Nx, Ny, Nz, Txz           31-40         Элементы для решения объемной задачи 4,5         Nx, Ny, Nz, Txz, Tx           41-50         Оболочки         5         Nx, Ny, Mx, Qx, Mx, Mx, Qx, Qx, Txz(Trz)           51-60         Упруго-податливые связи         11         Nx(f), Ny(),Nz(z), Txz(Trz)           61-70         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитывающие поперечный сдвис и кривизну         8         Nx, Ny, Nz, Txy, T вертикальное пер на границах	1	1 - плоской фермы	1,2,4,5	N
3 - балочного ростверка 4 - пространственной фермы 5 - пространственный         3,5 4,5 N         Mk(Mx), My, Oz N, Mx, My, Mz, Oz Nz, Ny, Mz, Tz Nz, Ny, Tzz Nz, Ny, Nz, Tzz Nz, Ny, Nz, Tzy Nz, Ny, Nz, Tzy	2	2 - плоской рамы	2,5	N, M (My), Q(Qz)
4 - пространственной фермы         4, 5         N           5 - пространственный         5         N, Mk, My, Qz, M:           6 - пространственный         5         N, Mk, My, Qz, M:           7 - балочного ростверка на упругом основании         3, 5         MK(Mx), My, Qz, M:           10 - универсальный         1-5         в зависимости от           11-20         Пластины         3, 5         Mx, My, Mxy, Qx,           21-30         Элементы для решения плоско-напряженной задачи теории упругости (балка-стенка) и расчет плоского деформированного состояния 21, 22, 29, 30, 23, 24, 27         1, 2, 4, 5         Для плоской дефс Nx, Ny, Nx, Ny, Txz; 4, 5           31-40         Элементы для решения объемной задачи         4, 5         Nx, Ny, Nx, Txz; 7           41-50         Оболочки         5         Nx, Ny, Nx, Txy, Mx, My, Mxy, Qx, 4, 5           41-50         Оболочки         5         Nx, Ny, Ny, Nz, Txy, Mx, My, Mxy, Qx, 5           51-60         Упруго-податливые связи         11         Nx(r), Ny(),Nz(z), Txz(Trz)           71-80         Элементы для решения осесимметричной задачи теории упругости         8         Nx, Ny, Nz, Txy, Txz(Trz)           81-90         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитывающие поперечный сдвиги и кривизну         9         14           9         Элементы для расчета многослойных	3	3 - балочного ростверка	3,5	MK(Mx), My, Qz
5 - пространственный         5         N, Mk, My, Qz, M:           6 - пространственный с учетом сдвига         5         N, Mk, My, Qz, M:           7 - балочного ростверка на упругом основании         3,5         B зависимости от           10 - универсальный         1-5         в зависимости от           11-20         Пластины         3,5         Mx, My, My, Qz, M:           21-30         Элементы для решения плоско-напряженной задачи теории упругости (балка-стенка) и расчет плоского деформированного состояния 21, 22, 29, 30, 23, 24, 27         1, 2, 4, 5         Для плоской дефо Nx, Ny, Nz, Txz;           29, 30, 23, 24, 27         4, 5         Nx, Ny, Nz, Txz;         Mx, My, Mxy, Qx, M:           31-40         Элементы для решения объемной задачи         4,5         Nx, Ny, Nz, Txz;           31-40         Элементы для решения объемной задачи         4,5         Nx, Ny, Nz, Txz;           41-50         Оболочки         5         Nx, Ny, Mxy, Qx, Mx; My, Mxy, Qx, Txz; Tr           51-60         Упруго-податливые связи         5         Nx, Ny, Nz, Txy, Txz(Trz)           71-80         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитыевающие поперечный сдвиги и кривизну         8         Nx, Ny, Nz, Txy, T вертикальное пер на границах слоен на границах слоен на границах слоен на границах слоен на граница	4	4 - пространственной фермы	4,5	N
6 - пространственный с учетом сдвига 7 - балочного ростверка на упругом основании 10 - универсальный         5         N, Mk, My, Qz, M: 3, 5           11-20         Пластины         3, 5         Мх, Му, Qz, M: 1-5           21-30         Элементы для решения плоско-напряженной задачи теории упругости (балка-стенка) и расчет плоского деформированного состояния 21, 22, 29, 30, 23, 24, 27         1, 2, 4, 5         Для плоской дефс Nx, Ny, Txz; 29, 30, 23, 24, 27         1, 2, 4, 5           31-40         Элементы для решения объемной задачи теории упругости         5         Nx, Ny, Nz, Txz; Mx, Ny, Nz, Txz; 4, 5           31-40         Элементы для решения объемной задачи теории упругости         5         Nx, Ny, Nz, Txz; Mx, Ny, Nz, Txz, Tz; 71-80           31-60         Упруго-податливые связи 61-70         5         Nx, Ny, Nz, Txy, Txz, Mx, My, Mxy, Qx, 51-60           51-70         Элементы для решения осесимметричной задачи теории упругости         11         Nx(r), Ny(),Nz(z), Txz(Trz)           71-80         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, <i>учитыевющие поперечный сдвиги и кривизну</i> 8         Nx, Ny, Txy, T вертикальное пер на границах слоен           81-90         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, <i>учитыевющие ме</i> жслоевые сдвиги и кривизну         9           150-160         Нуль-злементы для расчета на заданные         1-5	E	5 - пространственный	5	N, MK, My, Qz, Mz, Qy
7 - балочного ростверка на упругом основании 10 - универсальный         3,5         Мк(Мх), Му, Ог в зависимости от           11-20         Пластины         3,5         Мх, Му, Мх, Ох, в зависимости от           21-30         Элементы для решения плоско-напряженной задачи теории упругости (балка-стенка) и расчет плоского деформированного состояния 21, 22, 29, 30, 23, 24, 27         Для плоско-напря задачи: Nx, Ny, Txz; 29, 30, 23, 24, 27         Для плоской дефо Nx, Ny, Nz, Txz; 4, 5           31-40         Элементы для решения объемной задачи теории упругости         4,5         Nx, Ny, Nz, Txz; Nx, Ny, Nz, Txz; 5           41-50         Оболочки         5         Nx, Ny, Nz, Txy, Mx, My, Mxy, Qx, 5           51-60         Упруго-податливые связи 61-70         5         Nx, Ny, Nz, Txy, Mx, My, Mxy, Qx, 5           61-70         Элементы для решения осесимметричной задачи теории упругости         11         Nx(f), Ny(),Nz(z), Txz(Trz)           71-80         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, <i>учитыеающие поперечный сдеие, обжатие споев и кривизну</i> 8         Nx, Ny, Nz, Txy, T вертикальное пер на границах слоев           81-90         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, <i>учитыеающие</i> межслоевые сдвиги и кривизну         9           150-160         Нуль-злементы для расчета на заданные         1-5	6	6 - пространственный с учетом сдвига	5	N, MK, MY, QZ, MZ, QY
