



# Создание модели и расчет стальной плоской рамы в STARK ES

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

Москва, 2024





	Aannbie K Sada ie Jie 2									
а,	<i>b</i> ,	С,	P,	q,	$\Delta$ ,	$T_1$ ,	$T_2$ ,	<i>T</i> <sub>0</sub> ,		
M	М	Μ	КН	KH/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		

## Данные к задаче № 2



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.

 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.

65

СТАЛИ УГЛЕРОДИСТЫЕ ОБЫКНОВЕННОГО КАЧЕСТВА

Марка	рка стали Вид поставки														
Ст3	Стзип Сортовой и фасонный прокат — ГОСТ 535-88. Лист — ГОСТ 14637-89, ГОСТ 16523-97.														
	Массовая доля элементов, %, по ГОСТ 380-94 Тем											mepa	тура крит	ических т	очек, ℃
<u> </u>	Si	Mn	S	P	Cr	Ni		Cu	As	N	A	P1	Ac <sub>3</sub>	Ar <sub>1</sub>	Ar <sub>3</sub>
0,14 0,22	≤0,05	0,30 0,60	≤ 0,050	≤ 0,040	≤0,30	≤ 0,3	30 ≤	0,30	≤ 0,080	≥ 0,010	73	5	850	680	835
				Mexa	пические	свойс	тва пр	и ком	натной т	емперату	be	,			
		Реж	сим термо	обработк	И		Сечен	une,	G0,2,	σ <sub>B</sub> , 2	δ,	ψ,	KCU,		
нд	O	перация	t,℃		Спаждаюц	цая	MM	(	F1/MM	H/MM	%	1 %	Дж/см-	Изгио	нв
FOCT					среда					360	менее	r	1		
535-88							Дo 1	10	235	460	27	-	-	d=a	—
							Свын 10 до	ше 20	235	360- 460	27			d=a	
	Brop	ячекатаном	состоян	ни			Свыи 20 до	ше 40	225	360 460	26	-	-	d=2a	-
		· ·					Свы 40 д 100	ше цо	215	360 460	24		-	d=2a,	-
							Свыл 100	ше	185	360- 460	24	-	-	d=2a	_
ГОСТ 14637-							Дo 2	20	235	360- 460	27	-		d=1,5a	-
89	1						Свыл 20 до	ше 40	225	360- 460	26	-	-	d=2,5a	
	B roj	В горячекатаном состоянии					Свы 40 д 100	ше 10 D	215	360 460	24	-	-	d=2,5a	_
							Свы 100, 160	ше до D	195	360- 460	24	-	-	d=2,5a	_
ГОСТ 16523	Горя	чекатаный	лист в те	рмически			Д <u>о</u> 2	.,0	-	360- 530	20	-	-	d=a	
97	обра	обработанном состоянии					Свы 2,0	ще )	_	360- 530	22		-	d=2a	—
	Холо	днокатаны	й лист в 1	сермическ	ж		Дo 2	2,0		360- 530	22		_	d=a	_
	обработанном состоянии					Свы 2,0	ще )		360- 530	24	-	-	d=2a		

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

 $σ_T = σ_{0,2} = 185 - 235$  ΜΠa  $σ_B = 360 - 450$  ΜΠa E = 210 ΓΠa





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



Система статически-неопределимая, геометрическинеизменяемая.

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

Создать КЭ-м	Создать КЭ-модель							
<ul> <li>FEA-Проек</li> <li>3D POS-Пр</li> </ul>	т OPOS-Проект (Плита) юект OPOS-Проект (Балка-стенка) OPOS-Проект (Тело вращения)							
Путь c:\euro	Путь c:\eurosoft\stark\daten\fem							
🖲 Выб	íрать путь							
🔿 Соз	дать в корневой директории \StarkPrj							
Имя файла	RAMA							
Проект	Bap.24							
Примечание	Задача 2 курсового проекта							
Исполнитель	Иванов И.И.							
	ОК Отменить							

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».





Рекс сохр кажд

Рекомендуется сохранять модель после каждой операции.

## 2. Вводим стержни по координатам их узлов

📧 Стержни и пластины	– 🗆 X
🗇 🗊 🗊 🗑 🗬 🦉	🗑 📕 🎋 🖑
Операция	Установить
🗆 Объекты	
О Оболочки	
ЭD-стержни	
Способ ввода/выбора	
Автоматический	
По отрезку/ячейке растра	
По вершинам ломаной	
Привязки	
<ul> <li>К элементам модели</li> </ul>	
К растру	
К DXF-подоснове	
🗌 К центру отрезка или круга	
К пересечению линий	
О Относит. привязка в прямоугольн	
О Относит. привязка в цилиндричес	
Привязка к плоскости	
К проекции точки на плоскость	
К пересечению линии с плоскостью	
К пересечению линии и двух плос	
🗉 Координаты	
ввести	
Х, м	1
Ү, м	0
Z, м	0.5



