МФС | Генеральный Подрядчик

Общество с ограниченной ответственностью
«Генеральный подрядчик - МФС»
ул. Рябиновая, д. 22А, стр. 2, Москва, 121471

ОКПО 75321383 ОГРН 1047796934195
ИНН 7704539433 КПП 772901001

Тел.: +7 495 505-97-33, доб. 4101
E-mail: sekretariat-mfs@pik.ru

Застройщик – Московский фонд реновации жилой застройки
(№17-0121-ОК-1 от 13.04.2021 г.)

Строительство объектов в соответствии с проектом планировки территории по адресу: Сиреневый бульвар, вл. 4 района Измайлово города Москвы

Жилой дом с приспособлением подземной автостоянки под защитное сооружение гражданской обороны - "укрытие" (ЗСГО) с инженерными сетями и благоустройством территории по адресу: г. Москва, внутригородское муниципальное образование Измайлово, бульвар Сиреневый, земельный участок 4/4 (Сиреневый б-р, вл. 4, з/у 4) (Восточный административный округ)

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Раздел 4. Конструктивные решения

Часть 4. Расчетное обоснование. Книга 5

17-0121-ОК-1-П-КР4.5

Том 4.4.5

2025

МФС | Генеральный Подрядчик

Общество с ограниченной
ответственностью
«Генеральный подрядчик - МФС»
ул. Рябиновая, д. 22А, стр. 2, Москва, 121471

ОКПО 75321383 ОГРН 1047796934195
ИНН 7704539433 КПП 772901001

Тел.: +7 495 505-97-33, доб. 4101
E-mail: sekretariat-mfs@pik.ru

Застройщик – Московский фонд реновации жилой застройки
(№17-0121-ОК-1 от 13.04.2021 г.)

Строительство объектов в соответствии с проектом планировки территории по адресу: Сиреневый бульвар, вл. 4 района Измайлово города Москвы

Жилой дом с приспособлением подземной автостоянки под защитное сооружение гражданской обороны - "укрытие" (ЗСГО) с инженерными сетями и благоустройством территории по адресу: г. Москва, внутригородское муниципальное образование Измайлово, бульвар Сиреневый, земельный участок 4/4 (Сиреневый б-р, вл. 4, з/у 4) (Восточный административный округ)

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Раздел 4. Конструктивные решения

Часть 4. Расчетное обоснование. Книга 5

17-0121-ОК-1-П-КР4.5

Том 4.4.5

Уполномоченное лицо
по доверенности № 2-649 от 12.12.2024 г.
Главный инженер проекта
ООО "Генеральный подрядчик - МФС"

Н.А. Вайсертригер

Главный инженер проекта

Н.А. Вайсертригер

2025

Взам. инв. №

Подпись и дата

Инв. № подл.

ООО «Проектное бюро АПЕКС»
115114, Россия, Москва, Дербеневская наб., д.7, стр.9
T/F: +7495 135 8005, www.apex-project.ru

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Жилой дом с приспособлением подземной автостоянки под защитное сооружение гражданской обороны - «укрытие» (ЗСГО) с инженерными сетями и благоустройством территории

по адресу: г. Москва, внутригородское муниципальное образование Измайлово, бульвар Сиреневый, земельный участок 4/4 (Сиреневый б-р, вл.4, з/у 4) (Восточный административный округ)



Раздел 4. Конструктивные решения.
Часть 4. Расчетное обоснование. Книга 5

17-0121-ОК-1-П-КР4.5
Том 4.4.5

СРО Ассоциация "Проектировщики Оборонного и Энергетического Комплексов", регистрационный номер П-060-007725825428-0838, дата внесения в реестр 19 июля 2022 г.

ООО «Проектное бюро АПЕКС»
115114, Россия, Москва, Дербеневская наб., д.7, стр.9
T/F: +7495 135 8005, www.apex-project.ru

ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Жилой дом с приспособлением подземной автостоянки под защитное сооружение гражданской обороны - «укрытие» (ЗСГО) с инженерными сетями и благоустройством территории
по адресу: г. Москва, внутригородское муниципальное образование Измайлово, бульвар Сиреневый, земельный участок 4/4 (Сиреневый б-р, вл.4, з/у 4) (Восточный административный округ)

Часть 4. Расчетное обоснование. Книга 5

17-0121-ОК-1-П-КР
4.5 Том 4.4.5

Заместитель генерального директора по системным проектам — Зорин М.М.

Главный инженер проекта — Першин Н.Н.

2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. РАСЧЕТ КОРПУСА К2 СЕК.5 2

1.1. ПОСАДКА НА ГЕОЛОГИЮ 3

1.2. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОСТЕЛИ, ОСАДКИ, ГЛУБИНЫ СЖИМАЕМОЙ ТОЛЩИ, РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА 5

1.3. НАГРУЗКИ НА МОДЕЛЬ, КОЭФФИЦИЕНТЫ РСУ И РСН 12

1.4. ЖЕСТКОСТИ, ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, УСКОРЕНИЯ 28

2. РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ ОТМ. -7.200 (ФУНДАМЕНТНАЯ ПЛИТА) 41

2.1. РАСЧЕТ ПЛИТ НА ОТМ. -0.100 (ПЛИТА НАД ПОДВАЛОМ) 52

2.2. РАСЧЕТ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ НА ОТМ. +4.250, +7.250, +10.250, +13.250, +16.250, +19.250, +22.250, +25.250, +26.900, +28.250, +31.250, +34.250, +37.250, +40.250, +43.250, +46.250, +49.250, +52.250, +55.250, +58.250, +61.250, +64.250, +67.250, +70.250, +73.250 (ТИПОВОЙ ЭТАЖ) 63

2.3. РАСЧЕТ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ НА ОТМ. +75.250 74

3. РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ОТМ. -7.200 85

3.1. РАСЧЕТ СТЕН С ОТМ. -0.100 109

3.2. РАСЧЕТ СТЕН С ОТМ. +4.250 128

4. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ФУНДАМЕНТНОЙ ПЛИТЫ ОТМ. -7.200 142

4.1. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПЛИТЫ НА ОТМ. -0.100 145

4.2. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ТИПОВОЙ ПЛИТЫ С ОТМ. +4.250...+73.250 148