10 - универсальный         1-5         в зависимости от           11-20         Пластины         3,5         Мх, Му, Мху, Qх,           21-30         Элементы для решения плоско-напряженной задачи теории упругости (балка-стенка) и расчет плоского деформированного состояния 21, 22, 29, 30,         Для плоско-напря задачи: Nx, Ny, Txz;           29, 30,         1, 2, 4, 5         Для плоской дефо Nx, Ny, Nz, Txz;           23, 24, 27         4,5         Nx, Ny, Nz, Txz;           31-40         Элементы для решения объемной задачи теории упругости         4,5         Nx, Ny, Nz, Txz;           41-50         Оболочки         5         Nx, Ny, Mxy, Qx,           51-60         Упруго-податливые связи         11         Nx(f), Ny(),Nz(z), тxz(Trz)           71-80         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитыеающие поперечный сдеиг, обжатие споев и кривизну         8         Nx, Ny, Nz, Txy, T           81-90         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитыеающие межслоевые сдвиги и кривизну         9         1-5	7	7 - балочного ростверка на упругом основании	3,5	Mrx(Mx), My, Qz
11-20         Пластины         3,5         Мх, Му, Мху, Qх,           21-30         Элементы для решения плоско-напряженной задачи теории упругости (балка-стенка) и расчет плоского деформированного состояния 21, 22, 29, 30, 23, 24, 27         Для плоско-напря задачи: Nx, Ny, Txz; 29, 30, 23, 24, 27         Для плоской дефи Nx, Ny, Nz, Txz           31-40         Элементы для решения объемной задачи теории упругости         4,5         Nx, Ny, Nz, Txz           31-40         Элементы для решения объемной задачи теории упругости         4,5         Nx, Ny, Nz, Txz, Tz           41-50         Оболочки         5         Nx, Ny, Nz, Txy, Txy, Txy, Txy, Txy, Txy, Txy, Txy	1	10 - универсальный	1-5	в зависимости от типа схемы
21-30         Элементы для решения плоско-напряженной задачи теории упругости (балка-стенка) и расчет плоского деформированного состояния 21, 22, 29, 30, 23, 24, 27         Для плоско-напря задачи: Nx, Ny, Txz; 29, 30, 23, 24, 27         Лля плоско-напря задачи: Nx, Ny, Txz; Для плоской дефи Nx, Ny, Nz, Txz           31-40         Элементы для решения объемной задачи теории упругости         4,5         Nx, Ny, Nz, Txz; Mx, Ny, Nz, Txz, Tzz           31-40         Элементы для решения объемной задачи теории упругости         5         Nx, Ny, Nz, Txy, Txz, Mx, My, Mxy, Qx, Mx, My, Mxy, Qx,           51-60         Упруго-податливые связи         11         Nx(r), Ny(),Nz(z), Txz(Trz)           71-80         Элементы для решения осесимметричной задачи теории упругости         11         Nx, Ny, Nz, Txy, T macтин и оболочек, учитыеающие поперечный сдвиг, обжатие споев и криеизну         8         Nx, Ny, Nz, Txy, T вертикальное пер на границах слоен           81-90         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитыеающие межслоевые сдвиги и кривизну         9         1-5	1-20	Пластины	3,5	Mx, My, Mxy, Qx, Qy
задачи теории упругости (балка-стенка) и расчет плоского деформированного состояния 21, 22, 29, 30, 23, 24, 27 31-40 <b>Элементы</b> для решения объемной задачи теории упругости 41-50 41-50 5 5 5 5 71-60 5 71-80 71-70 71-80 71-70 71	1-30 :	Элементы для решения плоско-напряженной		Для плоско-напряженной
плоского деформированного состояния 21, 22, 29, 30, 23, 24, 27         Nx, Ny, Txz; Для плоской дефи Nx, Ny, Nz, Txz           31-40         Элементы для решения объемной задачи теории упругости         4,5         Nx, Ny, Nz, Txz           41-50         Оболочки         5         Nx, Ny, Mz, Txy, Mx, Ny, Nz, Txy, Mx, My, Mxy, Qx,           51-60         Упруго-податливые связи         11         Nx(r), Ny(),Nz(z), Txz(Trz)           61-70         Элементы для решения осесимметричной задачи теории упругости         11         Nx(r), Ny(),Nz(z), Txz(Trz)           71-80         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитыеающие поперечный сдеиг, обжатие споее и кривизну         8         Nx, Ny, Nz, Txy, T вертикальное пер на границах слоев           81-90         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитыеающие межслоевые сдвиги и кривизну         9           150-160         Нуль-злементы для расчета на заданные         1-5	3	задачи теории упругости (балка-стенка) и расчет		задачи:
29, 30, 23, 24, 27         1, 2, 4, 5         Для плоской дефи Nx, Ny, Nz, Txz           31-40         Элементы для решения объемной задачи теории упругости         4,5         Nx, Ny, Nz, Txy, T           41-50         Оболочки         5         Nx, Ny, Nz, Txy, T           41-50         Упруго-податливые связи         5         Nx, Ny, Mzy, Qx, Mx, My, Mxy, Qx,           51-60         Упруго-податливые связи         11         Nx(r), Ny(),Nz(z), Txz(Trz)           61-70         Элементы для решения осесимметричной задачи теории упругости         11         Nx(r), Ny(),Nz(z), Txz(Trz)           71-80         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитыеающие поперечный сдвиг, обжатие споев и кривизну         8         Nx, Ny, Nz, Txy, T вертикальное пер на границах слоев           81-90         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитывающие межслоевые сдвиги и кривизну         9           150-160         Нуль-злементы для расчета на заданные         1-5	r.	плоского деформированного состояния 21, 22,		Nx, Ny, Txz;
23, 24, 27         4, 5         Nx, Ny, Nz, Txz           31-40         Элементы для решения объемной задачи теории упругости         4,5         Nx, Ny, Nz, Txy, T           41-50         Оболочки         5         Nx, Ny, Nz, Txy, Mx, My, Mxy, Qx, Mx, My, Mxy, Qx, 51-60         5           51-60         Упруго-податливые связи         11         Nx(r), Ny(),Nz(z), Txz(Trz)         7           71-80         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитывающие поперечный сдвиг, обжатие слоев и кривизну         8         Nx, Ny, Nz, Txy, T вертикальное пер на границах слоев           81-90         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитывающие межслоевые сдвиги и кривизну         9         145           150-160         Нуль-злементы для расчета на заданные         1-5         15	2	29, 30,	1, 2, 4, 5	Для плоской деформации:
31-40         Элементы для решения объемной задачи теории упругости         4,5         Nx, Ny, Nz, Txy, T           41-50         Оболочки         5         Nx, Ny, Txy, Mx, My, Mxy, Qx,           51-60         Упруго-податливые связи         5         Nx(r), Ny(),Nz(z), тxz(Trz)           61-70         Элементы для решения осесимметричной задачи теории упругости         11         Nx(r), Ny(),Nz(z), Txz(Trz)           71-80         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитывающие поперечный сдвиг, обжатие споев и кривизну         8         Nx, Ny, Nz, Txy, T вертикальное пер на границах слоев           81-90         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитывающие межслоевые сдвиги и кривизну         9           150-160         Нуль-злементы для расчета на заданные         1-5	2	23, 24, 27	4.5	Nx, Ny, Nz, Txz
теории упругости         5         Nx, Ny, Txy, Mx, My, Mxy, Qx,           41-50         Оболочки         5         Nx, Ny, Txy, Mx, My, Mxy, Qx,           51-60         Упруго-податливые связи         11         Nx(r), Ny(),Nz(z), тxz(Trz)           61-70         Элементы для решения осесимметричной задачи теории упругости         11         Nx(r), Ny(),Nz(z), Txz(Trz)           71-80         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, <i>учитывающие поперечный</i> с <i>двиг, обжатие споев и кривизну</i> 8         Nx, Ny, Nz, Txy, T вертикальное пер на границах слоев           81-90         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, <i>учитывающие</i> межслоевые сдвиги и кривизну         9           150-160         Нуль-злементы для расчета на заданные         1-5	1-40 3	Элементы для решения объемной задачи	4,5	Nx, Ny, Nz, Txy, Txz, Tyz
41-50       Оболочки       5       Nx, Ny, Txy, Mx, My, Mxy, Qx, My, Mx, My, Mxy, Qx, Mx, My, Mxy, Qx, Mx, My, Mxy, Qx, My, My, Mxy, Qx, My, My, Mxy, Qx, My, My, My, My, My, My, My, My, My, My	T	теории упругости		
51-60       Упруго-податливые связи       Мх, Му, Мху, Qx,         61-70       Элементы для решения осесимметричной задачи теории упругости       11       Nx(r), Ny(),Nz(z),         71-80       Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, <i>учитывающие поперечный сдвиг, обжатие споев и кривизну</i> 8       Nx, Ny, Nz, Txy, T вертикальное пер на границах слоев сдвиги и кривизну         81-90       Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, <i>учитывающие</i> межслоевые сдвиги и кривизну       9         150-160       Нуль-злементы для расчета на заданные       1-5	1-50	Оболочки	5	Nx, Ny, Txy,
51-60       Упруго-податливые связи         61-70       Элементы для решения осесимметричной задачи теории упругости       11       Nx(r), Ny(),Nz(z), Txz(Trz)         71-80       Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитывающие поперечный сдеиг, обжатие споев и кривизну       8       Nx, Ny, Nz, Txy, T вертикальное пер на границах слоев сдвиги и кривизну         81-90       Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитывающие межслоевые сдвиги и кривизну       9         150-160       Нуль-злементы для расчета на заданные       1-5				Mx, My, Mxy, Qx, Qy
61-70       Элементы для решения осесимметричной задачи теории упругости       11       Nx(r), Ny(),Nz(z), Txz(Trz)         71-80       Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитывающие поперечный сдвиг, обжатие слоев и кривизну       8       Nx, Ny, Nz, Txy, T вертикальное пер на границах слоев сдвиги и кривизну         81-90       Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитывающие межслоевые сдвиги и кривизну       9         150-160       Нуль-злементы для расчета на заданные       1-5	1-60	Упруго-податливые связи		
задачи теории упругости         Тхг(Trz)           71-80         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитывающие поперечный сдвиг, обжатие слоев и кривизну         8         Nx, Ny, Nz, Txy, T вертикальное пер на границах слоев           81-90         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитывающие межслоевые сдвиги и кривизну         9           150-160         Нуль-элементы для расчета на заданные         1-5	1-70	Элементы для решения осесимметричной	11	Nx(r), $Ny(), Nz(z)$ ,
71-80         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитывающие поперечный сдвиг, обжатие слоев и кривизну         8         Nx, Ny, Nz, Txy, T вертикальное пер на границах слоев           81-90         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитывающие межслоевые сдвиги и кривизну         9           150-160         Нуль-элементы для расчета на заданные         1-5	3	задачи теории упругости		Txz(Trz)
<ul> <li>пластин и оболочек, учитывающие поперечный сдвиг, обжатие слоев и кривизну</li> <li>81-90 Элементы для расчета многослойных пологих 9 пластин и оболочек, учитывающие межслоевые сдвиги и кривизну</li> <li>150-160 Нуль-элементы для расчета на заданные</li> <li>1-5</li> </ul>	1-80 \$	Элементы для расчета многослойных пологих	8	Nx, Ny, Nz, Txy, Txz, Tyz,
сдеиг, обжатие слоев и кривизну 81-90 Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, <i>учитывающие</i> межслоевые сдвиги и кривизну 150-160 Нуль-элементы для расчета на заданные 1-5	r	пластин и оболочек, учитывающие поперечный		вертикальное перемещение
81-90         Элементы для расчета многослойных пологих пластин и оболочек, учитывающие межслоевые сдвиги и кривизну         9           150-160         Нуль-элементы для расчета на заданные         1-5	0	сдвиг, обжатие споев и кривизну		на границах слоев
пластин и оболочек, <i>учитывающие</i> межслоевые сдвиги и кривизну 150-160 Нуль-элементы для расчета на заданные 1-5	1-90	Элементы для расчета многослойных пологих	9	15 N
сдвиги и кривизну 150-160 Нуль-элементы для расчета на заданные 1-5	r	пластин и оболочек, учитывающие межслоевые	21	
150-160 Нуль-элементы для расчета на заданные 1-5	0	сдвиги и кривизну		
	50-160 H	Нуль-элементы для расчета на заданные	1-5	
перемещения	r	перемещения		
200 Пустой элемент любой	1 00	Пустой элемент	любой	