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

	Мат	epi	иаль	al								$\times$	
I	Ø	1	P	Ø	ф		2	÷.		₩	A'a	20/2 676	
Опер	ация								Назн	ачить			
ΞΤι	ипм	ате	ериа	ла									
0	2D-	сте	ржен	ь									
۲	) 3D-	сте	ржен	ь									
0	) Pe6	бро											
C	) Tpo	C											
0	Ho	вый	мате	ериал							×		1
ĕ	3	D - c1	гержен	њ									
ŏ	5 н	омер	о мат.	1	$\sim$	Новь	ый		Ст	андарт			
0	4	A I	0.09		Е	3e+007	7	Сече	ние				
		As [	)		G	1.25e+	007	Параг	метриче	еское	_		
		- C	- 		] Bho	2.5		Проф	иль сор	тамент	ra		3
	1 '	* [t	J		ј по 1⊢Лем	ипфер –		Произ	звольно	be			
	1	r [(	0.0013	5	Cr	0		Соста	вное				
	1	s (	0.0006	75	Cs	0	_						
		t (	0.0006	75	Ct	0							
		Ссыл	ОК										
	Ι,	Комм	ентар	ий									
								OK		Отм	ена		
			-		_		_		_			1	

В разделе «Материалы и жесткости элементов» выбираем Материалы → Назначить.

В таблице «Материалы» указываем «3D-стержень» и выбираем «Новый материал».

Нажатие на кнопку «Профиль сортамента» выводит на окно с видами проката.

Выбираем двутавровое сечение по ГОСТ Р 57837-2017

🗓 Открыты	•			×		
Все типы	Имя файла	Тип	Подтип	^		
двутавр	DVTB_26020-83.PRO	двутавр	балочный, ГОСТ 26020-83			
швеллер	DVTB_AC4M20-93.PRO	двутавр	балочный, СТО АСЧМ 20-93			
труба	DVTB_P57837-2017.PRO	двутавр	балочный, ГОСТ Р 57837-2017			
уголок	DVTC_P57837-2017.PRO	двутавр	свайный, ГОСТ Р 57837-2017			
замкнутый	DVTH_26020-83.PRO	двутавр	широкополочный, ГОСТ 26020	ŀ		
CTARL	DVTH_AC4M20-93.PRO	двутавр	широкополочный, СТО АСЧМ			
CTONE	DVTH_P57837-2017.PRO	двутавр	широкополочный, ГОСТ Р 578			
	DVTK_26020-83.PRO	двутавр	колонный, ГОСТ 26020-83			
	DVTK_ACHM20-93.PRO	двутавр	колонный, СТО АСЧМ 20-93	_		
	DVTK_P57837-2017.PR0	двутавр	колонный, ГОСТ Р 57837-2017			
	DVTM_19425-74.PRO	двутавр	монорельсовый			
	DVTN_8239-89.PRO	двутавр	обычный			
	ZPRK_12336-66.PRO	замкнутый	квадратный			
	ZPRK_30245-2003.PRO	замкнутый	квадратный	~		
	<	1	>			
	Οτκρ	ють	Отменить			







Выделяем рамкой всю раму и задаем материал. Номер материала становится виден на модели.



🔳 Материалы	– 🗆 🗙
🗖 🗊 🗃 🗊 🗰 🔍 💚	🔒 📕 🎋 🎇
Операция	Назначить
🗉 Тип материала	
2D-стержень	
ЭD-стержень	
🔿 Ребро	
O Tpoc	
Изотропный	
Ортотропный (пластины)	
<ul> <li>Ортотропный (3D-элементы)</li> </ul>	
О Слоистый	
🔘 Бетон/ Грунт	
О Арматурный слой	
Номер материала	
Новый материал	
Номер материала	1 (I 13C1 DVTC_P5783
Комментарий	
Характеристики материала	
Редактировать	
А, м2	0.003152
As, M2	0.00106
Аt, м2	0.00194
Ir, M4	1.09e-007
ls, m4	2.2359e-006
lt, m4	8.3838e-006
Е, кПа	2.06e+008
G, кПа	7.9e+007
Rho, т/м3	7.85
Способ ввода/выбора	
• Автоматический	
<ul> <li>По отрезку/ячейке растра</li> </ul>	





## 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 «r» 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 → МСК стержней → Поворот вокруг оси r. В таблице МСК стержней задаем «Угол поворота» вокруг оси «r» = 90°.







## 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 жесткость шарнира					
шарнира	шарнира С	Шарнир включен	Шарнир выключен				
0	0	0 (элемент отсоединен от системы)	невозможно (шарнир включен всегда)				
0	>0	С (элемент присоединен к системе посредством пружины)	невозможно (шарнир включен всегда)				
+1/-1	0	0 (элемент отсоединен от системы)	∞ (элемент жестко связан с системой)				
+1/-1	>0	С (элемент присоединен к системе посредством пружины)	0 (элемент отсоединен от системы)				
+2/-2	0	0 (элемент отсоединен от системы)	∞ (элемент жестко связан с системой)				
+2/-2	>0	С (элемент присоединен к системе посредством пружины)	∞ (элемент жестко связан с 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.



