



# Создание модели и расчет стальной плоской рамы в STARK ES

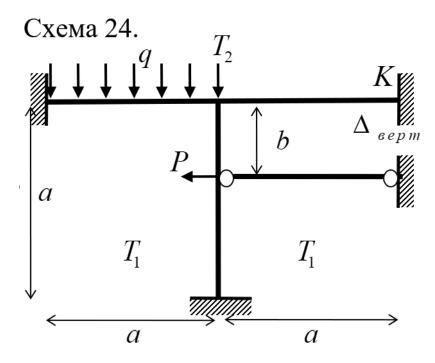
Приложение к методическим указаниям к курсовому проектированию по дисциплине «Строительная механика», 5 семестр





#### Данные к задаче № 2

а, м	<i>b</i> , м	<i>с</i> , м	<i>Р</i> , кН	<i>q</i> , кН/м	$\Delta$ ,	$T_1$ ,	$T_2$ ,	$T_0$ ,
IVI	IVI	IVI	KII	KII/M	MM	<sup>0</sup> C	<sup>0</sup> C	<sup>0</sup> C
1	0.5	0.6	10	2	1	100	50	20



Напряженно-деформированное состояние стальной статически неопределимой рамы вызвано осадками опор, температурными и силовыми нагрузками.

- 1. Выбрать марку стали из [5]; выписать механические параметры материала, необходимые для проведения расчетов на прочность.
- 2. Провести анализ расчетной схемы, определив степени статической и кинематической неопределимости, число узловых степеней свободы метода конечных элементов.
- 3. Применив метод конечных элементов, построить эпюры внутренних силовых факторов для следующих случаев:
- а) при силовом воздействии;
- б) при осадке опоры в точке К;
- в) при неравномерном температурном нагружении при линейном распределении температуры по высоте;
- г) при суммарном действии перечисленных нагрузок.
- 4. Из расчета на прочность подобрать номер двутаврового сечения, положив допускаемое напряжение равным 160 МПа.
- 5. Провести конструктивный расчет рамы по СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Сравнить полученные результаты. Указание. Для расчетов в п.3 допускается применить программный комплекс STARK ES.





# 1. Выбрать марку стали из [5]; выписать механические параметры материала, необходимые для проведения расчетов на прочность.

									-						
	стали	Вид пост						_							
Ст	Зкп						5-88. Лис	т ]	FOCT 1	4637–89, I					
C	Si	Mn	овая дол S	я элемен Р	тов, %, п Ст	o POC				l N			тура крит		
0,14-		0,30-	<u>s</u>	<u>P</u> ≤	1	<del> </del>		-	As	N ≤	Ac		Ac <sub>3</sub>	Ar <sub>1</sub>	Ar <sub>3</sub>
0,14	≤0,05	0,60	0,050	0,040	≤0,30	≤0,			0,080	0,010	73	5	850	680	835
						свойс	тва при к			мператур		,			,
нд	-		ким термо		си хлаждаюї	пая	Сечение,	.   ,	σ <sub>0,2</sub> , -I/мм <sup>2</sup>	σ <sub>в</sub> , H/mm <sup>2</sup>	δ,	Ψ,	КСU, Дж/см²	Изгиб	нв
	0	перация	t,°C		среда		MM				менее			1	
TOCT 535-88						До 10	T	235	360- 460	27	_		d=a	_	
				Свыше 10 до 20		235	360- 460	27	_		đ=a				
	Bro	В горячекатаном состоянии						J	225	360- 460	26	_	-	d=2a	_
	2 i opi i omini oci omini					Свыше 40 до 100		215	360- 460	24		_	d=2a,		
							Свыше 100		185	360- 460	24		-	d=2a	_
ГОСТ 14637-							До 20	T	235	360- 460	27	_	_	d=1,5a	_
89							Свыше 20 до 40		225	360- 460	26	-	_	d=2,5a	_
	B ro	рячекатано	ч м состоян	ии			Свыше 40 до 100		215	360- 460	24	-	-	d=2,5a	_
							Свыще 100 до 160		195	360– 460	24		_	d=2,5a	_
ГОСТ 16523-		Горячекатаный лист в термически					До 2,0	T	_	360- 530	20	_	_	d=a	_
97					Свыще 2,0		-	360- 530	22		_	d=2a	_		
	Холоднокатаный лист в термически						До 2,0	T		360- 530	22	_	-	d=a	_
		ботанном с					Свыще 2,0			360- 530	24	_	_	d=2a	

СТАЛИ УГЛЕРОДИСТЫЕ ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА

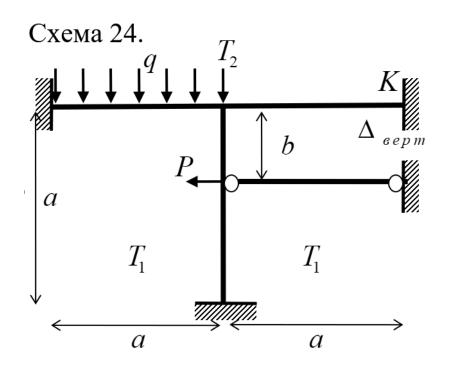
Примем по [5] сталь углеродистую обыкновенного качества Ст3кп по ГОСТ535-88.

$$σ_T = σ_{0,2} = 185 - 235 \text{ M}Πa$$
 $σ_B = 360 - 450 \text{ M}Πa$ 
 $E = 210 \text{ Γ}Πa$ 





2. Провести анализ расчетной схемы, определив степени статической и кинематической неопределимости, число узловых степеней свободы метода конечных элементов.



Система статически-неопределимая, геометрически-неизменяемая.

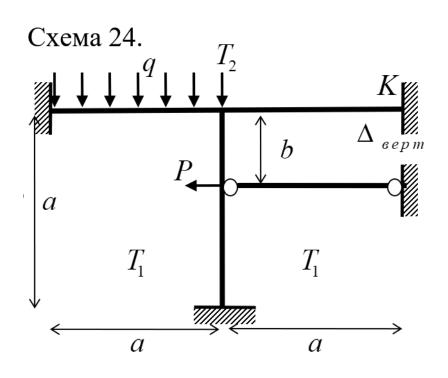
Степень статической неопределимости (количество «лишних» связей) равна 7. «Лишние» связи: ферменный элемент – 1 связь, нижняя и две правые заделки –  $2 \times 3 = 6$  связей.

Степень кинематической неопределимости (количество фиктивных опор) равна 2. Учитываем малую податливость элементов Т-образной рамы в продольном направлении. Первая фиктивная опора должна быть наложена в узле Т-образной рамы для фиксации углового перемещения, вторая фиктивная опора должна сдерживать горизонтальное перемещение ферменного элемента в направлении действия силы P.





- 3. Применив метод конечных элементов, построить эпюры внутренних силовых факторов для следующих случаев:
- а) при силовом воздействии;
- б) при осадке опоры в точке К;
- в) при неравномерном температурном нагружении при линейном распределении температуры по высоте;
- г) при суммарном действии перечисленных нагрузок.