Приводится таблица типов КЭ, включенная в руководство по одной из версий <sub>5</sub> SCAD

# Связь между локальными и глобальными осями координат (на примере стержневых элементов)

В МКЭ каждый КЭ рассматривается не только к общей системе координат, но и в своей собственной (местной) системе координат. В местной системе координат выдаются результаты расчета по определению усилий *М, Q, N* в узлах элементов и в его сечениях.

Вся стержневая система рассматривается в общей системе осей координат. Общая система используется при назначении нагрузки на расчетную схему, и в этой системе определяются перемещения узлов расчетной схемы. В SCAD используется правая система осей координат XYZ. Плоская стержневая система находится в плоскости XOZ



#### Описание жесткостей стержневых элементов

Жесткостные характеристики стержневых КЭ

Для универсального пространственного конечного элемента задаются следующие жесткостные характеристики упругой части в соответствии с типом стержневой процедуры, описанной в таблице на слайде 3:

- **ЕF** продольная жесткость (т);
- Ely изгибная жесткость относительно оси Y1 (тм2).
- Elz изгибная жесткость относительно оси Z1 (тм2);
- **Glk** -крутильная жесткость (тм2).

GFy - сдвиговая жесткость относительно оси Y (т).

GFz - сдвиговая жесткость относительно оси Z (т);

Далее в таблице приводится номер типа КЭ и задаваемые жесткосные характеристики элемента

Тип стержневой процедуры	Перечень задаваемых жесткостей
1	EF
2	EF EIy [GFy)
3, 7	EIy Gik
4	EF
5, 6	EF EIy EIz Gik [GFy GFz]
10	По признаку схемы

#### Описание усилий стержневых элементов

В зависимости от типа конечного элемента (его номера) возможен о возникновение следующих

усилий:

Шарниры

Местные оси Жесткие вставки

Коэффициенты постели Преднапряжение Дополнительные данные Узлы: выбрать

Выбрать примыкающие элементы Выбрать Удалить

Информация об элементе	Тип КЭ	Краткое название	Плоскость (или параллельная ей)	Перемещения узлов	Усилия
Указание на схеме	1	Шарнирный стержень плоской фермы	XOZ	X. Y	N
Номер	2	Стержень плоской рамы	XOZ	X. Y. UY	N. MY. QZ
элемента 9 Поиск	3	Плоская изгибаемая балка	XOY	Z UX Y	MKn. MY, QZ
No.	7	То же, на упругом основании	XOY	Z. UX. UY	Мкр. MY. QZ. Rz
x-10-512	4	Шарнирный стержень пространственной	произвольно	X. Y. Z	N
		фермы			
Информация Тип: <Пространственный стержень>	5,10	Пространственный рамный стержень	произвольно	X, Y, Z	N, Mĸp, MY, QZ, MZ,
Длина стержня 5 м				07,01,02	31
Длина гибкой части 5 м					
Управление					
Vля; <> Vзлы					
Принадлежность группам	И	Спользование кнопки · «Информ			
Тип элемента - 5	<b>V</b>	спользование кнопки . «информ			яст определить ти
Номер типа жесткости - ?	H	азначенного элемента, его жестко	стные характе	рискики, коэф	официент постели.
Количество сечений - 3					<b>O</b> = = <b>X</b> = = = = = = = = = = = = = = = = = = =
Нагрузки	Tá	акже наличие жестких вставок и	<b>V3ЛОВ КОНЕЧНО</b>	го элемента.	Своиства конечно

Использование кнопки : «Информация об элементе» позволяет определить тип назначенного элемента, его жесткостные характерискики, коэффициент постели, а также наличие жестких вставок у узлов конечного элемента. Свойства конечного элемента могут быть интерактивно изменены в процессе пользования палитрой «Информация об элементе»

Интерактивные кнопки для просмотра и изменения свойств конечного элемента

#### Усилия в стержневых элементах

**1. N** - продольная сила (т),

2. **Мкр** (или **Мх**) - крутящий момент (т□м), вращение относительно продольной оси X1 стержня,

3.**Му** - изгибающий момент (т□м), вращение относительно оси Y1, вызывает растяжение-сжатие нижних и верхних (по высоте сечения, по направлению оси Z1) волокон сечения,

4. **Qz** - перерезывающая сила в направлении оси Z1 (т) по высоте сечения и соответствующая моменту **Му**,

5. **Мz** - изгибающий момент (т□м), вращение относительно оси Z1. вызывает сжатиерастяжение правых и левых (по ширине сечения, по направлению оси Y1) волокон

сечения,

6. **Qy** - перерезывающая сила в направлении оси Y1 (т) по ширине сечения и соответствующая моменту Mz.

7. Rz - отпор грунта (т)

#### Тип 1 конечного элемента (стержень плоской фермы)

<sup>↑Z</sup> z1	Признак системы	Плоскость расположения	Степени свободы
×1 2 1 ×1	1, 2, 4, 5	XOZ	X, Z

В пределах элемента этого типа отсутствует любая нагрузка (нагрузка на ферму приводится к ее узлам). Элемент предназначен для расчета плоских стержневых систем с учетом только линейных деформаций (сжатие, растяжение), расположен в плоскости XOZ, шарнирно соединен с другими КЭ. В результате расчета определяются только продольные усилия N, постоянные по длине стержня (остальные отсутствуют): при N>0 - растяжение, при N<0 - сжатие.



Усилия и расположение локальных осей для конечного элемента Тип 1

#### Расчетная схема фермы

Жесткостная характеристика – только EF – продольная жесткость, где E – модуль упругости, F- площадь поперечного сечения.

Ниже приведена расчетная схема плоской фермы, состоящая из 25 таких конечных элементов, соединенных между собой в 14 узлах. Ферма соединена с жестким основанием тремя связями (двумя в узле 1 и одной в узле 7)



Схема фермы с изображенными номерами конечных элементов, номерами узлов и глобальнымиосями координат

#### Тип 2 Стержень плоской рамы

	Признак системы	Плоскость расположения	Степени свободы
1 y x	2, 4, 5	XOZ	X, Z, Uy

Конечный элемент предназначен для расчета плоских стержневых систем без учета сдвиговых деформаций (только сжатие и изгиб), расположен в плоскости XOZ, жёстко соединен с другими КЭ. В отличие от элемента фермы в поперечных сечениях КЭ типа 2 и по его концам (1 и 2) возникают не только продольные усилия N, но и изгибающие моменты Му и поперечные силы Qz. **Жесткостные характеристики:** 

- 1. ЕF продольная жесткость (жесткость стержня на растяжение/сжатие),
- 2. El изгибная жёсткость относительно оси ОҮ, где I момент инерции сечения

#### Усилия, возникающие в элементе Типа 2

В рассчитываемой плоской раме в пределах элемента типа 2 могут действовать любые сосредоточенные и распределенные нагрузки, находящиеся в той же плоскости.

Ниже элемент типа 2 показан в общем случае, когда он в расчетной схеме присоединяется к жесткому узлу тремя жесткими связями, в которых и возникают указанные усилия. Возможно присоединение этого элемента к узлам и меньшим числом связей,обеспечивающим его присоединение к стержневой системе. Тогда и число ненулевых усилий по его концам будет оответствующим. Например, если в узле 1 имеется шарнирное соединение с узлом совокупности элементов, то усилие М1 будет нулевым (в шарнире изгибающий момент равен нулю).



#### Тип 3 Конечный элемент балочного ростверка

Признак схемы и степени свободы данного КЭ представлены в таблице:



Признак схемы 3- балочный ростверк, тип 5- схема общего вида

Конечный элемент предназначен для расчета плоских стержневых систем с учетом изгибных и крутильных деформаций и используется, если нужно **учесть кручение** (на сжатие, растяжение не работает), расположен в плоскости ХОҮ, жестко соединен с другими КЭ.