	🛛 Элемен	_			×				
		0	ф		÷.		₩	A	2012 616
Or	терация		_			Уста	новит	ь	
	Элементь	k							
	🔘 Пласти	ны							
	🖲 Стержн	и							
	Тип рабо	ты							
1.	0								
1	O +1								
	0.1								
	O +2								
L	0-2								
	Степени	свобод	ыиже	сткос	ти				
	I г, кН/м								
	S, KH/M								
		ирад				0			
1		и/рад Ирал				0			
		кооран	плат			0			
12		коорди	ina i						
	O MCK								
	Опск								
	Способ в	вода/в	ыбора						
	• Автома	тически	й						
	О По отре	езку/яче	йке рас	стра					
		-							





## 6. Установка связей

Задаем жесткие заделки.

На вкладке «КЭ-модель» выбрать Опоры → Узловые опоры → Установить.



💽 Узловые опоры	– 🗆 X
🗗 🗗 💕 👰 🖷 🔍 👻	🗑 📕 🖄 🌄
Операция	Установить
🗆 Тип работы	
Двусторонняя	
Односторонняя (растяжение)	
Односторонняя (сжатие)	
🗆 Опоры	
🗹 Х, кН/м	0
Y, кН/м	0
Z, кН/м	0
🔽 Rx, кНм/рад	0
Ry, кНм/рад	0
🔽 Rz, кНм/рад	0
Система координат	-
О лск	
Способ ввода/выбора	
• Автоматический	
По отрезку/ячейке растра	

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 кН. Минус показывает, что нагрузка действует против оси X. Выбираем Распределенные нагрузки → Установить. Устанавливаем Pz = -2 кН/м на левый горизонтальный стержень.

🔳 Равномерно распределенны	– 🗆 🗙	💽 Узловые нагрузки.Силы и м — 🗆 🗙
🗗 🗊 🗊 🗇 🔍 🕅	🗑 📕 🎋 🎇	🗊 🗊 🗊 🗇 🔍 褾 🛢 🟋 🌿 🎇
Операция	Установить	Операция Установить
Номер нагружения	2	Номер нагружения 2
Комментарий		Комментарий
🗉 Элементы		🛛 Нагрузки
Пластины		Рх, кН -10
Стержни		Ру, кН
🗉 Нагрузки		Pz, ĸH
Px(Pr)		Мх, кНм
Py(Ps)		Му, кНм
✓ Pz(Pt)	-2	Mz, KHM
🗉 Неравномерность		Графический вывод числовых значений нагрузок
🗌 Задать		🔽 Оцифровка
Гололёдная нагрузка		Способ ввода/выбора
🗌 Задать		• Автоматический
Система координат		По отрезку/ячейке растра
O MCK		
О ГСК-проекция		
Графический вывод числовых знач	чений нагрузок	Первое нагружение веегда
🔽 Оцифровка		соответствует нагрузке от
Способ ввода/выбора		собственного веса конструкции.
Автоматический		
🗌 🔿 По отрезку/ячейке растра		





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 — Температурные — 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:

Комбинации

и заполняем таблицу с комбинациями нагрузок в

комбин	нации	Массы	Доп. на	устойчив	сть	В результатах <b>по пе</b> будет учтен только с
	HL-1	НГ-2	HL-3	HE 4		элементов рамы.
K-1	-	0	0	0		
K-2	0	1	0	0		Вторая комбинаци
K-3	0	0	1	0		нагружению 2 (сило
K-4	0	0	0	1		
K-5	0	1	1	1		
						претья комоинация
						пагружению 5 (осад
						Четвертая комбина
	Тип MI	N/MAX -	наложен	ия	Новая Вывод комбинаций	
	ет па комб	инаций			Удалить O Word	нагружению 4 (темп
0 A	ля комб	инаций и	нагруже	ений	BocctaHoBMTE	
					Вывест	І Іятая комбинация
Задат	ь свойс	тва нели	нейных к	омбинац	й Лин./нелин.	суммарному действ
					ОК Отменить Помощь	Комбинации



Комбинации необходимы для расчета на совместное действие различных нагрузок

рвой комбинации собственный вес

я соответствует вая нагрузка).

а соответствует ка опоры).

ция соответствует ературная нагрузка).

соответствует ию нагружений 2, 3, 4.