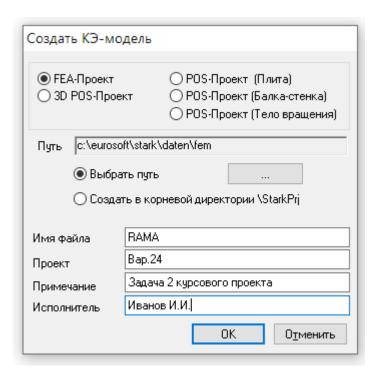


Внутренние силовые факторы определим в сечениях рамы с помощью ПК STARK. Для этого создадим КЭ-модель рамы и проведем расчет на статические нагрузки.





#### 1. Создаем КЭ-проект





Для сохранения файлов проекта следует создать отдельную папку FEM, расположенную в любом месте на жестком диске компьютера либо выбрать опцию «Создать в корневой директории \StarkPrj».

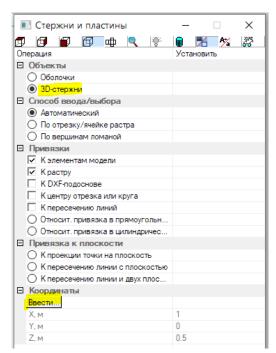


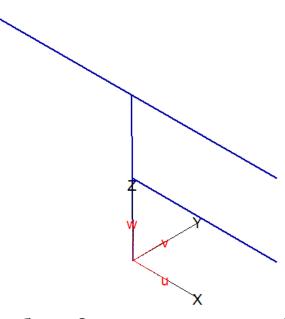




Рекомендуется сохранять модель после каждой операции.

#### 2. Вводим стержни по координатам их узлов





На вкладке «КЭ-модель» выбрать Стержни и пластины → Установить. В таблице «Стержни и пластины» выбираем 3D-стержни. При помощи кнопки «Ввести» вводим координаты вершин каждого стержня.

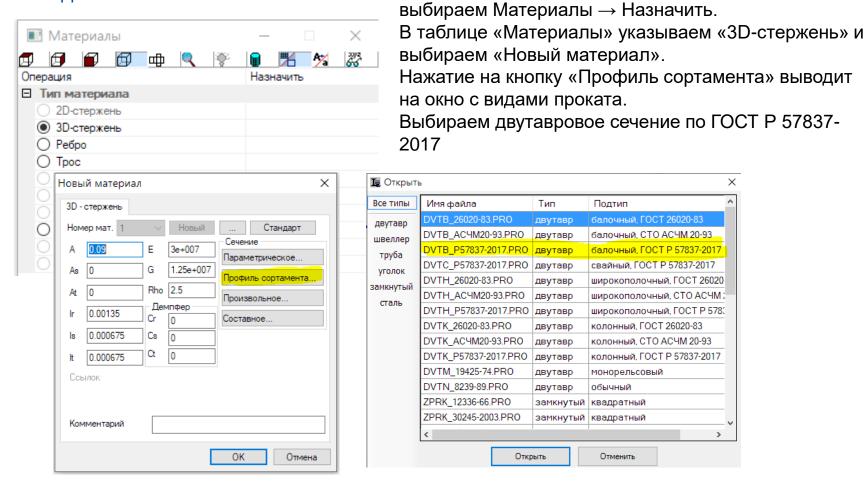


Вертикальный стержень разбиваем на два элемента так, чтобы его внутренний узел был общим с примыкающим горизонтальным стержнем.





#### 3. Задаем сечение

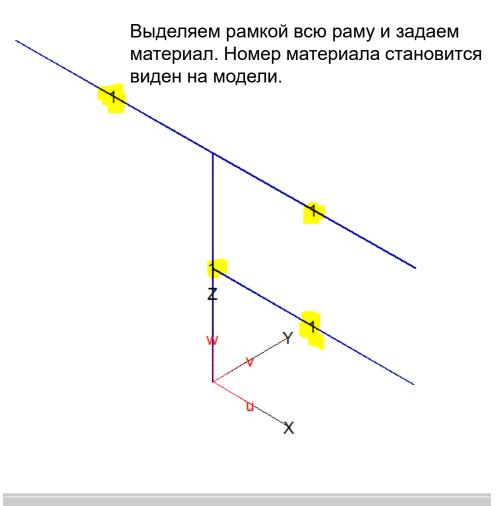


В разделе «Материалы и жесткости элементов»

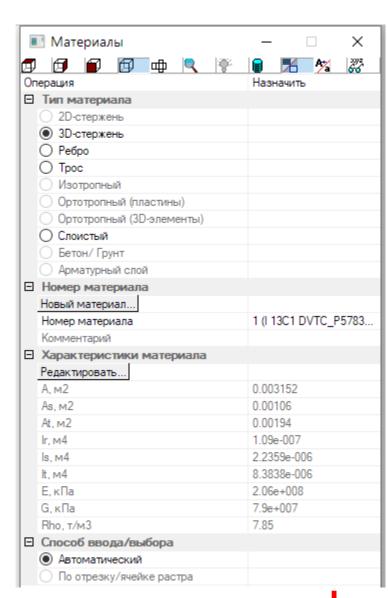




#### 3. Присваиваем стержням материал №1



Выберите стержневые элементы для установки материала







#### 4. Правильно ориентируем сечения стержней

Поправим ориентацию местной систему координат (МСК) стержней. Правила следующие:

- ось «s» направлена вдоль высоты сечения (размера h) стержня;

 продольная ось «г» МСК всех стержней, образующих один конструктивный элемент, должна иметь одно направление.

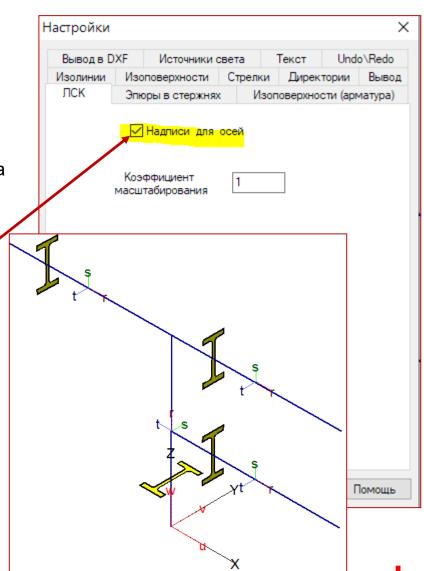


- просмотр МСК на вкладке «Главная»

Если надписи осей не видны, на вкладке «Файл» выбрать «Общие настройки» и поставить галочку.