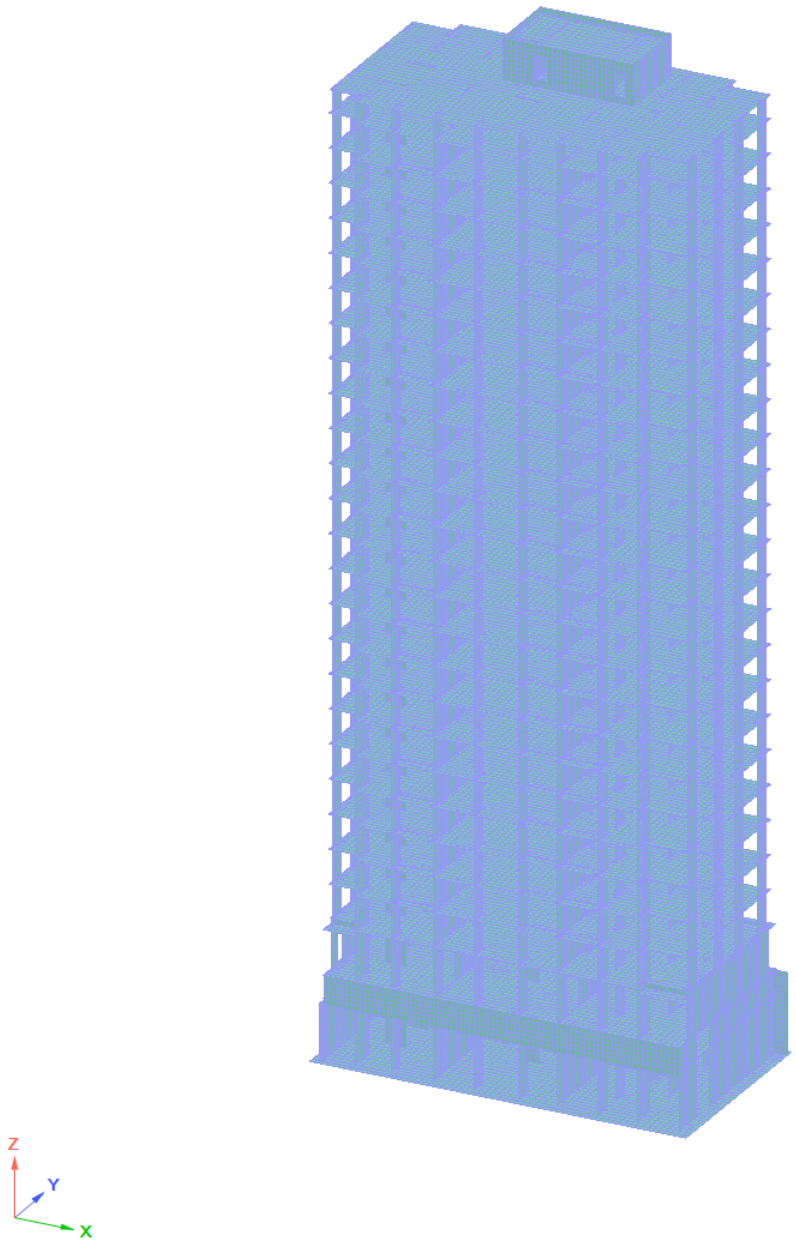
4.3. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ ОТМ. +75.250 152

5. РАСЧЕТ ЗАКЛАДНОЙ ДЕТАЛИ 155

6. ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТОВ 159

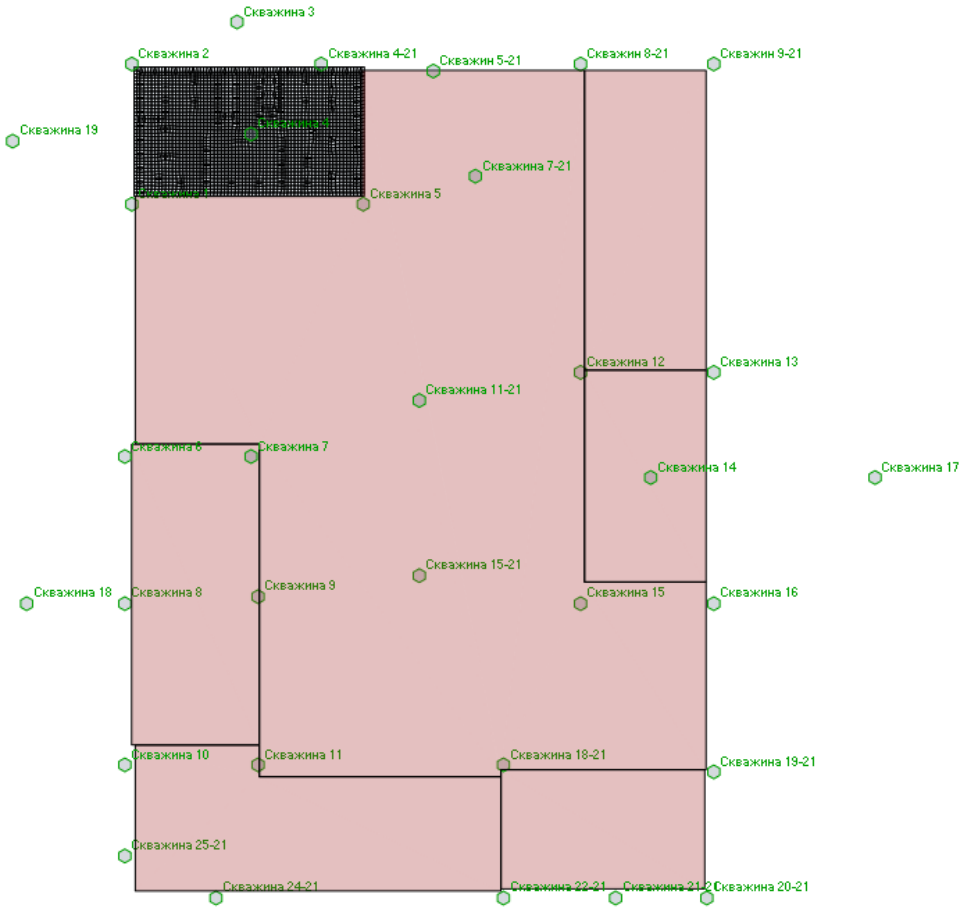
1. РАСЧЕТ КОРПУСА К2 сек.5

1. Сочетание `1001`
(1*L1)+(1*L2)+(1*L3)+(1*L4)+(1*L5)+(1*L10)+(1*L16)+(1*L17)+(1*L18)+(1*L19)+(1*L20)