Комбинации Тип MIN/MAX наложения : нет									
Номер	HF-1	НГ−2	НΓ-3	HΓ-4					
K-1	1	0	0	0					
K-2	0	1	0	0					
K-3	0	0	1	0					
K-4	0	0	0	1					
K-5	0	1	1	1					





## 8. Таблица нагрузок

На вкладке «Нагрузки» выбираем

Табличный вывод нагрузок

и выводим таблицу с нагрузками во Viewer:

НАГРУЗКИ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО ПРОЕКТА

УЗЛОВН	ИЕ НАГРУЗКИ						
Узловые	е нагрузки						
Нагруж	. Nr.узла	Рж	Ру	Ρz	Мж	Му	Mz
		[RH]	[RH]	[RH]	[кНи]	[кНи]	[кНм]
2	5	-10.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

#### --УЗЛОВЫЕ НАГРУЗКИ - СМЕЩЕНИЯ ОПОР

Узловые	нагрузки	- смещения	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-распр	еделённые	элементные	е нагрузки		
Нагруж. Номер_эл	емента	ГСК/МСК	Px/r	Py/s	Pz/t
		I	[кН/м2:кН/м]	[кН/м2:кН/м]	[кН/и2:кН/и]
2	4	PCK	0.000	0.000	-2.000

#### --ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЭЛЕМЕНТНЫЕ НАГРУЗКИ

Температурны Нагружение	е элементные Номер эл-та	нагрузки alpha	т	dTt	dTs
			[1/rpag.]	[град.]	
4	3-4	1.2e-005	-	-	-50
4	3-4	1.2e-005	75	-	-
4	1-2	1.2e-005	100	-	-

#### 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

Параметры расчёта		– 🗆 X
Тип расчета	Итерационный расчет Учёт нелинейнос	ти Нет
<ul> <li>Собственные колебания</li> <li>Сейсмический Параметры</li> <li>Формирование матриц</li> </ul>	Точность Количество собственных форм Диапазон искомых собств. значений	
Диагностика Проверка точности решения Проверка ортогональности Расширенная диагностика модели Вывод результатов Графический интерфейс Реакции	Значение от КЗ-модель Элементы ● Гибридный 1 ○ Гибридный 2 ○ Перемещений ☑ Модификация	до ✓ Осреднение с весами ✓ Согласованные нагрузки Согласованные массы ✓ Изменение геометрии для эксцентриситетов
<ul> <li>Усилия в оболочках</li> <li>Напряжения в объемных элементах</li> <li>Многоратоциный расцёт.</li> </ul>	матриц жесткости для балок-стенок	
Проект	Bap.24	
Примечание	Задача 2 курсового проекта	3
Исполнитель	Иванов И.И.	
ОК	Отменить	Помощь





## **Результаты** Просмотр эпюр усилий

Усилия в стержнях

7

Номер комбинации

Масштаб изображения

Способ вывода Настройка...

Эсилие
 № КН
 Qs, кН
 Qt, кН

Mr, кНм
 Ms, кНм
 Mt, кНм

Способ ввода/выбора
 Автоматический

По отрезку/ячейке растра

冏

**A** A

Вкладка «Расчет и результаты» →

ф

езу	/ЛЬТа	аты	Эпю в с	ры уси. тержня	лий ях	
					×	
	Ŷ		₩	A*/a	2012 676	
		1				
		Эпю	ры			
		1				

N



соответствуют комбинациям нагружений

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







## **Результаты** Просмотр перемещений

Вкладка «Расчет и результаты» →



📧 Перемещения узлов	– 🗆 X
🗗 🗗 🗊 🗰 🔍 🕅	<b>8 16 17</b> 27
Номер комбинации	5
Значения перемещений	Абсолютные
Масштаб перемещений	100
В Компонент	
🔘 Ux, мм	
🔿 Uy, мм	
O Uz, мм	
O Uhor, мм	
🔘 Utot, мм	
Rx, рад	
О Ву, рад	
<ul> <li>Rz, рад</li> </ul>	
🔘 Rtot, рад	
🗉 Способ вывода	
Деформированная схема	
🔾 Числа	
Узловая раскраска	
Настройка	
Способ ввода/выбора	
Автоматический	
О По отрезку/ячейке растра	



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

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



-0.0

-0.0

0.0



## Анализ результатов

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

Следует проверить:

- Характер деформирования системы соответствуют ли перемещения схеме нагружения и кинематическим граничным условиям (например, заданным осадкам опор).
- 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 Mt 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