- просмотр ориентации сечения



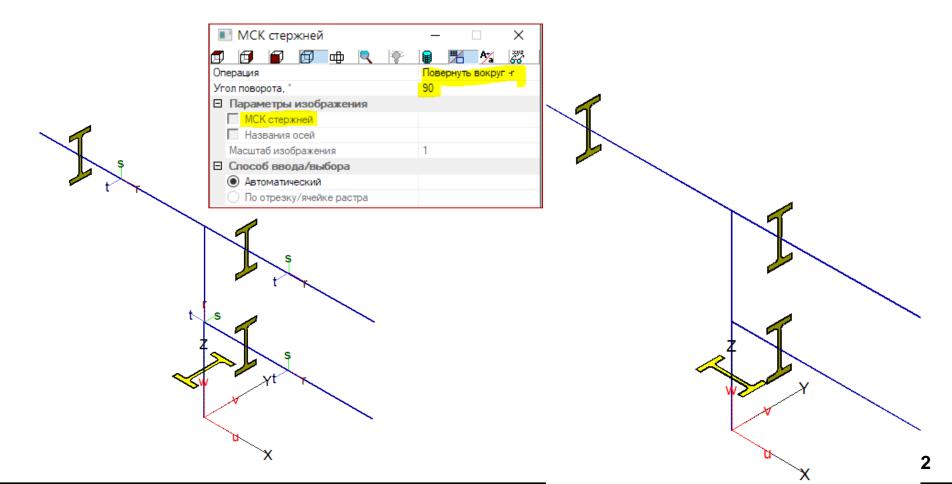




#### 4. Правильно ориентируем сечения стержней

Видно, что вертикальный стержень ориентирован так, что в плоскости изгиба сечение обладает минимальной жесткостью. Повернем сечение относительно оси r на  $\pi/2$ 

На вкладке «КЭ-модель» выбираем Прочие данные  $\to$  МСК стержней  $\to$  Поворот вокруг оси r. В таблице МСК стержней задаем «Угол поворота» вокруг оси «r» =  $90^{\circ}$  .





# 5. Установка шарниров

Задаем шарниры в ферменном элементе.

Устанавливаем шарниры вокруг осей «s» и «t» МСК на элементы верхнего пояса фермы. На вкладке «КЭ-модель» выбираем Шарниры → Элементные → Установить.

#### Типы шарниров:

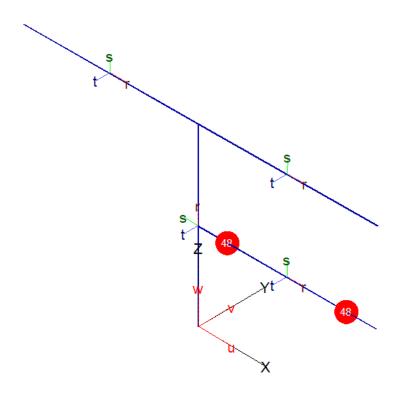
Тип	Заданная жесткость	Фактическая жес	ткость шарнира
шарнира	шарнира С	Шарнир включен	Шарнир выключен
0	0	0 (элемент отсоединен от	невозможно (шарнир включен
	· ·	системы)	всегда)
0	>0	С (элемент присоединен к	невозможно (шарнир включен
0		системе посредством пружины)	всегда)
+1/-1	0	0 (элемент отсоединен от	∞ (элемент жестко связан с
+1/-1	U	системы)	системой)
+1/-1	>0	С (элемент присоединен к	0 (элемент отсоединен от
+1/-1	>0	системе посредством пружины)	системы)
+2/-2	0	0 (элемент отсоединен от	∞ (элемент жестко связан с
T2/-2	U	системы)	системой)
+2/-2	>0	C (элемент присоединен к	∞ (элемент жестко связан с
T2/-2	70	системе посредством пружины)	системой)

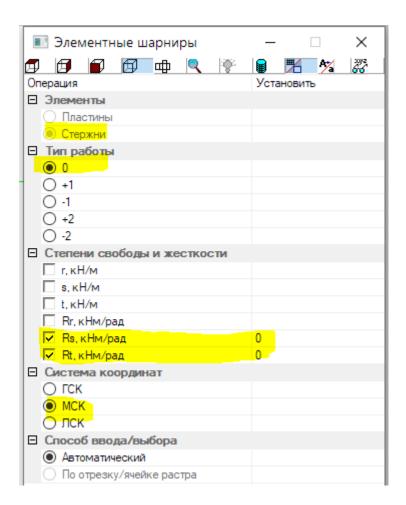




#### 5. Установка шарниров

В таблице «Элементные шарниры» обнулить жесткости по угловым степеням свободы Rs и Rt, то есть разрешаем узловым сечениям свободно поворачиваться относительно осей r и s.





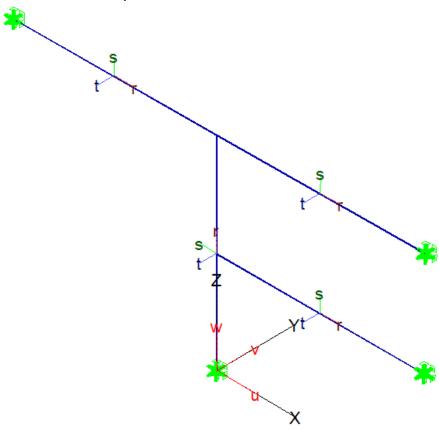


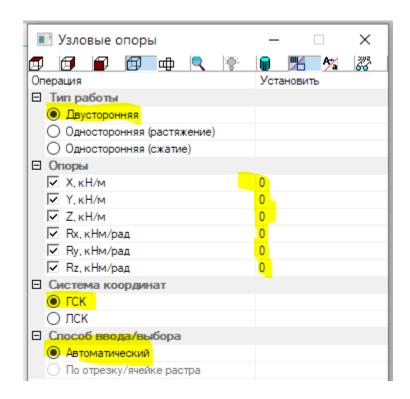


#### 6. Установка связей

Задаем жесткие заделки.

На вкладке «КЭ-модель» выбрать Опоры  $\to$  Узловые опоры  $\to$  Установить.







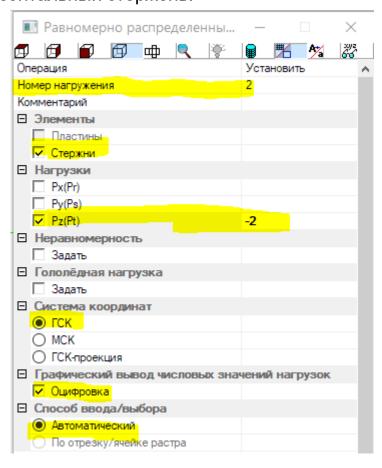
Нулевое значение жесткости опоры означает бесконечно большую жесткость опоры

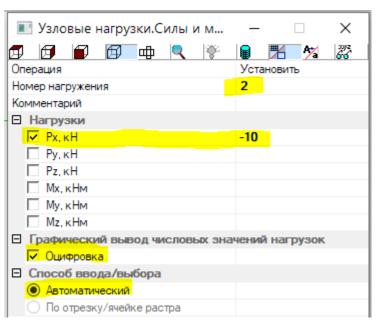




#### 6. Задание нагрузок

На вкладке «Нагрузки» выбираем Узловые нагрузки → Силы и моменты→ Установить. В таблице задаем номер нагружения 2. Первое нагружение соответствует нагрузки от собственного веса конструкции. Задаем Px = -10 кH. Минус показывает, что нагрузка действует против оси X. Выбираем Распределенные нагрузки → Установить. Устанавливаем Pz = -2 кH/м на левый горизонтальный стержень.