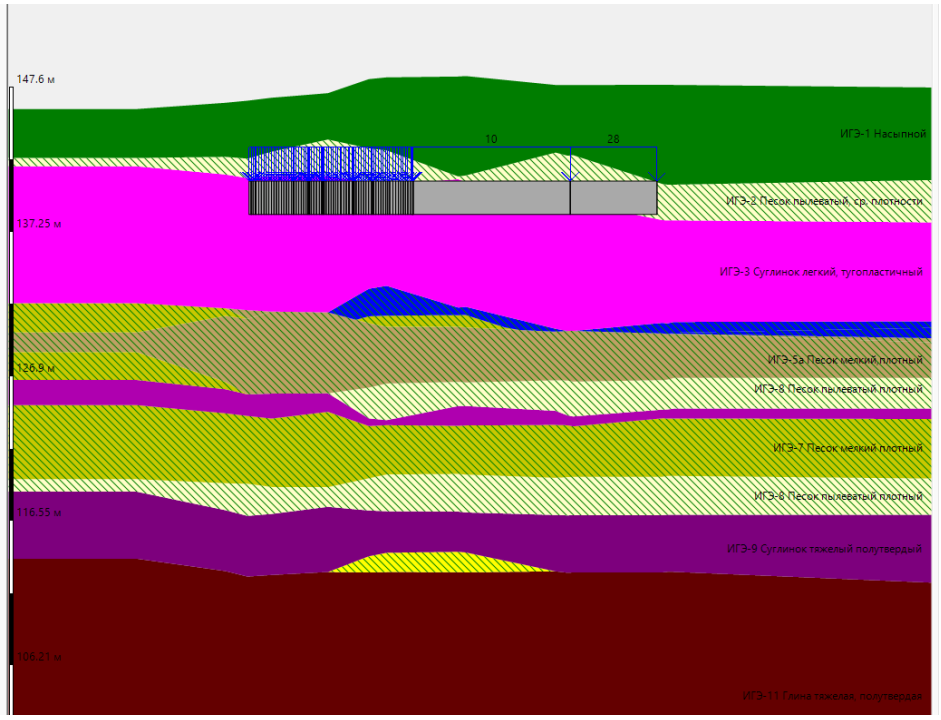


Общий вид здания

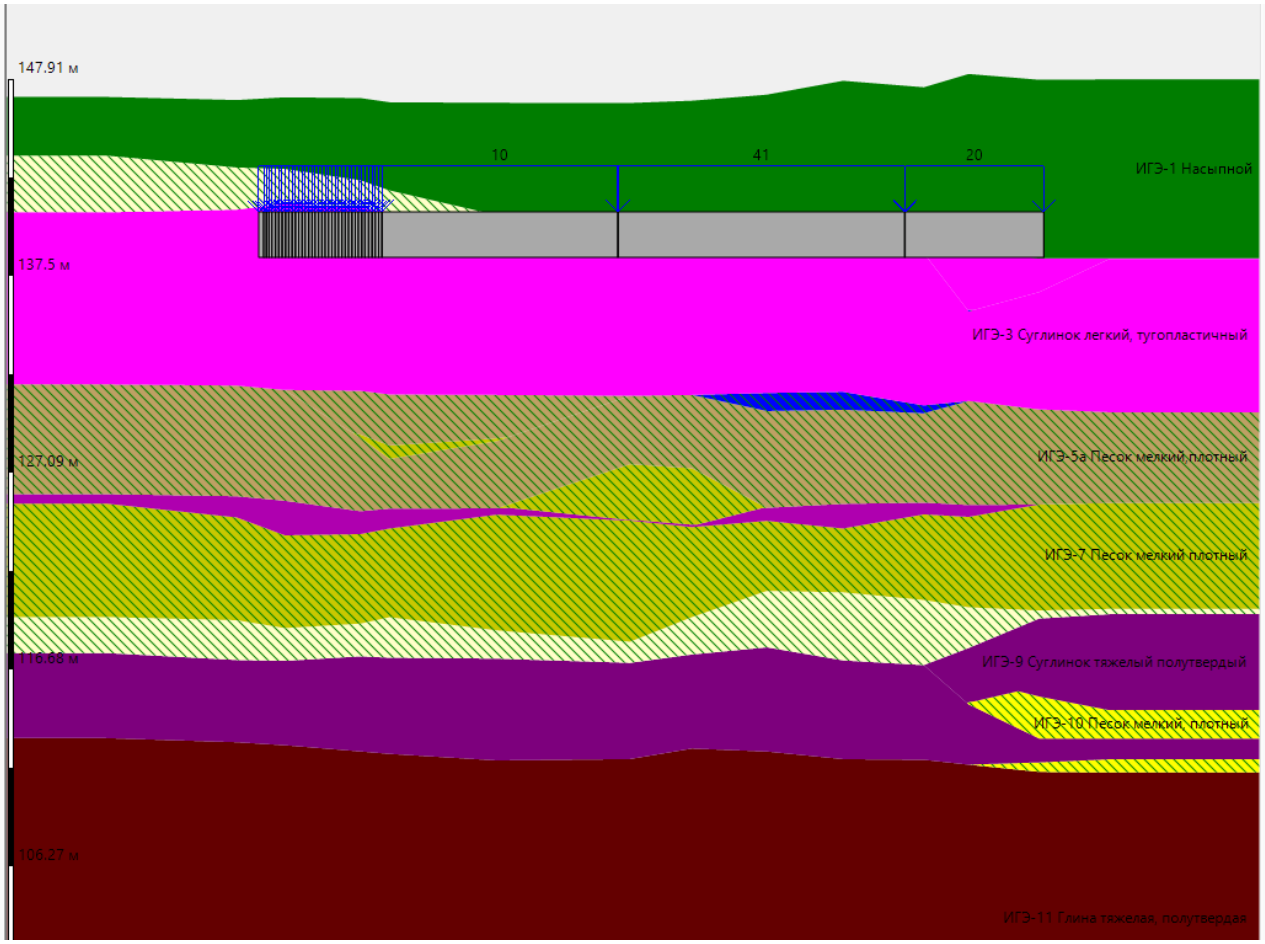
1.1. ПОСАДКА НА ГЕОЛОГИЮ



План скважин



Разрез по скв. 2/4-21



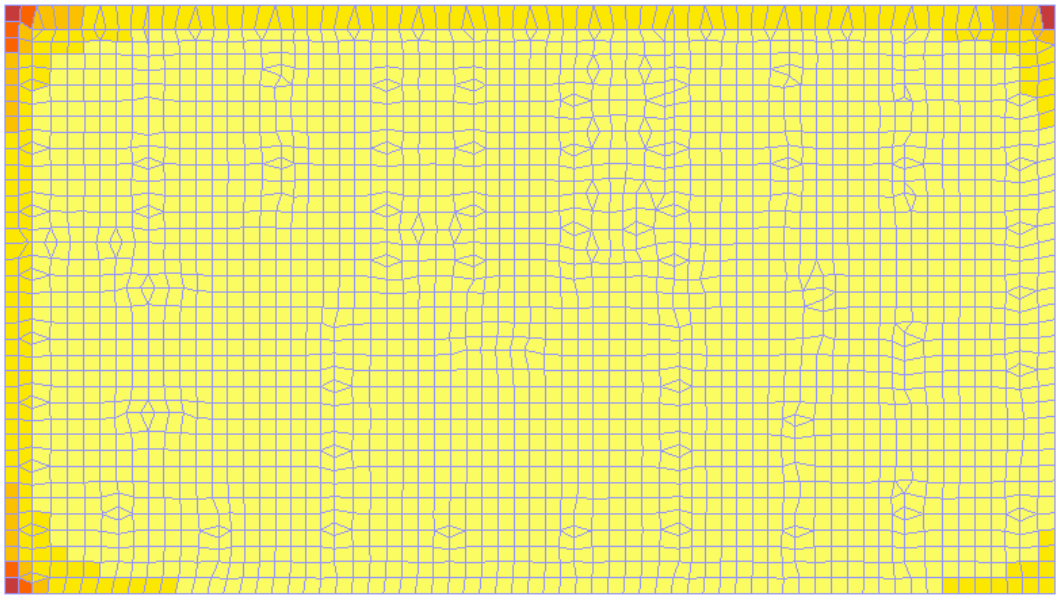
Разрез по скв. 2/1

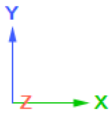
№	Усл. обозн	Наименование грунта	Насыпной грунт	Цвет	Модуль деформации, тс/м^2	Коэффициент Пуассона	Удельный вес грунта, тс/м^3		Коэффициент перехода ко 2 модулю деформации	Природная влажность, д.е.	Показатель текучести	Вода	Коэффициент пористости	Удельное сцепление, тс/м^2		Угол внутреннего трения, °		
							γ I	γ II						c I	c II	φ I	φ II	
1		ИГЭ-1 Насыпной	☐		900	0.37	1.64	1.73	2	0.23	0.000	☑	0.660	0.1	0.1	19	21	10. Песок средней плотности мелкий, 0.6≤e≤0.75
2		ИГЭ-2 Песок пылеватый, ср. плотности	☐		2243	0.34	1.65	1.7	3	0.23	0.000	☑	0.680	0.2	0.3	26	28	11. Песок средней плотности пылеватый, 0.6≤e≤0.8
3		ИГЭ-2а Песок пылеватый плотный	☐		2854	0.32	1.69	1.76	4	0.20	0.000	☑	0.560	0.5	0.6	27	29	6. Песок плотный пылеватый, e<0.6
4		ИГЭ-3 Суглинок легкий, тугопластичный	☐		2141	0.35	2.18	2.18	3	0.14	0.450	☐	0.420	2	2.1	22	24	16. Суглинок тугопластичный, 0.25<IL≤0.5
5		ИГЭ-4 Супесь пластичная	☐		2345	0.35	2.12	2.13	2	0.16	0.270	☑	0.470	1.7	1.8	23	24	13. Супесь пластичная, 0≤IL≤1