Зыбор типа расчета		×	
Сейсмические воздействия	Расчетные сочетания усилий		
○ Нагрузки по СНиП II-7-81* (плоская модель)	• В сечениях стержней	ОП 20.13330.2016	
○ Нагрузки по КМК 2.01.03-96	🔘 Реакций опор	<ul> <li>по комбинациям нагружений</li> </ul>	
Нагрузки для заданных спектров ответа	Железобетонные конструкции		
О Поступательное воздействие	О Стержневые элементы	О СП 63.13330.2018	
О Вращательное воздействие	🔾 Ребра плит		
	Пластины	🔘 Локальный расчет	
🔘 Дифференциальная модель	🔵 Основная арматура	Экспорт в ПРУСК	
0	О Расчет арматуры		
Опасное направление	🔘 Ширина раскрытия трещин		
О Поступательного воздействия	О Продавливание		
О Вращательного воздействия	О Конструктивные элементы		
Оценка вклада форм колебаний О При поступательном воздействии О При вращательном воздействии	Металлические конструкции по СГ Изгибаемые элементы Прокатные колонны и элеме Сквозные колонны Сварные колонны ОКонс	1 16.13330.2017 нты Ферм труктивные элементы	
Реакция во временной области	Деревянные конструкции по СГ	1 64.13330.2017	
Пульсации ветра	Устойчивость		
Нагрузки по СП 20.13330.2016	О Расчетные длины стержней		
○ Расчёт по п.11.1.8, а, б (f2>fL)	<ul> <li>Энергетический анализ роли</li> </ul>	элементов	
Динамический расчёт по п.11.1.8, в (f2 <fl)< p=""></fl)<>	📃 Учет вариации/монтажа		
По рекомендациям ЦНИИСК, 2000 г.			
Предельная частота			

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

Определение расчетных сочетани	й усилий 🛛 🗙	Критерии выбора РСУ	×
Табличная форма         Сейсмика и ветер         Характеристики воздействий         Воздействие       1         Комментарий       Собств вес         Нагружение в КЭ-модели :       1	ОК Отменить Помощь Группы воздействий Несочетаемые Сопутствующие	Выбор по значениям : экстремальным полным расчетным усилиям Выбор по группе усилий : Mt, Ms, Nr (для балок)	Вывод результатов Вывод расчетных значений РСУ Вывод расчетных и нормативных значений РСУ Вывод только расчетных полных значений РСУ Вывод результатов (для балок) С информацией об э лементе
Тип     постоянное       Источник       Группа крана       Знакопеременное       Кн       Определить Кн и Кд       Кд:       Вывести в       Word	Объединяемые Задать Gamma_n Стандарты Расчет Результат	Знаки усилий от квазистатики (сейсмика и пульсации ветра) <ul> <li>Все положительные По знаку одной формы,</li> <li>дающей максимальный вклад</li> <li>По знаку форм, дающих максимальный вклад</li> </ul> ОК	<ul> <li>Все положительные</li> <li>Все положительные</li> <li>По знаку форм, дающих максимальный вклад</li> </ul>

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





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

归 Зад	ание РСУ									-	- 🗆 X
Сортировать									Сохранить		
Воздействия Сейсмика и Ветер											
	Воздействие	Нагружения	Тип воздействия		Кн	Кд	+/-	Сейсмика	Ветер	Группы несочетаемых	Группы сопутствующих
	1	1	Постоянное	~	1	-					
	2	2	Длительное	$\sim$	1	-	$\checkmark$				
	3	3	Длительное	$\sim$	1.2	-	$\checkmark$				
1	4	4	Кратковр, температурное	~	1.1	1					
	Воздействие 1 2 3 4	Нагружения 1 2 3 4	Тип воздействия Постоянное Длительное Длительное Кратковр, температурное		Кн 1 1.2 1.1	Кд - - 1	+/-	Сейсмика	Ветер	Группы несочетаемых	сопутствую

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







![](_page_30_Picture_0.jpeg)

![](_page_30_Picture_1.jpeg)