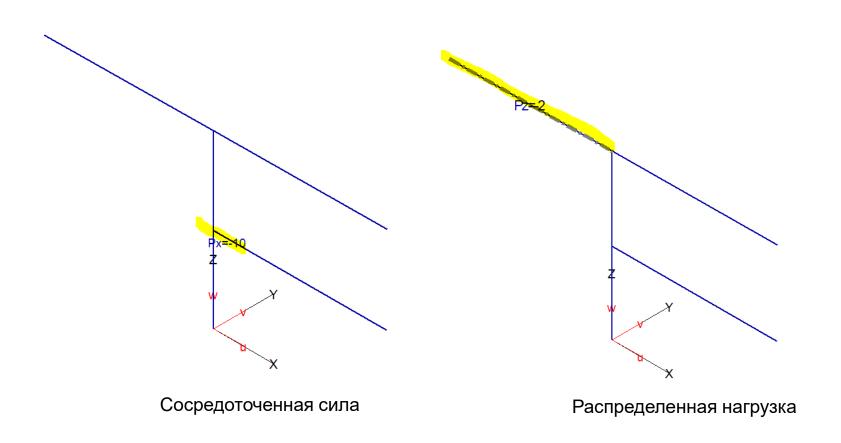
Первое нагружение всегда соответствует нагрузке от собственного веса конструкции.





# 6. Задание нагрузок

Просмотр нагрузок нагружения 2.



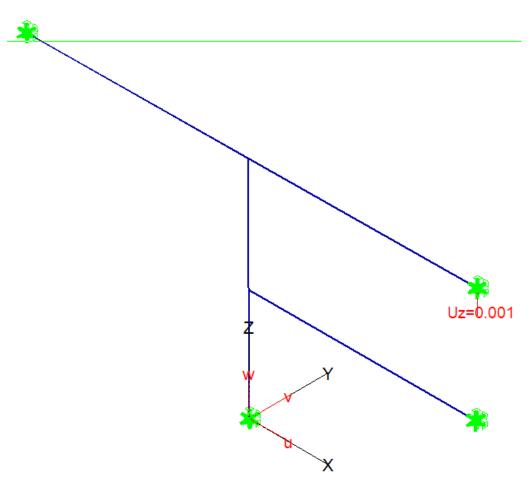


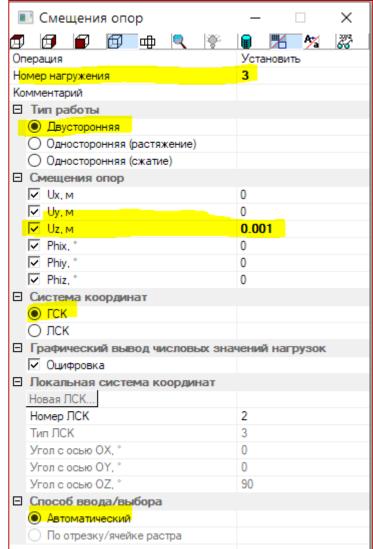


#### 7. Задание осадки опоры

На вкладке «Нагрузки» выбираем Узловые нагрузки → Смещение опор → Установить.

В таблице задаем номер нагружения 3. Задаем Uz = 0.001 м







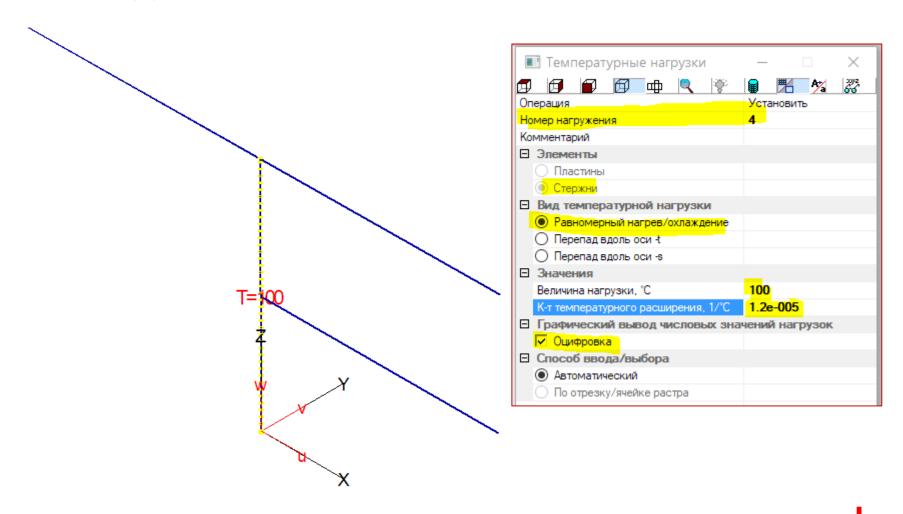


#### 7. Задание равномерного температурного воздействия

На вкладке «Нагрузки» выбираем Элементные нагрузки ightarrow Температурные ightarrow Установить.

В таблице задаем номер нагружения 4.

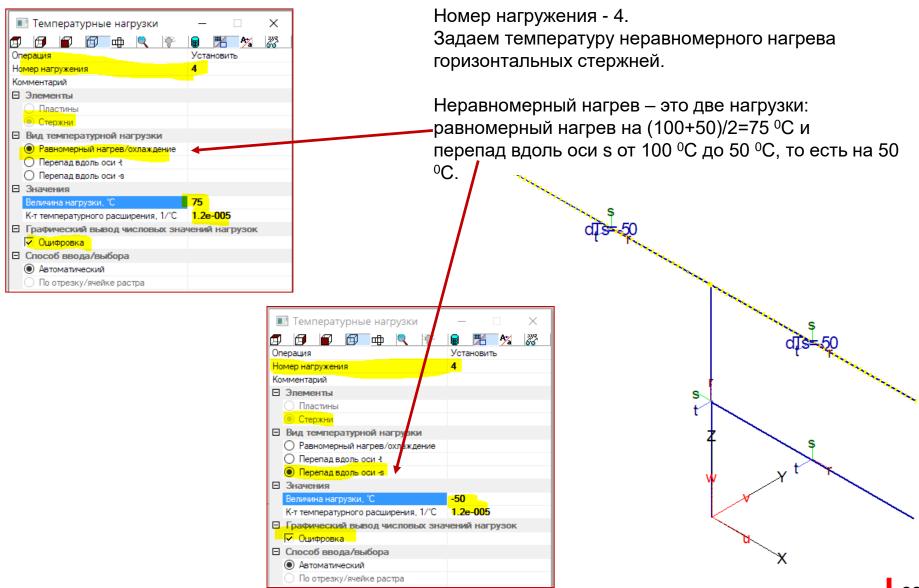
Задаем температуру равномерного нагрева вертикального стержня на 100 °C.







#### 7. Задание неравномерного температурного воздействия

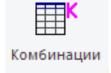




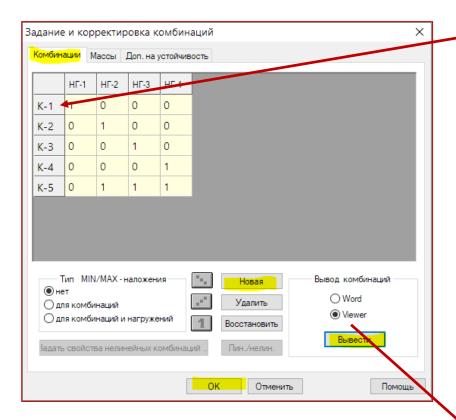


#### 8. Комбинации нагрузок

На вкладке «Нагружения» выбираем нагружениях:



и заполняем таблицу с комбинациями нагрузок в



В результатах **по первой комбинации** будет учтен только собственный вес элементов рамы.