Жесткостные характеристики:

Ely – изгибная жёсткость,

**GIкр - крутильная жесткость**, (Ікр – полярный момент инерции) В результате расчета определяются Му, Qz, **Мкр=Мx** 

#### Конечные элементы Тип 4 и Тип 5

Конечный элемент Тип 4 описывает поведение пространственной фермы, его степени свободы и признак схемы приводятся в таблице:



Тип схемы 4- пространственная шарнирно-стержневая схема, тип схемы 5- схема общего вида

Конечный элемент Тип 5 описывает поведение пространственной рамы, его степени свободы и признак схемы приводятся в таблице:

	Признак системы	Плоскость расположения	Степени свободы
1 y 2 x1 x	5	произвольно	X, Y, Z, Ux, Uy, Uz

Работает на сжатие, изгиб, кручение.

Жесткостные характеристики EF, Ely, Elz, Glкр

В результате расчета определяются N, Mк, My, Qz, Mz, Qy

#### Тип 10 Универсальный стержень

Связь между признаком схемы и степенями свободы конечного элемента представлена в таблице:

<sup>2</sup> / <sup>21</sup>	Признак системы	Плоскость расположения	Степени свободы
L yl	1	XOZ	X, Z,
1 2 ×1	2	XOZ	X, Z, Uy
Y	3	XOY	Z, Ux, Uy
×	4	TRAUBRA II HA	X, Y, Z,
	5	произвольно	X, Y, Z, Ux, Uy, Uz

Все представленные ранее типы конечных элементов – частные случаи конечного элемента Типа 10.

Пространственный элемент с учетом сдвига:



# Стержень балочного ростверка на упругом основании:



#### Этапы выполнения расчета SCAD

Работа в SCAD условно разделена на следующие этапы.

**Этап 1.** Запуск программы SCAD и подготовка к созданию расчетной схемы 1) Запуск программы SCAD.

2) Создание нового проекта для выполнения расчета заданной стержневой системы и

его наименование.

3) Задание имени файла в директории SDATA, в котором будет сохраняться вся информация по введенным исходным данным. Выход на схему «Дерево проекта» для начала работы.

4) Открытие окна «Расчетная схема» для формирования РС рассматриваемой стержневой системы.

Этап 2. Создание расчетной схемы стержневой системы

1) Графическое представление РС в общей системе координат для всей стержневой системы с нумерацией узлов и элементов и местных систем координат

для каждого элемента отдельно.

2) Назначение типа КЭ.

- 3) Назначение жесткости элементов.
- 4) Назначение опорных связей.
- 5) Назначение шарниров в узлах элементов.
- 6) Печать или сохранение расчетной схемы

#### Этапы выполнения расчета в SCAD (продолжение)

Этап 3. Создание загружений РС

1) Задание узловой нагрузки.

2) Задание нагрузки на элемент.

3) Создание и сохранение загружений.

12

4) Печать или сохранение РС с созданными загружениями.

**Этап 4.** Выполнение линейного расчета и представление его результатов 1) Выполнение линейного расчета, в котором реализуется алгоритм решения задачи МКЭ по определению перемещений узлов (в общей для стержневой конструкции системе координат) и усилий в намеченных для расчета сечениях элементов (в местной системе координат).

2) Представление полученных результатов расчета стержневой системы в виде эпюр усилий в ее элементах и картины перемещений узлов. Их сохранение и печать.

3) Представление полученных результатов расчета стержневой системы в виде таблицы с усилиями в намеченных сечениях элементов и таблицы перемещений узлов расчетной схемы. Их сохранение и печать.

# Этап 1 (Запуск программы SCAD)

На слайде приводятся основные окна программы, появляющиесяна первоначальном этапе разработки МКЭ модели исследуемого объекта.



Окно настройки проекта, вкладка выбора единиц измерений в результатов (можно настроить точность представления величин)

# Выбор типа схемы в зависимости от числа степеней свободы рассматриваемой конструкции

Наименовани	Ie NONAME		🖌 ОК
Организация			🗙 Отмена
Объект			🧼 Справка
<ul> <li>Стандарт</li> <li>Вариация</li> <li>Монтаж</li> <li>Форум</li> </ul>	моделей Едини Нормы	ицы измерения	
Точность оцен Тип схемы [5	нки совпадающих узл 5 - Система общего ві	<sub>10В</sub> 0.01 м ида	
Положение в	Перемещення в узле по направленням общей системы	Характери	тнкв конструкций
пространств е			
пространств е Любое	Линейные по X, Y, Z; повороты UX, UY и UZ вокруг осей X, Y и Z	Признак схемы общего пространственные ко Любая конструкция с быть посчи	вида. Позволяет рассчитываті нструкции зданий, оболочки. признаками схемы 1—4 может тана с признаком 5

В окне создания нового проекта можно выбрать тип схемы:

Признак 1 – схемы, располагаемые в плоскости XOZ, каждый узел имеет две степени свободы- линейные перемещения вдоль осей X, Z (плоская шарнирно стержневая схема)

Признак 2 – схемы, располагаемой в плоскости ХОZ, каждый узел имеет 3 степени свободы – линейные перемещения вдоль осей X, Z или X2, Z2 и поворот вокруг оси Y, Y2. Признак 3-Балочный ростверк Признак 4 – пространственная шарнирностержневая схема Признак 8- конструкции многослойных оболочек

Признак 9 – конструкции многослойных оболочек с учетом сдвига Признак 11 -- Осесимметричные задачи

#### Пример 1

Расчет плоской фермы в программном комплексе SCAD Пусть требуется рассчитать плоскую ферму с использованием программного комплекса SCAD на заданную нагрузку, приложенную в узлах верхнего пояса



Расчетная схема фермы

Примем два загружения:

- 1. От собственного веса
- 2. От веса конструкций ж/б конструкций кровли Q

В програмном комплексе SCAD создадим новый проект с типом схемы 1 «Плоская шарнирно-стержневая система». Далее существует несколько возможных вариаантов действий:

- 1. Генерация прототипа схема с использованием «заготовок», предоставляемых программным комплексом в виде параметрически задаваемых ферменных конструкций
- 2. Постепенный ввод узлов и последовательное их соединение отдельными стержнями
- В рамках рассматриваемого задания будем исходить из возможности создания фермы на основе параметрического задания ее конструкции средствами программного комплекса. Из менеджера проекта заходим в подменю «Расчетная схема», открывается окно для ввода расчетной схемы. По умолчанию все стержни в данном проекте будут шарнирными стержнями плоской фермы (так как выбран тип схемы 1). Заходим в подменю Схема→ Генерация прототипа схемы и выбираем близкую по очертаниям к требуемой ферменную конструкцию