Выбираем на вкладке «Расчет и результаты» — Конструктивный расчет

Сейснические воздействия Нагрузки по СНиП II-781* (поская модель) Нагрузки по КМК 201.03-96 Нагрузки по КМК 201.03-96 Нагрузки по КМК 201.03-96 Нагрузки по КМК 201.03-96 Нагрузки по КМК 201.03-96 Пострятельное воздействие Пострятельное воздействие Пострятельное воздействия Пострятельное воздействия Пострятельное воздействия Пострятельное воздействия Пораделизеные элементы Продавлизеные элементы Продавлизение элементы Продавлизение элементы Продавлизение элементы Продавлизение элементы Продавливые злементы Продавливые элементы Продавли целочка КЗ свободной длины В плоскости г-s Металические изаки ализа роли элементов Прерывать целочку шарниром Металические и анака роли элементов Прерывать целочку шарниром Миталические и анака роли элементов Прерыевать оринентов При унификациии МКК залементов при унификации Не учитывать элементов Прерыевать оринентов при унификации Не учитывать элементов Прерывать сриентов при унификации Не учитывать элементов Прерывать оринентов при унификации Натиризитие на стали на рале	Выбор типа расчета		×
Нагрузки по СНиП II-7-81* (плоская модель)       В сеченяях стериней       СП 20.13330.2016       Поконаницияни         Нагрузки по КМК 201.0336       Реакций опор       СП 20.13330.2016       Поконаницияни         Поступательное воздействие       Реакций опор       СП 63.13330.2018       Переый       последний       Шаг         Опоступательное воздействия       Споснования модель       Опосное направление       Опосное направление       Опосное направление       Поступательное воздействия       Основная арматура       Экспорт в ПРУСК         Опосное направление       Поступательное воздействия       Опосное направление       Посаненые элементы       Сп 63.1330.2017         Опасное направление       Поступательного воздействия       Посаненые элементы       Опоступательного воздействия       По адному КЗ         Опекное вклада форм колебаний       Изгибаельнае элементы       По адному КЗ       По адному КЗ       Споскоб формицования КЗ       Тип э         Оценка вклада форм колебаний       Опоступательном воздействия       Продавликание элементы       В рашательном воздействия       По адному КЗ       Цепочка КЗ свободной длины в плоскости гз         Опрекание вклада форм колебаний       Опрокативые колектрукции по СП 64.13330.2017       По одному КЗ       Цепочка КЗ свободной длины в плоскости гз         Опреканецациен ЦНИИСК, 2000 г.       Опреконецации Канканка вака роля элементов <t< td=""><td>Сейсмические воздействия</td><td>Расчетные сочетания усилий</td><td></td></t<>	Сейсмические воздействия	Расчетные сочетания усилий	
Нагрузки по КМК 201.03-96       Режций опор       По конфикчизии нагружений       По соловичизии нагружений         Нагрузки для заданых спектров ответа Поступательное воздействие       Споступательное воздействие       По следний       шаг         Поступательное воздействие       Споступательное воздействие       Способ формирования КЗ       1       5       1         Опасное награвление       Основная арматура       Эксперт в ПРУСК       Осковная арматура       Эксперт в ПРУСК         Опасное награвление       Опоступательного воздействия       Вращательного воздействия       Посиравление       Эксперт в ПРУСК         Опасное награвление       Опоступательного воздействия       Вращательного воздействия       Способ формирования КЗ       Тип зл         Опасное награвление       Опоступательного воздействия       Металические конструкции по СП 16.13300.2017       По одному КЗ       Цепочка КЗ свободной длины       Колг         При поступательном воздействия       Орокативе колонны и элементы ферм       По одному КЗ       Цепочка КЗ свободной длины       Колг         При поступательной воздействия       Орокативе колонны и элементы ферм       Цепочка КЗ свободной длины       Колг         При вращательном воздействии       Ореканье колонны и элементы ферм       Скоютрукции по СП 6.13300.2017       Вально стеркей       Вально стеркей       Вально стока КЗ свободной длины       Стеркение к КЗ	○ Нагрузки по СНиП II-7-81* ( плоская модель )	О В сечениях стержней	○ CΠ 20.13330.2016
Нагрузки для заданных слектров ответа       Келезобетонные конструкции         Постулятельное воздействие       Опосные конструкции         Дифференциальная модель       Опосальный расчет         Опосное направление       Опосальный расчет         Опостулятельное воздействие       Опосальный расчет         Опосное направление       Опосальный расчет         Опосальный расчет       Опосальный расчет         Опосальный расчет       Опосальный расчет         Опосальный проценка вклада форм колебаний       Ребера плят         При постулятельного воздействия       Кенструктивные элементы         Оценка вклада форм колебаний       Прокальных посятрательном воздействия       Металические конструкции по СП 16.13330.2017         Оценка вклада форм колебаний       Прокальных конструкции по СП 16.13330.2017       По одному КЗ         Цепочка КЗ свободной длины       Кологны       Скоозные колонны       Вращительной боласти         Ореевнные конструкции по СП 64.13330.2017       Челочка КЗ максимальной длины       Стеро         Оресконика вселей       Овенсенов алементов       Вращительной боласти       Оресконна врание стериней         Оресконика вселей       Олекальки конструкции по СП 64.13330.2017       Челочка КЗ максимальной длины       Стеро         Вражиет по п.11.18, в (f2/kl)       Энереянные конструкей       Энерентический анализ роли	○ Нагрузки по КМК 2.01.03-96	🔘 Реакций опор	<ul> <li>по комбинациям нагружений</li> </ul>