**Вторая комбинация** соответствует нагружению 2 (силовая нагрузка).

**Третья комбинация** соответствует нагружению 3 (осадка опоры).

**Четвертая комбинация** соответствует нагружению 4 (температурная нагрузка).

**Пятая комбинация** соответствует суммарному действию нагружений 2, 3, 4.



Комбинации необходимы для расчета на совместное действие различных нагрузок

	Комбина	ции			
	Тип MIN	/MAX н	аложен	ия : н	er
1	Номер	HF-1	HF-2	HF-3	HΓ-4
	K-1	1	0	0	0
	K-2	0	1	0	0
	K-3	0	0	1	0
l	K-4	0	0	0	1
l	K-5	0	1	1	1
ı					





# 8. Таблица нагрузок

На вкладке «Нагрузки» выбираем



и выводим таблицу с нагрузками во Viewer:

нагрузки конечно-элементного проекта

		рузки

Узловые	нагрузки						
Нагруж.	Nr.уэла	Pж	Р <b>у</b>	Рz	Мж	Му	Mz
		[RH]	[RH]	[RH]	[кНи]	[кНи]	[кHм]
2	5	-10.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

#### --УЗЛОВЫЕ НАГРУЗКИ - СМЕЩЕНИЯ ОПОР

Узловые	нагрузки	- сиещения	опор				
Нагруж.	Nr.узла	Ux/Ur	Uy/Us	Uz/Ut	Phix/Phir	Phiy/Phis	Phiz/Phit
		[14]	[14]	[и]	[град.]	[град.]	[град.]
3	3	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000

#### --РАВНОМЕРНО-РАСПРЕДЕЛЁННЫЕ ЭЛЕМЕНТНЫЕ НАГРУЗКИ

Равномерно-рас	пределённые	элементны	е нагрузки		
Нагруж. Номер	элемента	FCK/MCK	Px/r	Py/s	Pz/t
			[кН/м2:кН/м]	[кН/м2:кН/м]	[кН/м2:кН/м]
2	4	rck	0.000	0.000	-2.000

#### --температурные элементные нагрузки

			нагрузки	е элементные	Температурные
dTs	dTt	Т	alpha	Номер_эл-та	Нагружение
	[град.]	[1/град.]			
-50	-	-	1.2e-005	3-4	4
-	-	75	1.2e-005	3-4	4
_	_	100	1.2e-005	1-2	4

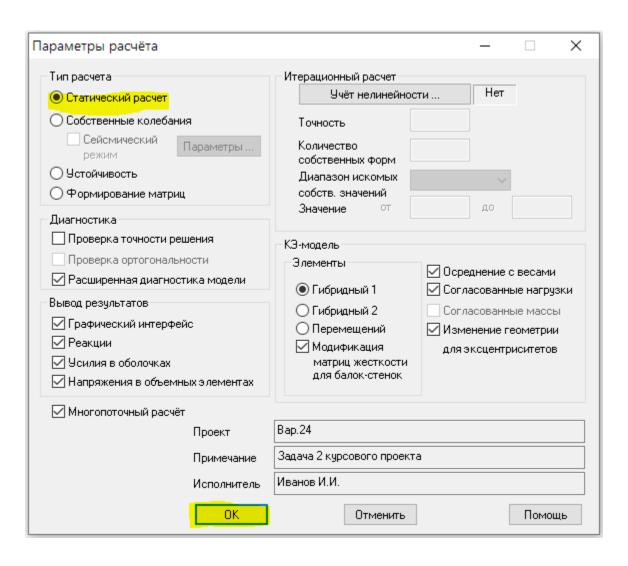
Мы закончили построение модели. Следующий шаг – запуск на расчет и просмотр результатов





#### Запуск на расчет

Выбираем на вкладке «Расчет и результаты» → Общий расчет → Расчет МКЭ





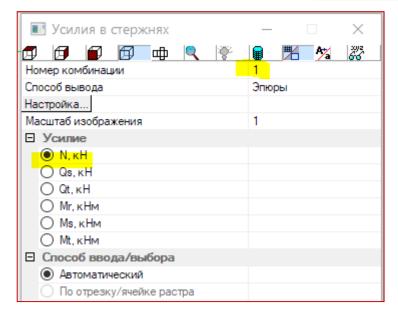


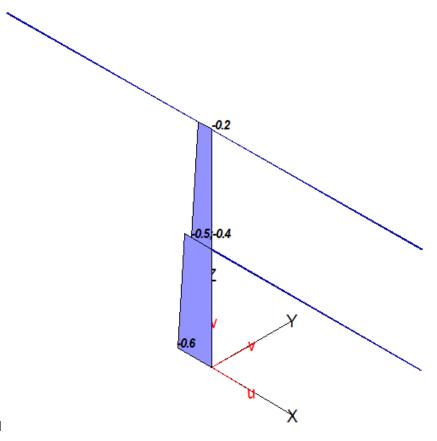
# Результаты

#### Просмотр эпюр усилий

Вкладка «Расчет и результаты» →









Эпюры внутренних силовых факторов соответствуют комбинациям нагружений



Изгибающие моменты в строительных расчетах строятся на растянутом волокне (фибре)



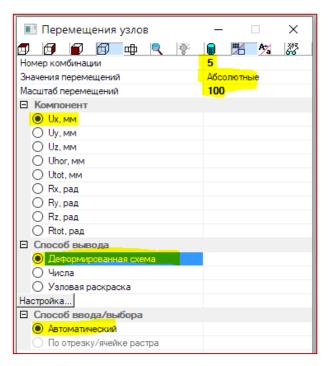


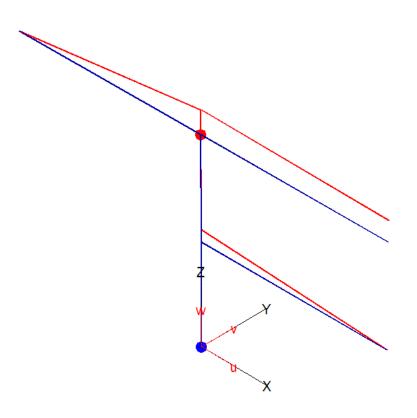
# Результаты

#### Просмотр перемещений

Вкладка «Расчет и результаты» →









Деформированная модель строится по перемещениям в узлах. Более частое разбиение позволит уточнить картину перемещений.