Далее в открывшимся окне выбираем -> «Трапецеидальные фермы»

	Общие данные         Трапецеидальные Фермы         Число э лементов нижнего года           Очертание поясов фермы         Трапецеидальные Фермы         •           ФДА         Ф         •         •           ФДА         Ф         •         •         •           ФДА         Ф         •         •         •         •           ФДА         Ф         •         •         •         •         •           ФДА         Ф         •	1. 2.	. Задаем параметры фермы, нажимаем Ok . Схема сформирована	
3.	К № № № № № № № № № № № № № № № № № № №	3		8

элементов, а также локальных осей

Просмотрим информацио о каком-либо элементе, убедимся, что задан именно конечный элемент Тип 1, для этого воспользуемся кнопкой с пиктограммой



Как мы видим, элементам не назначена жесткость. Для назначения жесткостей выберем отдельно элементы нижнего пояса с использование кнопки с пиктограммой вида:



расположена в левом нижнем углу экрана. Выделенные элементы будут отображаться на расчетной схеме красным цветом

Внешний вид фермы с отмеченными стержнями нижнего пояса:



Далее переходим к вкладке «Назначения» → Назначение жесткостей стержням

ИR СКАТА СТАЛИКА СТАЛИКА Управление Схема Назначения Уз ОСОГОТИИНАТИИ ОСОГОТИИНАТИИ ОСОГОТИИНАТИИ ОСОГОТИИНАТИИ ОСОГОТИИНАТИИ ОСОГОТИИНАТИИНАТИИ ОСОГОТИИНАТИИНАТИИНАТИИНАТИИНАТИИНАТИИНАТИИН	Мадуль упругости 21000000 Т/м² Объемный вес 7.85 Т/м³ Козффициент Пуасона 0.3 Козф-иниент О 1.2e-005 1/°С Параметр затухания (в 0 € Составное сечение □ Г Г С СОСТАВНОЕ Сечение □ Г С С С С С С С С С С С С С С С С С С	<ul> <li>Трубы по ГОСТ 10704.91 (сокращенные)</li> <li>Трубы стальные бесшовные горячевлекоркированные</li> <li>Круглые трубы по ГОСТ Р 54157-2010</li> <li>Гнутый раеноплочный шеллер по ГОСТ 8278-83 из</li> <li>Гнутый раеноплочный шеллер по ГОСТ 8278-83 из</li> <li>Квадратные трубы по ТУ 36-2287-80</li> <li>Квадратные трубы по ГОСТ 12336-66</li> <li>Прямоугольные трубы по ГОСТ 12336-66</li> <li>Прямоугольные трубы по ГОСТ 12336-66</li> <li>Прямоугольные трубы по ГОСТ 2537-83</li> <li>Грубы стальные прафон по ГОСТ 12336-66</li> <li>Прямоугольные трубы по ГОСТ 12336-66</li> <li>Прямоугольные трубы по ГОСТ 12336-66</li> <li>Прямоугольные трубы по ГОСТ 25577-83*</li> <li>Квадатные трубы по ГОСТ 25577-83*</li> <li>Квадатные трубы по ГОСТ 30245-94</li> <li>Грамоугольные трубы по ГОСТ 30245-94</li> <li>Стальные пнутые зажинитые сеарные квадратные пр</li> <li>Торбы стальные крадратные по ГОСТ 30245-94</li> <li>Стальные гларатные срубы по ГОСТ 30245-94</li> <li>Стальные гларатные квадратные прост 30245-94</li> <li>Стальные гларатные крадратные сеарные квадратные пр</li> <li>Торбы стальные крадратные по ГОСТ 30245-94</li> <li>Стальные стальные крадратные со ГОСТ 30245-94</li> <li>Стальные гларатные крадратные со ГОСТ 30245-94</li> <li>Стальные гларатные крадратные по ГОСТ 30245-94</li> <li>Стальные стальные крадратные со ГОСТ 30245-94</li> <li>Стальные стальные крадратные по ГОСТ 30245-94</li> <li>Сталькамброевная кругая по ГОСТ 7417-75</li> <li>Прокат стальной горячек атаный крадратный ГОСТ 2500</li> </ul>
---	--	--

Кесткость стержневых эле

Выберем сварные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003

Для нижнего пояса выберем квадратное сечение 120х5 мм Для верхнего пояса выберем сечение 140х100х5 мм Для опорного раскоса 100х5 мм Для остальных элементов решетки 80х5 мм



Внешний вид фермы с отображением номера жесткостей после нажатия на кнопку с пиктограммой вида:







Кнопки используются для подтверждения, либо отказа от назначения закрепления предварительно выбранным узлам

Назначение нагрузок, начнем с собственного веса, перейдемна вкладку загружения, нажмем на кнопку с пиктограммой:





Далее данное загружение записывается в расчетную схему с использованием кнопки:

2

, Co	хранение загружения							
N≏	Имя:	Посторнные Т	ид нагрузки: Гео метади	- I Hop	мативная наго	ISKA	+	Записать как нов
1	Собст вес	Kesttuner	ee meranna		normen av nar p	joita	-	
		надежности по нагрузке	5 д	оля длительно	сти  1			Заменить
N≗	Загружения	Тип загружения	Вид нагрузки	Коэффициент надежности по нагрузке	. Доля длительности	Нормативное загружение	5	Отменить запись
1	Собст вес	Постоянные нагрузи	ки Вес металл	u 1.05	1	<b>1</b>		

Вид окна формирования загружений перед нажатиемна кнопку Ok.

Добавим второе нагружение, предварительно добавив в расчетную схему узловую нагрузку в верхний пояс (будем считать, что на средние узлы

фермы верхнего пояса действует 2 т, а на крайние только 1 т:



Запомним данное загружение



St. Co	хранение загружения							uluulu 🗨 🗙
Nº	Имя:	Тип загружения : Вид Поитеориные - Вес	нагрузки: времень 🔻	) 🔲 Hoot	иативная наго	uska	+ 3	аписать как новое
2	Полезная	Коэффициент надежности по нагрузке	До	ля длительно	зти 1			Заменить
N²	Загружения	Тип загружения	Вид нагрузки	Козффициент надежности по нагрузке	Доля алительности	Нормативное загружение	<b>n</b>	Отменить запись
1	Собст вес	Постоянные нагрузки В	ес металлы	1.05	1	1		
2	Полезная	Длительные нагрузки	ес времені	1.2	1			
2016				© Сохран Осхран	ить и продолж ить и перейти	кить задание нагру к созданию нового	јзок о загружени	<ul> <li>ОК</li> <li>Отмена</li> <li>Справка</li> </ul>

Коэффициент надежности по нагрузке будет назначен автоматически, после выбора Типа загружения

Создадим РСУ, для этого выйдем в дерево проекта с использованием кнопки:



Создадим комбинацию загружений для возможности получения суммарных усилий для отображение в постпроцессоре (также из дерева проекта):

раплажениа			52	1	_
ጿ Комбинации загружений					Возможность учета
🗐 Учесть коэффициент надежности 🛛 🗐 Учесть долю длите	льности	1-4	Samuce Kostérination		коэффициентов учета
Загружения/Комбинации	Коэффициент	<u> </u>	Запись котоинации		
1 Собст вес	1	X			загружения и перечене
2 Полезная	1	<b>^</b>	одаления комоинации		загружений
		+:	Новая комолчация		появляется после
		8	Загрузить из файла		нажатия на кнопку «Новая комбинация»
		Ш	Сохранить в файл		
Konfunsion second	лий.	W	Отчет		Обязательно нажать
Конбилации загружен	лии		Населина		запись комоинации
1 11+12			Пазранис		
					Появится сумма загружений
Упадение данных Ине учитывать	2 OK				Важно поставить галочку, чтобы не
Комбинации в РС9		UTM	ена 🖤 справка		учитывать
					комбинацию в РСУзз

Выполним линейный расчет (опять кнопка из дерева проектов)



Эпоры моментов только от собственного веса



#### Эпоры продольных сил только от узловой нагрузки



Получены после нажатия на кнопки



с учетом действия кнопки



Либо вместо эпюр можно рассматривать цветовое изображение усилий



Видно, что верхний пояс растянут, а нижний сжат



Деформированная и недеформированная схемы фермы

Перейдем на вкладку сталь и воспользуемся кнопкой в Файл Настройки Вид Операции Окно Сервис Справка с Старавка с Старавка

труппы конструктивных эле	ментов для проверки сеч	чений		×
онструктивный элемент Прог	гибы и перемещения			
Элементы Сечение Стальные гнутые з Сталь Ст С255	амкнутые сварные прямоу	гольные профили по Г(	ОСТ 30: 🚺Замени	ть сечение
<ul> <li>Расчетная длина</li> <li>Козффициент расчетной д</li> </ul>	алины	Υ <sub>c</sub>	Коэффициент условий работы	1
В плоскости Х <sub>1</sub> ОZ <sub>1</sub>		Пред	ельные гибкости	190 - 60 -
В плоскости Х <sub>1</sub> ОУ <sub>1</sub> 1	<b>—</b>	[λ]	Сжатые элементы	100 000
			Растянутыс сло	200
используется длина элемента Учет коррозии	a) [0	м Казффин ответств	циент надежности по зенности	1 🔻
🥅 Работа сечения с неустойчи	вой стенкой не допускаето	оя <i>Ф</i> б		
Пополнительные косффики	иенты исловий работ:			
Дополнительные козффици Расчет на прочность при сейсм	иенты условий работы 1ике 0			
Дополнительные козффици Расчет на прочность при сейсм Расчет на устойчивость при сей	иенты условий работы ике 0 йсмике 0			
Дополнительные коэффиц. Расчет на прочность при сейсм Расчет на устойчивость при сей При особых (не сейсмических)	иенты условий работы 1ике 0 йсмике 0 воздействия 1			
Дополнительные козффиц Расчет на прочность при сейсм Расчет на устойчивость при сеі При особых (не сейснических) Козффициент понижающий рас	иенты условий работы ике 0 йсмике 0 воздействия 1 четное сопр 1			
Дополнительные козффиц Расчет на прочность при сейсм Расчет на устойчивость при сей При особых (не сейснических) Козффициент понижающий рас	иенты условий работы ике 0 йсмике 0 воздействия 1 жетное conp 1 чструктивная группа	Верхний пояс	+ Добави	ить 🗙 Удалить
Дополнительные козффиц Расчет на прочность при сейсм Расчет на устойчивость при сей При особых (не сейсклических) Козффициент понижающий рас исок групп Кон ерхний пояс ССС	иенты условий работы икке 0 воздействия 1 эчетное conp 1 чструктивная группа исок конечных элементов	Верхний пояс	+ Добави	ить Удалить венить Осполека

Теремещения...Эпюры усилий Пытея наприжений Постпр Иазначение групп конструктивных

SCAD++ (64-бит) - [C:\SDATA\ферма2.SPR]

элементов. Выберем элементы верхнего пояса, зададим коэффициенты расчтной длины в плоскости фермы и из плоскости фермы (с учетом расположения прогонов)

Введем наименование конструктивной группы элементов

Аналогично для нижнего пояса, учтем, что длина из плоскости в этом случае обычно равна половине пролета фермы, в данном случае – три панели

🕵 Группы конструктивных элементов для проверки сечени	й	×		
Конструктивный элемент Прогибы и перемещения Элементы Сечение Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные Сталь Сталь Ст	профили по ГОСТ 30245-] 🔵 Заменить сече	ние		
<ul> <li>Расчетная длина</li> <li>Козффициент расчетной длины</li> <li>В плоскости X<sub>1</sub>OZ<sub>1</sub></li> <li>В плоскости X<sub>1</sub>OY<sub>1</sub></li> </ul>	Козффициент условий         1           Предельные гибкости         1           Юредельные гибкости         180           Осматые элементы         180           Растянутые элементы         300           Ребра жесткости         300           Неупругая работа сечения не допуская         100	• 60а Ві	ведем наименовані	ие конструктивной
Расстояние между точками раскрепления из плоскости изгиба (при нулевом значении используется длина элемента) Учет коррозии Работа сечения с неустойчивой стенкой не допускается Дополнительные коэфициенты условий работы Расчет на прочность при сейсмике 0 Расчет на устойчивость при сейсмике 0 При особых (не сейсмических) воздействия Коэфициент понижающий расчетное сопр 1	М Козффициент надежности по ответственности	T TP	уппы элементов	
Список групп Конструктивная группа Ниж Нижний пояс Список конечных элементов 7-1; Дополнительная группа гола Тип конструктивной группы Эле	оний пояс + Добавить 2 • 🖾 💉 Применить емент общего вида •	Удалить Справка Выход		38

Аналогично поступаем с опорным раскосом и остальной решеткой фермы (иными раскосами и стойками). Для элементов решетки коэфф. расчетной длины принимаем 0,9, а предельные гибкости 210-60а