Опоступательное воздействие           Опоступательное воздействие         Оставлические           Опоступательное воздействие         Оставлические           Опоступательное воздействие         Основная арматура           Опоступательное воздействия         Основная арматура           Опоступательное воздействия         Основная арматура           Опоступательного воздействия         Матимеские конструкции по СП 16.13330.2017           Оценка вклада форм колебаний         Матимеские конструкции по СП 64.13330.2017           Опри воздействии         Одеревянные конструкции по СП 64.13330.2017           Орокатные колонны         Свержнее сонструкции по СП 64.13330.2017           Опревление сий во арементов         Онсторьзовать имеющийся список конструкции по СП 64.13330.2017           Опревление кий раементов         Энериентов спольны           Опревление и и и и и и и и и и и и и и и и и и	Нагрузки для заданных спектров ответа	Железобетонные конструкции	
<ul> <li>Дифференциальная модель</li> <li>Дифонеренциальная модель</li> <li>В соновная арматура</li> <li>В соновна</li></ul>	<ul> <li>Поступательное воздействие</li> <li>Вращательное воздействие</li> </ul>	<ul> <li>Стержневые з лементы</li> <li>Ребра плит</li> <li>Пластины</li> </ul>	<ul> <li>СП 63.13330.2018</li> <li>Локальный расчет</li> </ul>
Опасное направление Опасное направление Опаступательного воздействия Вращательного воздействия Оценка вклада форм колебаний Оценка вклада форм колебаний Оценка вклада форм колебаний Опри поступательном воздействии Опри поступательном воздействии Опри поступательном воздействии Опри вращательном воздействии Опри вращательном воздействии Определьная частота По рекомендациям ЦНИИСК, 2000 г. По рекомендациям ЦНИИСК, 2000 г. По рекомендациям ЦНИИСК, 2000 г. Порекомендациям ЦНИКСК, 2000 г. Порекомендациям ЦНИКСК, 2000 г. Порекоменда цием ЦНИКСК,	🔿 Дифференциальная модель	Основная арматура Расчет арматуры	Экспорт в ПРУСК
Вращательного воздействия       Оконструктивные элементы       Задать новые элементы       Валки         Оценка вклада форм колебаний       По одному КЗ       Валки         Опри поступательном воздействии       Прокатные колонны и элементы       Цепочка КЗ свободной длины       Колонны         Опри вращательном воздействии       Прокатные колонны и элементы       Цепочка КЗ свободной длины       Колонны         Орежция во временной области       Одеревянные колонны © Конструктивные элементы       Цепочка КЗ свободной длины       Стержни         Пульсации ветра       Чагузки по СП 20.13330.2016       Одеревянные конструкции по СП 64.13330.2017       Цепочка КЗ свободной длины       Стержни         Устойчивость       Одеревянные колонны стержней       Элементов       Прерывать цепочку шарниром       Стержни         Одельная частота       Учет вариации/монтажа       Учет вариации/монтажа       Использовать имеющийся список конструктивных элементов       Мстолькации         Преремещения и усилия       Учет вариации/монтажа       Не учитывать ориентацию МСК элементов       Р не учитывать ориентов при унификации	Опасное направление О Поступательного воздействия	<ul> <li>Ширина раскрытия трещин</li> <li>Продавливание</li> </ul>	
Оценка вклада форм колебаний       Металлические конструкции по СП 16.1330.2017       По одному КЗ       ✓ Балки         Опри поступательном воздействии       Прика воздействии       Прокатные колонны и элементы ферм       Цепочка КЗ свободной длины в плоскости г-s       Сколонны       ✓ Колонны         О Реакция во временной области       Одеревянные колонны © Конструктивные элементы       © Цепочка КЗ свободной длины       © Стержни         Пульсации ветра       Устойчивость       О деревянные конструкции по СП 64.13330.2017       © Цепочка КЗ максимальной длины       © Стержни         При рацательном воздействии       О деревянные конструкции по СП 64.13330.2017       © Цепочка КЗ максимальной длины       © Стержни         Пульсации ветра       Устойчивость       О деревянные длины стержней       Энергетический анализ роли элементов       © Использовать имеющийся список конструктивных элементов       © Использовать имеющийся список конструктивных элементов       © Использовать имеющийся список конструктивных элементов       © Не учитывать ориентацию МСК элементов       © Не учитывать ориентацию МСК элементов       © Не учитывать длины з лементов       © Не учитывать ориентацию МСК элементов       © Не учитывать длины з лементов       © Не учитывать длины з леме	О Вращательного воздействия	О Конструктивные элементы	
<ul> <li>О Реакция во временной области</li> <li>О Деревянные конструкции по СП 64.13330.2017</li> <li>Пульсации ветра</li> <li>Нагрузки по СП 20.13330.2016</li> <li>О Расчёт по п.11.1.8, а, 6 (f2&gt;fL)</li> <li>О Деревянные конструкции по СП 64.13330.2017</li> <li>О Расчёт по п.11.1.8, а, 6 (f2&gt;fL)</li> <li>О Динамический расчёт по п.11.1.8, в (f2<fl)< li=""> <li>По рекомендациям ЦНИИСК, 2000 г.</li> <li>О Предельная частота</li> <li>О Перемещения и усилия</li> </fl)<></li></ul>	Оценка вклада форм колебаний О При поступательном воздействии О При вращательном воздействии	Металлические конструкции по С Изгибаемые э лементы Прокатные колонны и э леме Сквозные колонны Сварные колонны <b>Конс</b>	1 16,13330.2017 енты Ферм труктивные элементы
Пульсации ветра Нагрузки по СП 20.13330.2016 О Расчёт по п.11.1.8, а, 6 (f2>fL) О Динамический расчёт по п.11.1.8, в (f2 <fl) По рекомендациям ЦНИИСК, 2000 г. О Предельная частота О Перемещения и усилия</fl) 	О Реакция во временной области	Деревянные конструкции по СГ	7 64.13330.2017
<ul> <li>О Динамический расчёт по п.11.1.8, в (f2<fl)< li=""> <li>По рекомендациям ЦНИИСК, 2000 г.</li> <li>О Предельная частота</li> <li>О Перемещения и усилия</li> </fl)<></li></ul>	Пульсации ветра Нагрузки по СП 20.13330.2016 О Расчёт по п.11.1.8, а. 6 (f2>fL)	Устойчивость О Расчетные длины стержней О Энергетический анализ роли	ізлементов
По рекомендациям цнийск, 20001. ○ Предельная частота ○ Перемещения и усилия Ше учитывать длины элементов при унификации Перемещения и усилия	О Динамический расчёт по п.11.1.8, в (f2 <fl)< td=""><td>🗌 Учет вариации/монтажа</td><td></td></fl)<>	🗌 Учет вариации/монтажа	
Перемещения и усилия	По рекомендациям ц нийск, 2000 г. О Предельная частота		
	О перемещения и усилия		