Max: Узел 1, Ux=0.000 мм Min: Узел 2, Ux=-0.006 мм





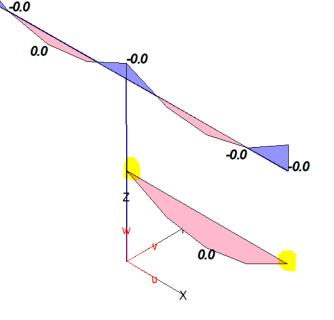
#### Анализ результатов

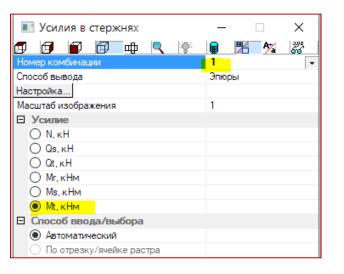


Важно проанализировать полученные результаты – усилия и перемещения. Внимательный анализ эпюр позволяет выявить ошибки, допущенные на этапе создания модели.

#### Следует проверить:

- 1. Характер деформирования системы соответствуют ли перемещения схеме нагружения и кинематическим граничным условиям (например, заданным осадкам опор).
- 2. Внутренние усилия соответствуют ли усилия приложенным нагрузкам (условия статического равновесия в узлах, наличие скачков в сечениях с сосредоточенными силами/моментами) и силовым граничным условиям. При наличии шарниров проверить, передают ли шарниры усилия по разрешенным степеням свободы, например, в рассмотренном примере изгибающий момент Мt от собственного веса в шарнирах ферменного элемента должен быть равен нулю.









# Прочностной расчет и подбор профиля



Изобразить эпюры продольной силы и изгибающего момента для комбинаций РСУ 2,3,4,5.

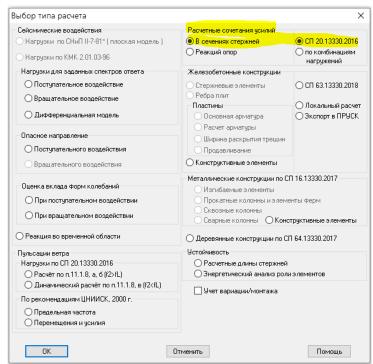
Расчет на прочность провести для каждой комбинации по максимально нагруженным сечениям. В условии прочности учесть напряжения от изгибающего момента и продольной силы.

Подобрать профиль (взять из базы данных STARK) так, чтобы условие прочности выполнялось для каждой комбинации.





#### 1. Определение расчетных сочетаний усилий (РСУ) в элементах рамы





Расчетные сочетания усилий – возможные опасные сочетания нагрузок, которые должны быть учтены при расчете на прочность.

Выбор РСУ из множества сочетаний усилий, возникающих в данном сечении стержня проводится по двум критериям:

- 1) выбор наихудших сочетаний усилий;
- 2) выбор сочетаний по экстремальным значениям усилий или усилий и напряжений.

Например, НС сечений плоской стержневой системы характеризуется продольной силой N и изгибающим моментом М. При выборе РСУ по группе усилий N и M каждой паре (N, M) ставится в соответствие точка на плоскости. Множеству сочетаний усилий отвечает множество точек на плоскости.

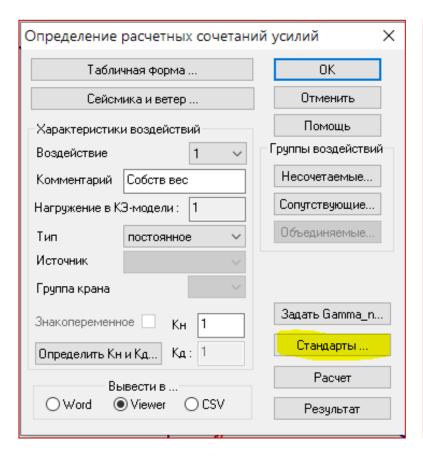
По первому критерию задача выбора РСУ сводится к отысканию тех точек множества, которые являются вершинами выпуклого многоугольника, содержащего все точки заданного множества. По второму критерию выбираются те точки, одна из координат которых принимает максимальное или минимальное значение. Например, если N(m)=max N(i), то точка (N(m), M(m)) будет выбрана в качестве расчетной точки (точнее говоря, будет взято соответствующее сочетание усилий).

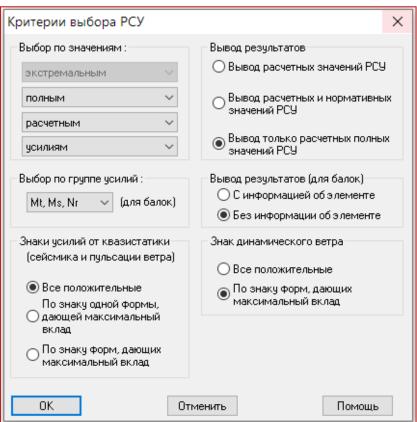
Критерий наихудших сочетаний, как правило, приводит к гораздо большему числу отобранных РСУ и может выполняться медленнее, чем выбор по экстремальным значениям усилий.





#### 2. Выбор критериев для расчета РСУ





РСУ выбираем **по экстремальным полным расчетным усилиям** (второй критерий).





3. Редактирование расчетных сочетаний усилий (РСУ) в таблице (нажать на кнопку «Табличная форма»)

🖷 Зад	ание РСУ									-	
Сортировать											
Воздей	ствия Сейсмика и	Ветер									
	Воздействие	Нагружения	Тип воздействия	Кн	Кд	+/-	Сейсмика	Ветер	Группы несочетаемых	Группы сопутствующих	
	1	1	Постоянное	1	-						
	2	2	Длительное	1	-	$\overline{}$					
	3	3	Длительное	1.2	-	$\overline{}$					
	4	4	Кратковр, температурное	1.1	1						

Тип воздействия: постоянное, длительное, кратковременное, особое. Если в этом поле будет указано «не использовать», то данное воздействие не будет учитываться при генерации возможных комбинаций.

Собственный вес – всегда постоянная нагрузка. Силовую нагрузку и осадку опоры будем считать длительными.

Температурная нагрузка – кратковременная.

Кн – коэффициент надежности по нагрузке Кд – коэффициент длительности воздействий (для кратковременных воздействий). Этот коэффициент равен доле длительной части в полном значении нагрузки.

#### По СП20:

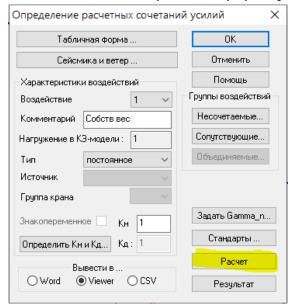
Нагрузки длительные - нагрузки, изменения расчетных значений которых в течение расчетного срока службы строительного объекта пренебрежимо малы по сравнению с их средними значениями

**Нагрузки кратковременные** - нагрузки, длительность действия расчетных значений которых существенно меньше срока службы сооружения ■





#### Расчет РСУ и просмотр результатов



Определение расчетных сочетаний усилий по СП 20.13330.2016 Проект Типы комбинаций воздействий : основные комбинации Число элементов для которых определяется РСУ: 5 Тип элемента: 3D-балка Выбор по: экстремальным сочетаниям, по расчетным значениям усилий, по полным значениям усилий, по группе усилий Nr, Mt, Ms Коэфф. надежности по ответственности: - в основных расчетных сочетаниях 1.00 - в основных нормативных сочетаниях -1.00 - в особых сочетаниях Число воздействий: 4 Воздействие 1 (Nfea 1): постоянное, Кн = 1.00, Кд = 1.00 Воздействие 2 (Nfea 2): длительное, знакопеременное, Кн = 1.00, Воздействие 3 (Nfea 3): длительное, знакопеременное, Кн = 1.20,  $K\pi = 1.00$ Воздействие 4 (Nfea 4): кратковременное, температурное, знакопеременное, Кн = 1.10, Кд = 1.00 Примечание. Порядок следования типов сочетаний: 1) расчетные полные, расчетные длительные, нормативные полные, нормативные длительные.