<ul> <li>Круппы конструктивных элементов иля проверки сечений</li> <li>Конструктивный элемент Прогибы и премещения</li> <li>Злементы</li> <li>Сечение Стальные гнутые замкнуть в сварные квадратные профи</li> <li>Сталь</li> <li>Сталь</li> </ul>	ли по ГОСТ 30245.	Далее выполним конструктивный
<ul> <li>Расчетная длина</li> <li>Коз ффициент расчетной ины</li> <li>В плоскости X<sub>1</sub>OZ<sub>1</sub></li> <li>0.9</li> <li>В плоскости X<sub>1</sub>OY<sub>1</sub></li> <li>0.9</li> </ul>	Козффициент условий         1           предельные гибкости         1           Сжатые элементы         210 - 60а           Растянутые элементы         400	расчет с помощью кнопки
Расстояние между точками раскрепления из плоскости изгиба (при нулевом значении используется длина элемента) 9 Чет коррозии Работа сечения с неустойчивой стенкой не допускается Дополнительные козффициенты условий работы Расчет на прочность при сейсмике 0 Расчет на устойчивость при сейсмике 0 Расчет на устойчивость при сейсмике 0 При особых (не сейсмических) воздействия 1 Козффициент понижающий расчетное сопр 1	Неупругая работа сечения не допускается Козффициент надежности по ответственности	Результаты (с коэффициентамииспользования сечения фермы можно увидеть, после нажатия на одну из кнопок
Список групп Конструктивная группа Решетка Решетка Список конечных элементов 14-17 19-2 Дополнительная группа Тип конструктивной группы Элементи Вали С	+ Добавить Худалить 5 • Худалить Справка общего вида выход	

## Расчет фермы (окончание)





# Расчет фермы (автоматизированный подбор сечений)



Далее выберем следующую последовательность «Сталь→ Результаты по стали→ Подбор сечений» После выполнения расчета открывается окно, в котором подобраны элементы вместо ранее назначенных. Далее появляется возможность назначить вместо ранее использованных жесткостей рекомендованные программным комплексом. После замены стержней требуется вновь выполнить линейный расчет, пересчиталь РСУ и комбинации

Тип	Выбор	Произведен выбор	Название группы	Состояние подбора	Жесткость элементов	Сечение для экспертизы	Результат подбора	Окно с результатам
ы			Конструктивная группа Верхний пояс	•	Стальные гнутые замкнутые сварные прямоугольные профили по ГОСТ 30245-2003 140x100x5		Просмотр результатов	подбора сечений
Ъ		(F)	Конструктивная группа Нижний пояс	~	Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245-2003 120x5		Просмотр результатов	программным
ħ			Конструктивная группа Опорный раскос	×	Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245-2003 100x5		Просмотр результатов	комплоксом
h			Конструктивная группа Решетка	*	Стальные гнутые замкнутые сварные квадратные профили по ГОСТ 30245-2003 100x5		Просмотр результатов	KOIMITIJTEKCOM
Выбор Замен	нить исходные сеч	чения для экспертизы			□ Ha	следовать имена жесткостей Заменить жестко	ости элементов	
Выбор Замен	енить исходные сеч	нения для экспертизы				Заменить жестк Восстановить и	ости элементов 13 жесткостей	

#### Некоторые дополнительные моменты



Для моделирования связи рассматриваемой фермы с колоннами поменяем тип схемы, для этого зайдем в «дереве проекта» в меню «Настройка» > «Идетнификационные данные проекта», поменяем тип проекта на Тип 2. «Плоская рама»

Наименование	фермаЗ			Котс	рый	
Организация			-	ПОЗЕ	воляет	Γ
Объект			- 1	учит МОМ	енты	ь узла
🖌 ок	🗙 Отмена	🔌 Справ	вка			
	Х Отмена	🧼 Спрає	вка			
✓ ОК           Тип ОК         2-Г           схемы         2-Г	🗙 Отмена Ілоская рама дежности по	Cripae	эка			
• ОК Тип <mark>ОК</mark> схемы 2-Г Коэффициент на ответственности	Х Отмена Ілоская рама дежности по	Спрае 1	вка •			

#### Моделирование колонн, примыкающих к ферме

Используя кнопку ввод узлов на заданном расстоянии от заданных создадим два узла, на расстоянии 6 м от двух опорных узлов фермы. Для подтверждения создания узлов не забываем пользоваться



кнопками подтверждения и отказа А далее соединим новые × 왔 Ввод узлов на заданном расстоянии от отмеченных узлы и опорные узлы ΔX ΔY ΔZ Количество фермы стержнями с 0 0 1 назначенной жесткостью 35K1 왔 Ввод стержневых элементов C:\SDATA\depma3.SPR + Добавить 🗙 Удалить Ввод стержней 📃 Связывать узлы стержнями Ввод последовательности стержней Связи Количество сечений 3 Объединение перетещений Тип элемента - 2 Жесткость 🗙 Отмена 🧼 Справка OK Шарнир Зададим естных осе Зададим величину жесткость Список узлов Задать элемент списком узлов смещения двух узлов OK 🗙 Отмена 🔗 Справка Моделирование колонн, примыкающих к ферме

Окончательно вид расчетной схемы с двумя колоннами с местными осями координат показан на рисунке

В опорных узлах фермы необходимо убрать закрепления Для этого узлы выбираются и вновь производится назначение связей (их отсутствия) путем кнопки





Колонны жестко заделаны в основание

Предполагается (в рамках рассматриваемой задачи) крепление фермы к колонне

#### Приложение собственного веса к колоннам

Изменение текущего загружения произведем путем замены первого загружения от Собственного веса (только ферма) на собственный вес от фермы и колонн



#### Результаты расчета рамы

На рисунках показаны результаты расчета рамы с числовыми значениями силовых факторов для ферменных элементов и элементов колонны



# Особенности моделирования работы конструкций фермы в многопролетных рамах

Произведем размножение исходной схемы вдоль оси Х дважды с



# Нагрузки также размножены по узлам новой системы

Колонны жестко заделаны в основание

Изображения продольных усилий в стержнях:



# Проектирование узлов ферм с использованием модуля Комета-2

Выберем модуль расчета узлов фермы в Комета-2

**М КОМЕТА (64-бит)** 

Информация

Ст Сталь

🛃 Выход

Файл Режимы Настройки Сервис Справка

В качестве результата получим чертеж узла



Зададим усилия в стержнях, подобранные сечения

# Литература

- Карпиловский В.С., Крискунов Э.З., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Трофимчук А.Н. SCAD для пользователя. – Киев.: ВВП «Компас», 2000. – 332 с.
- Семенов А.,А., Габитов А.И. Проектно-вычислительный комплекс SCAD в учебном процессе. Часть 1. Статический расчет : Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2005. 152 с.
- 3. Шапошников Н.Н., Кристалинский Р.Е., Дарков А.В. Строительная механика. М.2012. 703 с. Доступ из ЭБС «Лань».
- 4. Перельмутер А.В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа [Электронный ресурс]/ Перельмутер А.В., Сливкер В.И.— Электрон. текстовые данные.— М.: ДМК Пресс, 2009.— 456 с.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/7880.— ЭБС «IPRbooks».
- SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD.:[учеб.пособие по направлению 653500 «Стр-во» /В.С. Карпиловский и др.] М.: Изд-во Ассоц. Строит. Вузов, 2008