6		ИГЭ-5 Песок мелкий, средней плотности	☐		2650	0.33	1.81	1.87	3	0.22	0.000	☑	0.650	0.1	0.1	28	29	10. Песок средней плотности мелкий, 0.6≤e≤0.75
7		ИГЭ-5а Песок мелкий,плотный	☐		4179	0.30	1.98	2.01	4	0.18	0.000	☑	0.520	0.2	0.3	29	31	5. Песок плотный мелкий, e<0.6
8		ИГЭ-6 Суглинок тяжелый тугопластичный	☐		1733	0.36	1.94	1.95	3	0.24	0.270	☐	0.740	2.4	2.6	17	19	16. Суглинок тугопластичный, 0.25<IL≤0.5
9		ИГЭ-7 Песок мелкий плотный	☐		3976	0.31	1.91	1.98	4	0.18	0.000	☑	0.520	0.3	0.3	30	32	5. Песок плотный мелкий, e<0.6
10		ИГЭ-8 Песок пылеватый плотный	☐		3670	0.32	1.96	2.04	4	0.16	0.000	☑	0.470	0.4	0.5	30	33	6. Песок плотный пылеватый, e<0.6
11		ИГЭ-9 Суглинок тяжелый полутвердый	☐		3058	0.35	1.99	2	4	0.22	0.140	☐	0.650	3	3.1	20	21	15. Суглинок полутвердый, 0≤IL≤0.25
12		ИГЭ-10 Песок мелкий, плотный	☐		4077	0.30	1.92	1.99	3	0.17	0.000	☑	0.500	0.4	0.4	30	33	5. Песок плотный мелкий, e<0.6
13		ИГЭ-11 Глина тяжелая, полутвердая	☐		2141	0.26	1.77	1.77	4	0.38	0.050	☐	1.120	6.1	6.3	16	17	20. Глина полутвердая, 0≤IL≤0.25

Характеристики грунтов

1.2. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОСТЕЛИ, ОСАДКИ, ГЛУБИНЫ СЖИМАЕМОЙ ТОЛЩИ, РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА

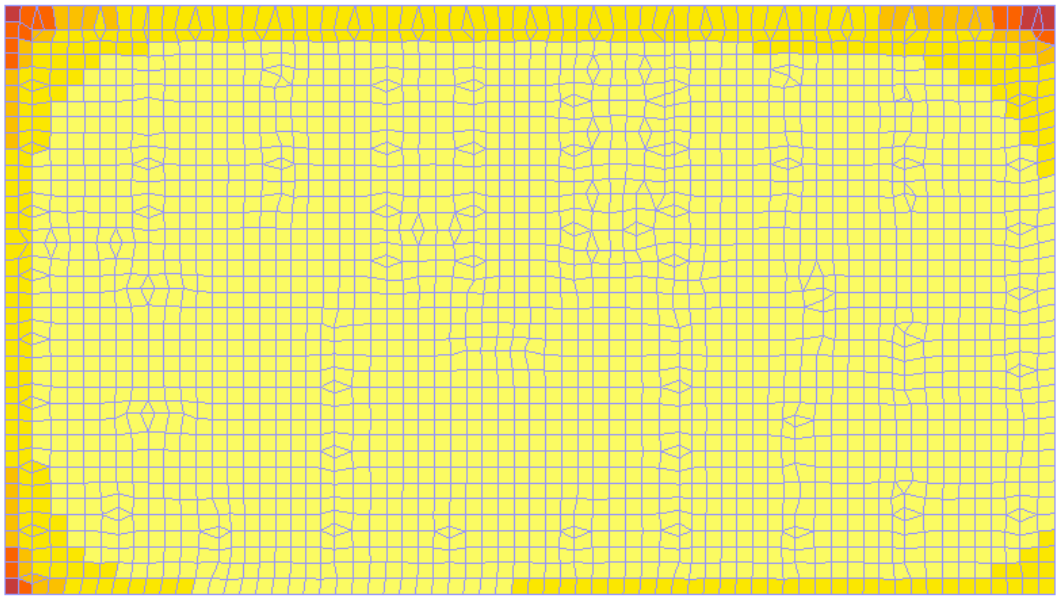


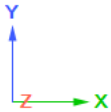




Коэффициенты постели C1 (тс/м3)

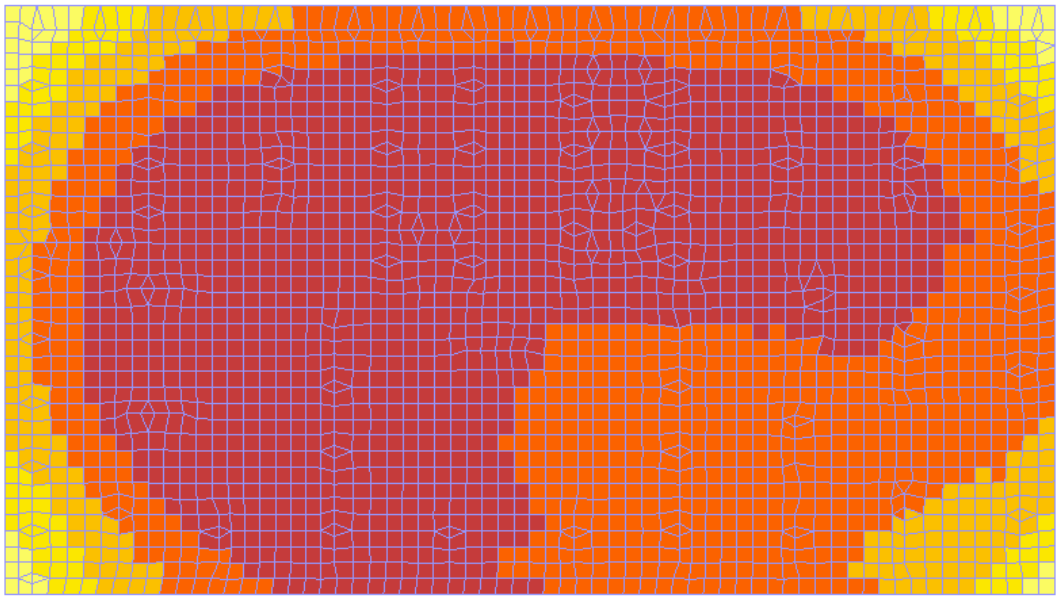


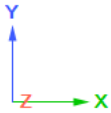




Нагрузка Pz (тс/м2)

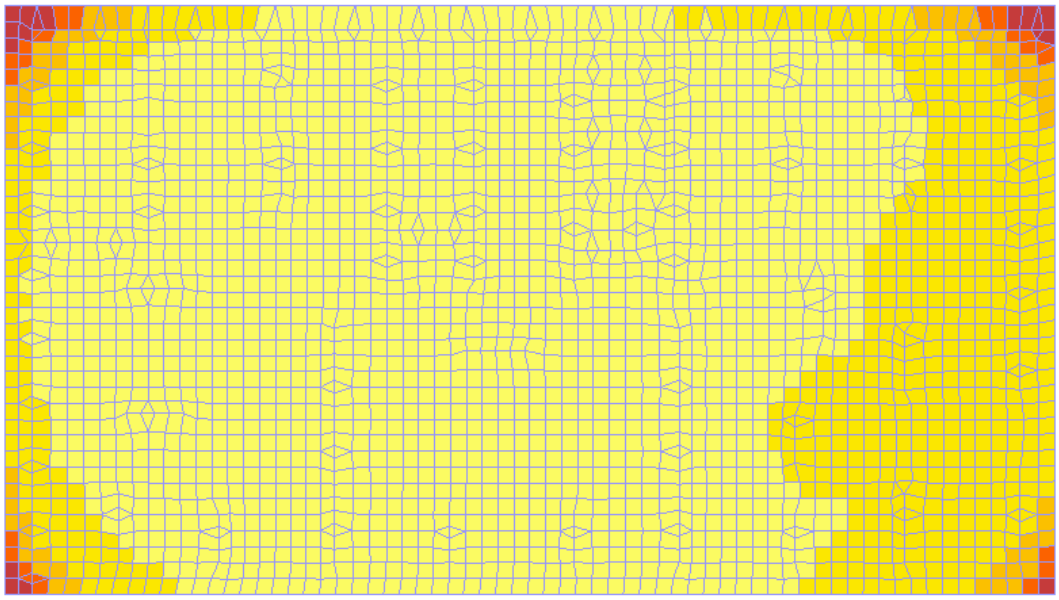


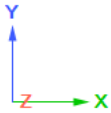




Усредненный модуль деформации (тс/м2)