Первое РСУ (для примера):

#### В СП20 задаются значения коэффициентов:

Коэффициент надежности по нагрузке - коэффициент, учитывающий в условиях нормальной эксплуатации сооружений возможное отклонение нагрузок в неблагоприятную (большую или меньшую) сторону от нормативных значений

**Коэффициент сочетаний нагрузок** - коэффициент, учитывающий уменьшения вероятности одновременного достижения несколькими нагрузками их расчетных значений

				иетные со					
Ne			Усилие						
			Nr, ĸH			ш Qt,	кН Ма	, кНи	Мт, кНы
1	0	1	Max Nr	(п) (расч.	)				
			N воздейс						
				r. : 0					
				1.10		1 0	.00	0.00	0.00
			Min Nr						
			N воздейс						
			Коэф. соч						
			-55.28			1 0	.00	0.00	0.00
			Max Mt						
			N воздейс						
			Коэф. соч						
				-1.10		1 0	.00	0.00	0.00
	0.5	1	Max Nr						
			N воздейс						
				: 0					
		_		1.10		.4 0	.00	0.00	0.00
		2	Min Nr (						
			N воздейс						
			Коэф. соч -55.16	1. : 1					
						.4 0	.00	0.00	0.00
			Мах Mt ( N воздейс						
			Коэф. соч						
				0.91				0.00	0.00
		4	Min Mt			0	.00	0.00	0.00
		7	N воздейс			2 2			
				: E					
				-0.91				0.00	0.00
			14.43	-0.51	-0.3	0	.00	0.00	0.00





Выбираем на вкладке «Расчет и результаты» — Конструктивный расчет

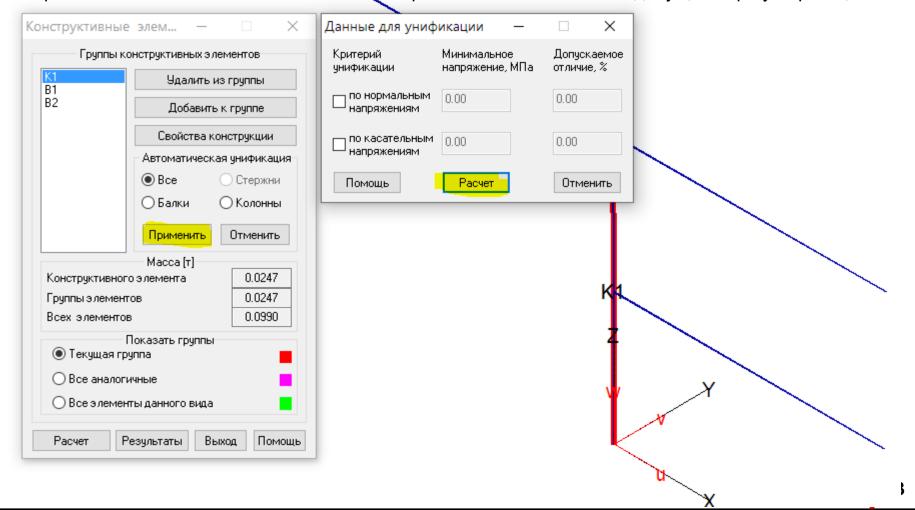
Выбор типа расчета		×	Выбор конечн	ных элементов		×
Сейсмические воздействия	Расчетные сочетания усилий		-			, ,
○ Нагрузки по СНиП II-7-81* (плоская модель)	В сечениях стержней	O C∏ 20.13330.2016	Номера конечнь	іх элементов:		
○ Нагрузки по КМК 2.01.03-96	О Реакций опор	<ul><li>○ по комбинациям нагружений</li></ul>	первый	последний	шаг	Выбор в графике
Нагрузки для заданных спектров ответа	Железобетонные конструкции			_		
○ Поступательное воздействие	Стержневые элементы	O C∏ 63.13330.2018	1	5	1	Очистить
<ul> <li>Вращательное воздействие</li> </ul>	О Ребра плит					0 1110111110
О Дифференциальная модель	Пластины	О Локальный расчет				
О дифференциальная модель	Основная арматура	○ Экспорт в ПРУСК				Удалить
Опасное направление	<ul><li>○ Расчет арматуры</li><li>○ Ширина раскрытия трещин</li></ul>		г Способ формир	on surra VO	Тип элементов	
О Поступательного воздействия	О Продавливание		Спосоо формир	CV KNHBBO	типэлементов	
	О Конструктивные элементы		🔲 Задать новы	е элементы		
Вращательного воздействия			<b>№</b> По одном	ч КЭ	✓ Балки	
Оценка вклада форм колебаний	Металлические конструкции по С	1 16,13330.2017				
О При поступательном воздействии	<ul> <li>Изгибаемые элементы</li> <li>Прокатные колонны и элеме</li> </ul>	NATI LI CHORNA	цепочка к	(Э свободной длины	Колонны	
	Сквозные колонны	яты ферм	_ Цепочка к	(Э свободной длины в		
○ При вращательном воздействии	Сварные колонны Конс	труктивные элементы	плоскость	4 f-8	Стержни	
<ul> <li>Реакция во временной области</li> </ul>	<ul> <li>Деревянные конструкции по С</li> </ul>		<ul><li>Цепочка к</li></ul>	Э максимальной длины		
Пульсации ветра	<b>Устойчивость</b>		Прерыват	ъ цепочку шарниром		
Нагрузки по СП 20.13330.2016	О Расчетные длины стержней		Поровод	в доложу шартиром		
О Расчёт по п.11.1.8, а, б (f2>fL)	<ul><li>Энергетический анализ роль</li></ul>	элементов		ъ имеющийся список		Помощь
О Динамический расчёт по п.11.1.8, в (f2 <fl)< td=""><td>Учет вариации/монтажа</td><td></td><td></td><td>ных элементов</td><td></td><td>11011022</td></fl)<>	Учет вариации/монтажа			ных элементов		11011022
По рекомендациям ЦНИИСК, 2000 г.				<sub>э</sub> ориентацию MCK		
<ul> <li>Предельная частота</li> </ul>			элементов п	ри унификации		Отменить
О Перемещения и усилия				<sub>э</sub> длины элементов		
			при унифика			OK
OK C	Этменить	Помощь				UK





Унификацию внутри группы элементов не проводим, так как элементов немного.