![](_page_31_Picture_0.jpeg)

![](_page_31_Picture_1.jpeg)

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.

нструктивнь	ые элем — 🗆 🗙	Данные для унис	фикации —	×		
Группы	конструктивных элементов	Критерий унификации	Минимальное напряжение, МПа	Допускаемое отличие, %		
KI B1	Удалить из группы					
B2	Добавить к группе	По нормальным напряжениям	0.00	0.00		
	Свойства конструкции	по касательным	1 0.00	0.00		
	Автоматическая унификация	напряжениям				
	Все Стержни	Помощь	Расчет	Отменить		
	🔿 Балки 🔿 Колонны					
	Применить Отменить					
	Масса (т)					
Конструктивн	ого элемента 0.0247					
Группы элеме Б	нтов 0.0247					
Всех элемент	гов 0.0990			-		
🖲 Текущая і	Показать группы			1		
🔿 Все анало	огичные					
О Все элеми	енты данного вида			¥	X	
					V	
Расчет	Результаты Выход Помощь			<b>K</b>		
		-			The	

![](_page_32_Picture_0.jpeg)

![](_page_32_Picture_1.jpeg)

Проводим расчет.

![](_page_32_Figure_4.jpeg)

![](_page_33_Picture_0.jpeg)

![](_page_33_Picture_1.jpeg)

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

![](_page_33_Picture_4.jpeg)

![](_page_34_Picture_0.jpeg)

![](_page_34_Picture_1.jpeg)

В окне модуля StarkMetallic можно выполнить проверочный расчет:

M₂ St	arkMetalli	c - rama.metx				×	<
11	j 🛃 🗟 🕻	🗹   "t' "t' 😭 <mark>  🔒</mark>   📀 👘				Описание: Задача 2 курсового проекта	
	Элемент	Сечение и сталь	Угол	Длина, м	Ku	Комментарий	
	K1	I 13C1 FOCT P 57837-2017, C235	0°		0.367		
	B1	I 13C1 FOCT P 57837-2017, C235	0°	2	1.890		
•	B2	I 13C1 FOCT P 57837-2017, C235	0°		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.

![](_page_35_Picture_0.jpeg)

![](_page_35_Picture_1.jpeg)

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

🔏 St	tarkMetalli	c - rama.metx			- 🗆 ×
1	j 🛃 🗟 🕻	🗹   "t' "t' 😭   🗐 <mark>📴 🍳</mark> 👘			Описание: Задача 2 курсового проекта
	Элемент	Сечение и сталь	Угол Длина, м	Ku	Комментарий
	K1	I 13C1 FOCT P 57837-2017, C235	0° 1	0.367	
•	B1	I 20C1 FOCT P 57837-2017, C235	0° 2	0.560	
	B2	I 13C1 FOCT P 57837-2017, C235	0° 1	0 307	
rama		Конструктивный элем В1 Сечение Расчетные дли Тип сечения Профиль Параме <u>x-</u> <u>t</u> <u>x-</u> <u>t</u> <u>z</u> <u>x-</u> <u>t</u> <u>z</u> <u>x-</u> <u>t</u> <u>z</u> <u>x-</u> <u>t</u> <u>z</u>		Дополн ное	Кельные параметры Результаты расчета Параметры сечения Тип профиля Двутавр Подтип профиля колонный Имя файла DVTC_P57837-2017.PRO Профиль CCT P 57837-2017 20C1 Сталь C235 С Контроль свойств проката Согласование осей Угоп поворота оси 1 относительно Y 0° 90° 180° 270° 0° 10° 10° 270° С
					ОК Отмена

![](_page_36_Picture_0.jpeg)

![](_page_36_Picture_1.jpeg)

## Список литературы

- 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.