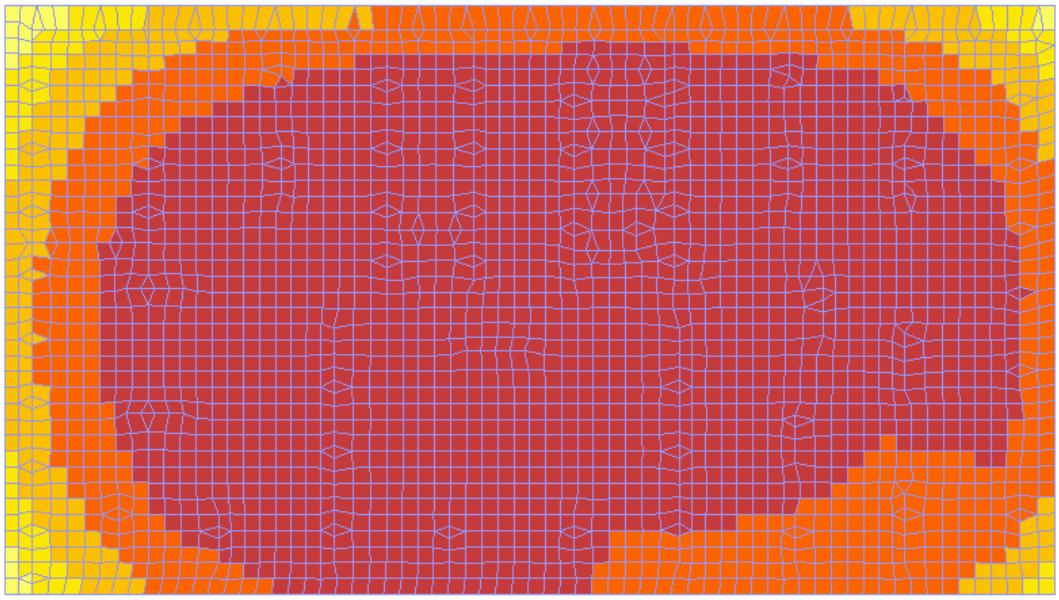


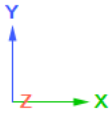




Усредненный коэффициент Пуассона

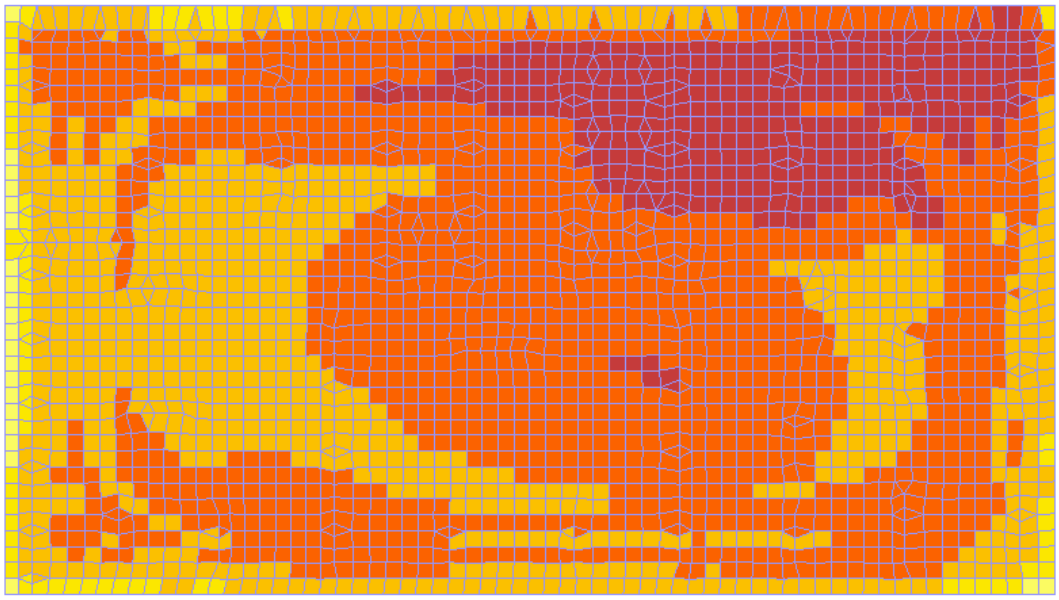


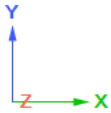




Глубина сжимаемой толщи (м)

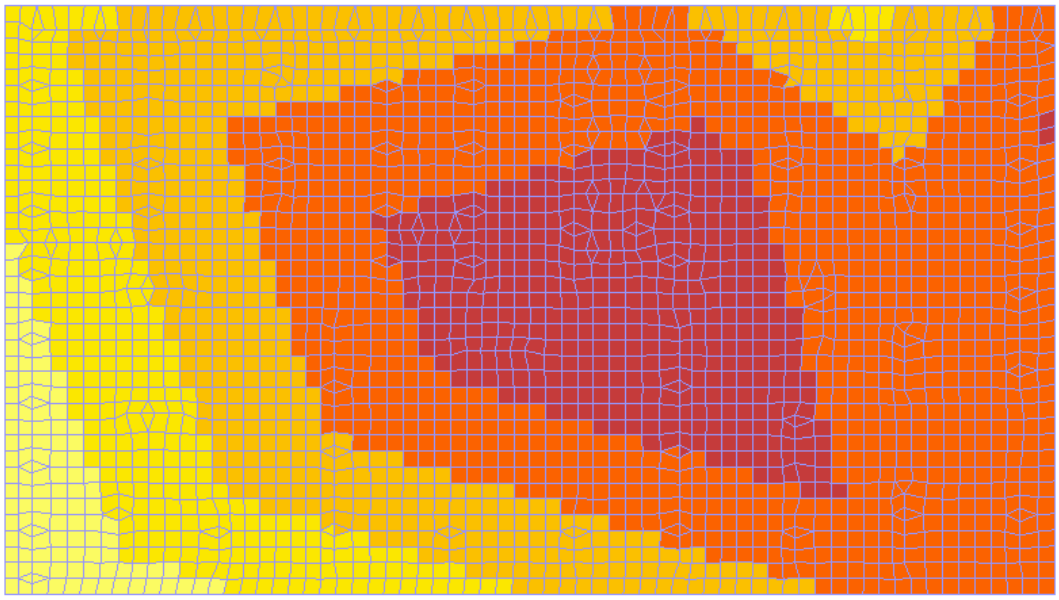

Осадка (мм)
60.681
66.536
72.392
78.248
84.104
89.96
min=60.68 (1397); max=89.96 (2127)