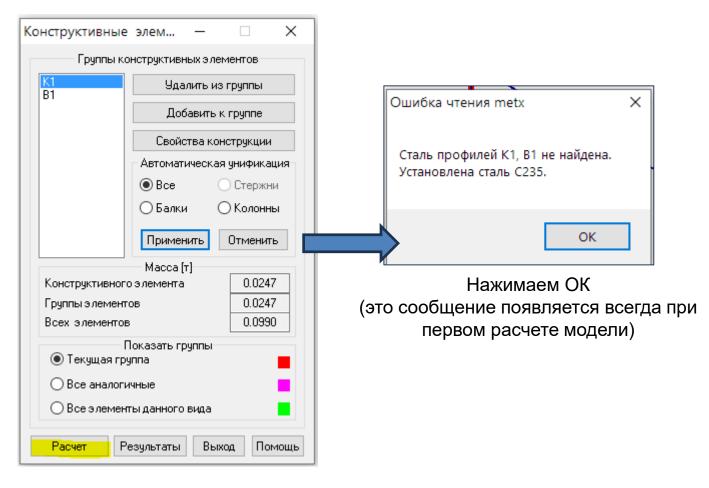
Для справки. Унификация – это объединение конструктивных элементов, напряжения в которых примерно одинаковы. В этом случае следует указать, какие напряжения следует учитывать при унификации (нормальные и/или касательные), задать минимальное рассматриваемое значение напряжений и какое наибольшее отличие напряжений в % может быть допущено при унификации.







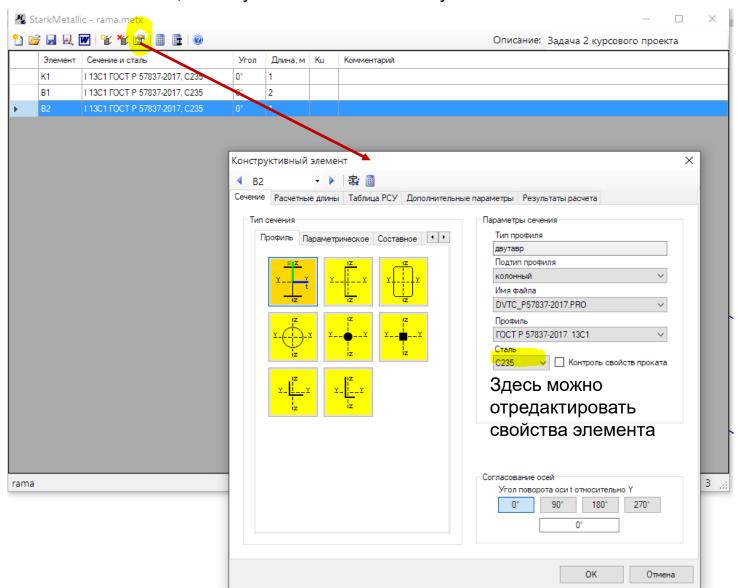
#### Проводим расчет.







В окне модуля StarkMetallic можно отредактировать свойства каждого элемента путем двойного щелчка мыши в таблице или путем нажатия на иконку «Свойства элемента».







В окне модуля StarkMetallic можно выполнить проверочный расчет:

Magazine StarkMetallic - rama.metx						-
🖺 📴 💹 👿   🕆 🌋 🚰 📳 🕡 Описание: Задача 2 курсового проекта						
	Элемент	Сечение и сталь	Угол	Длина, м	Ku	Комментарий
	K1	I 13C1 ΓΟCT P 57837-2017, C235	0°		0.367	
	B1	I 13C1 ΓΟCT P 57837-2017, C235	0°	2	1.890	
Þ.	B2	I 13C1 FOCT P 57837-2017, C235	0°	1	0.307	

Результат расчета – коэффициент использования Ки.

**Коэффициент использования** – это отношение максимальных усилий (напряжений) в элементе к предельному значению этих усилий (напряжений).

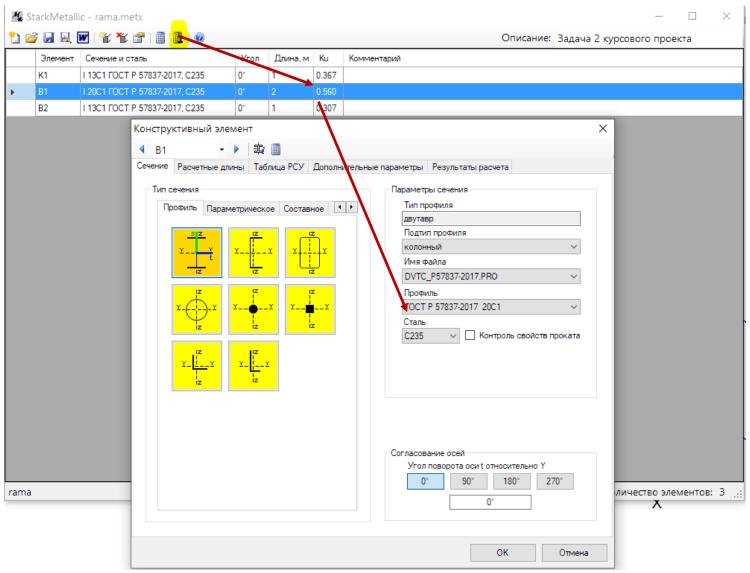
Если Ки > 1, то прочности элемента недостаточно.

То есть выбранный перед расчетом двутавр не удовлетворяет условиям прочности.





В окне модуля StarkMetallic можно подобрать оптимальное сечение. Это двутавр 20С1 для группы В1, то есть для верхних горизонтальных стержней:





#### Список литературы

- 1. Ицкович, Г. М. Сопротивление материалов. Руководство к решению задач в 2 ч. Часть 1: учебное пособие для академического бакалавриата / Г. М. Ицкович, Л. С. Минин, А. И. Винокуров; под ред. Л. С. Минина. 4-е изд., испр. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2017. 318 с. (Серия: Бакалавр. Академический курс). ISBN 978-5-534-05124-7.2.
- 2. Окопный Ю.А., Радин В.П., Хроматов В.Е., Чирков В.П. Механика материалов и конструкций: Сборник задач. М.: Машиностроение, 414 с.
- 3. Окопный Ю.А., Радин В.П., Чирков В.П. Механика материалов и конструкций. М.: Машиностроение, 1-е изд. 2001. 408 с., 2-е изд. 2002. 436 с.
- 4. Благонадежин В.Л. Расчет статически неопределимых систем. М.: Издательство МЭИ, 1997. 96 с.
- 5. Марочник сталей и сплавов/ А.С. Зубченко, М.М. Колосков, Ю.В. Каширский и др.-М.: 2003. 784 с.
- 6. Мишенков Г.В., Самогин Ю.Н., Чирков В.П. Метод конечных элементов в курсе сопротивления материалов.-М.: Физматлит, 2015.-472 с.
- 7. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции
- 8. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия
- 9. Руководство пользователя. Программный комплекс для расчета пространственных конструкций на прочность, устойчивость и колебания STARK ES. М., ЕВРОСОФТ, 2023 499 с.
- 10. Симбиркин В.Н., Ревенок Т.А., Панасенко Ю.В. Моделирование и расчет стальной рамы с помощью программного комплекса STARK ES. Методическое пособие. М., ЕВРОСОФТ, 2020 64 с.