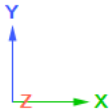



Y
Z
X

Осадка (мм)

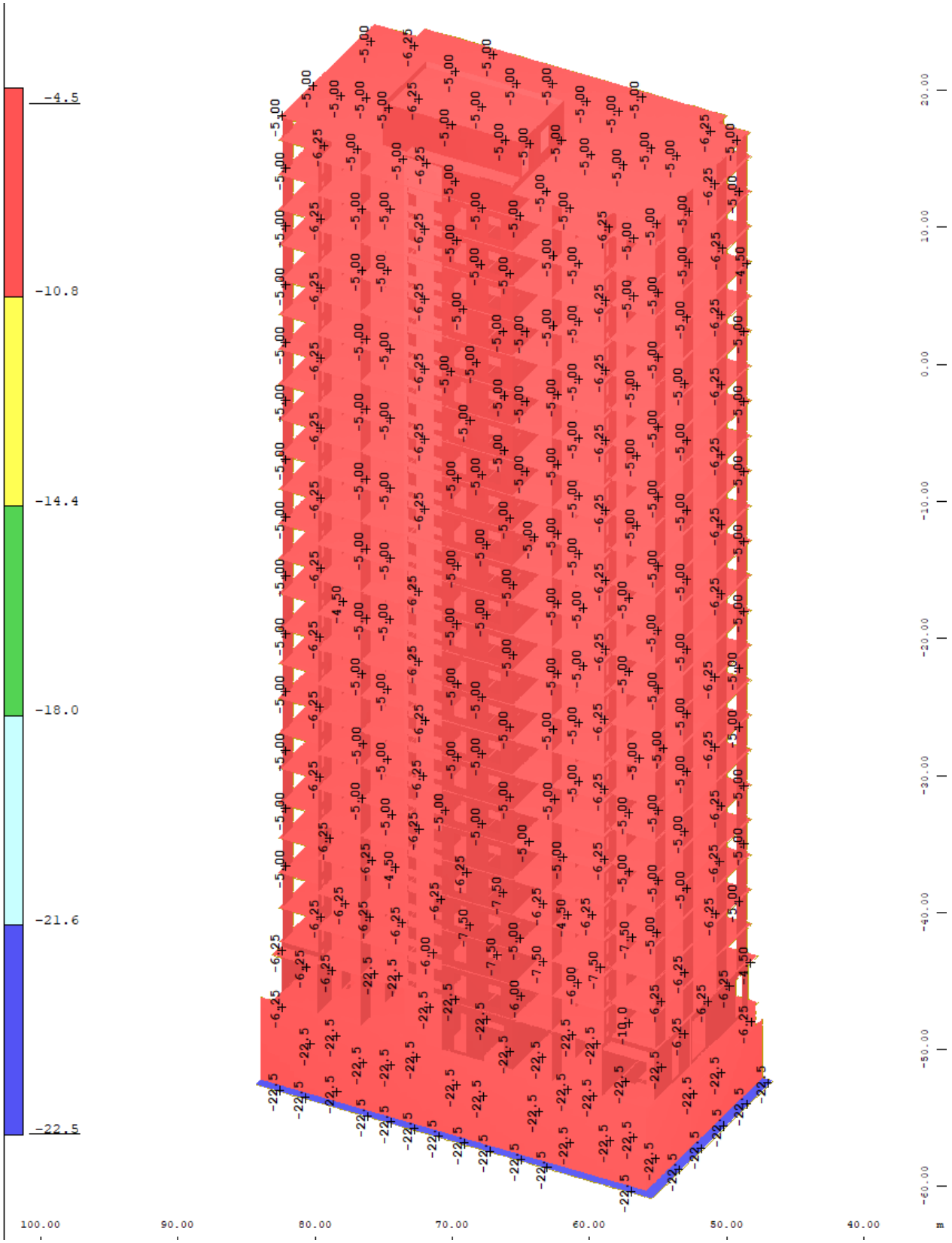




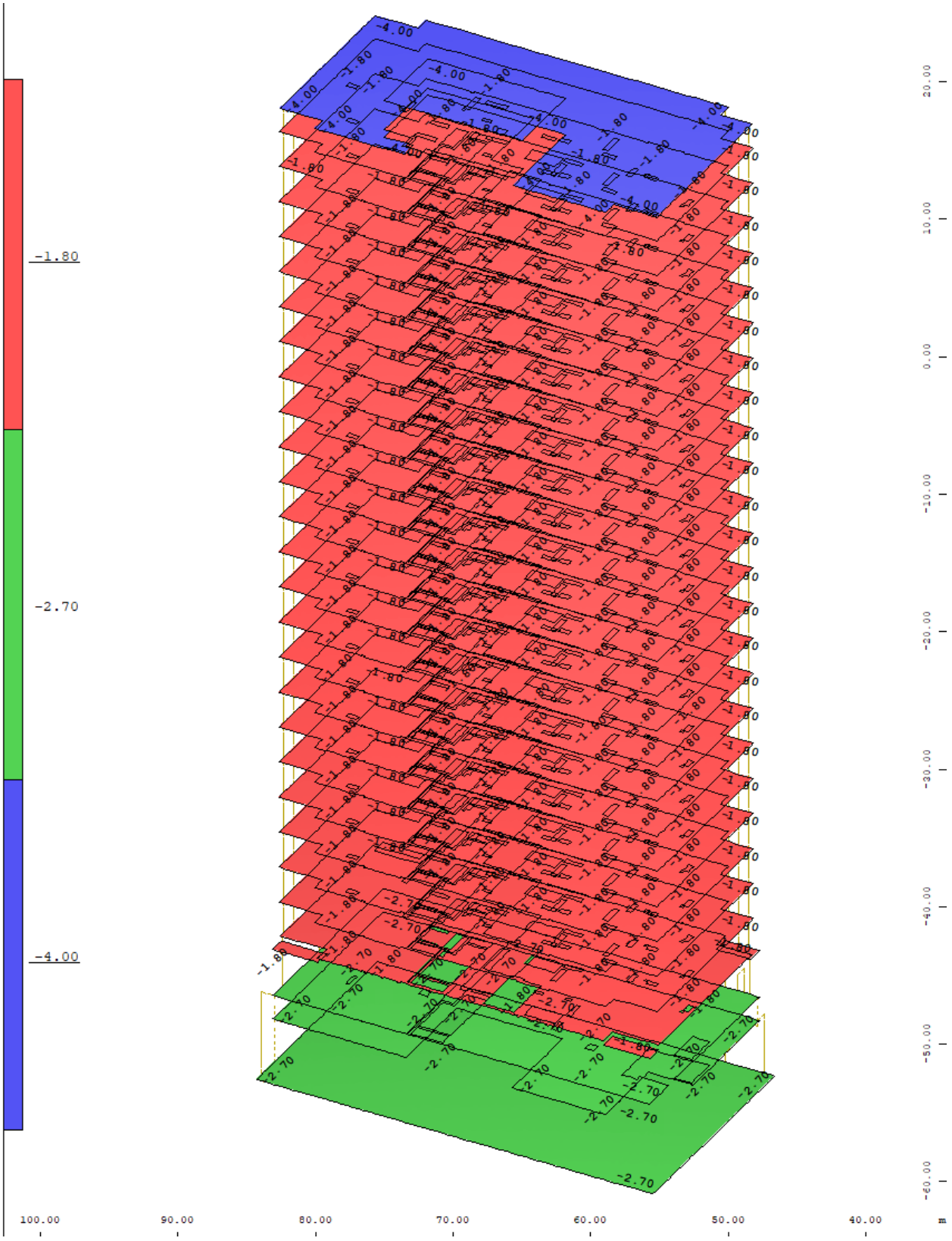


Расчетное сопротивление грунта R (тс/м2)

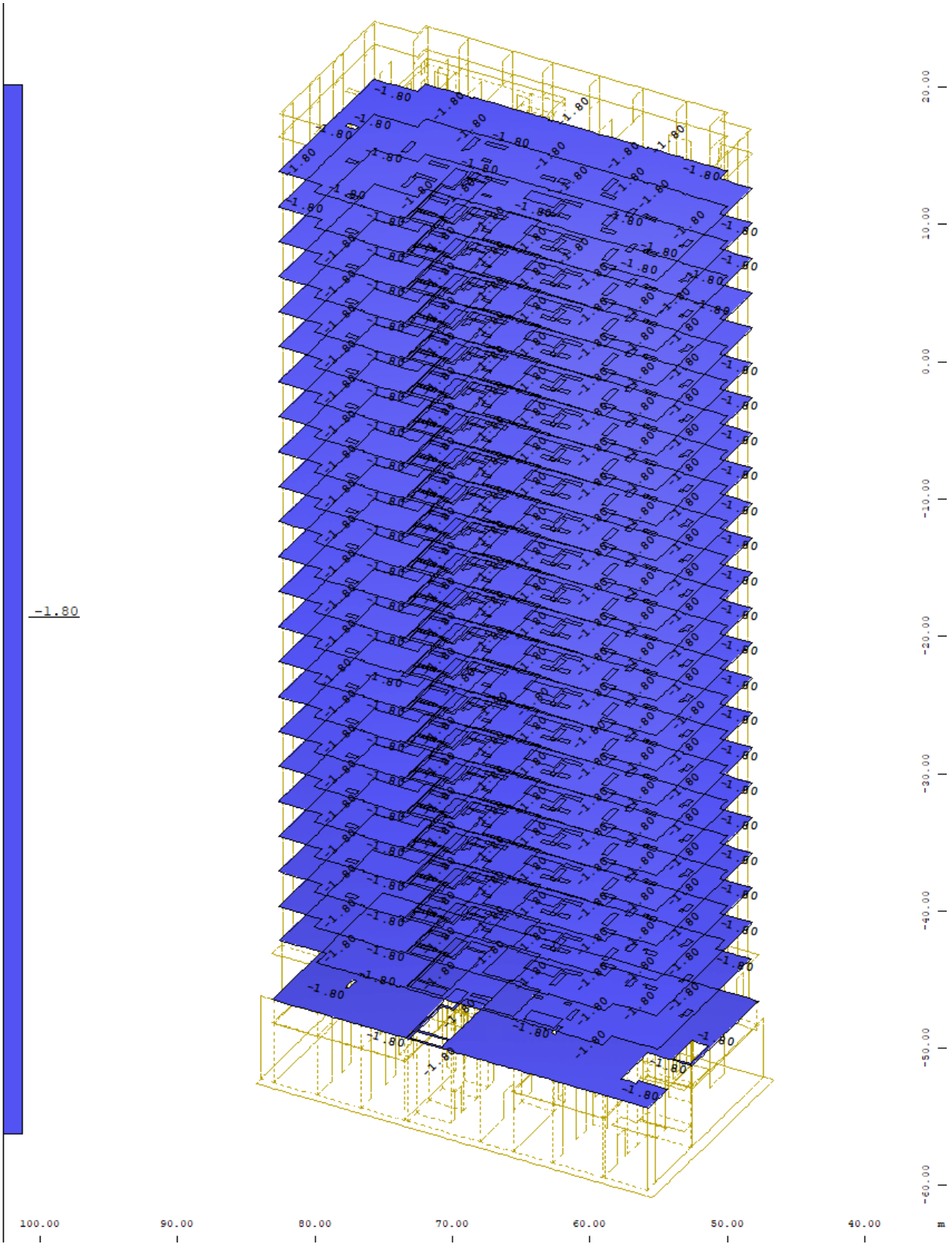
1.3. НАГРУЗКИ НА МОДЕЛЬ, КОЭФФИЦИЕНТЫ РСУ И РСН



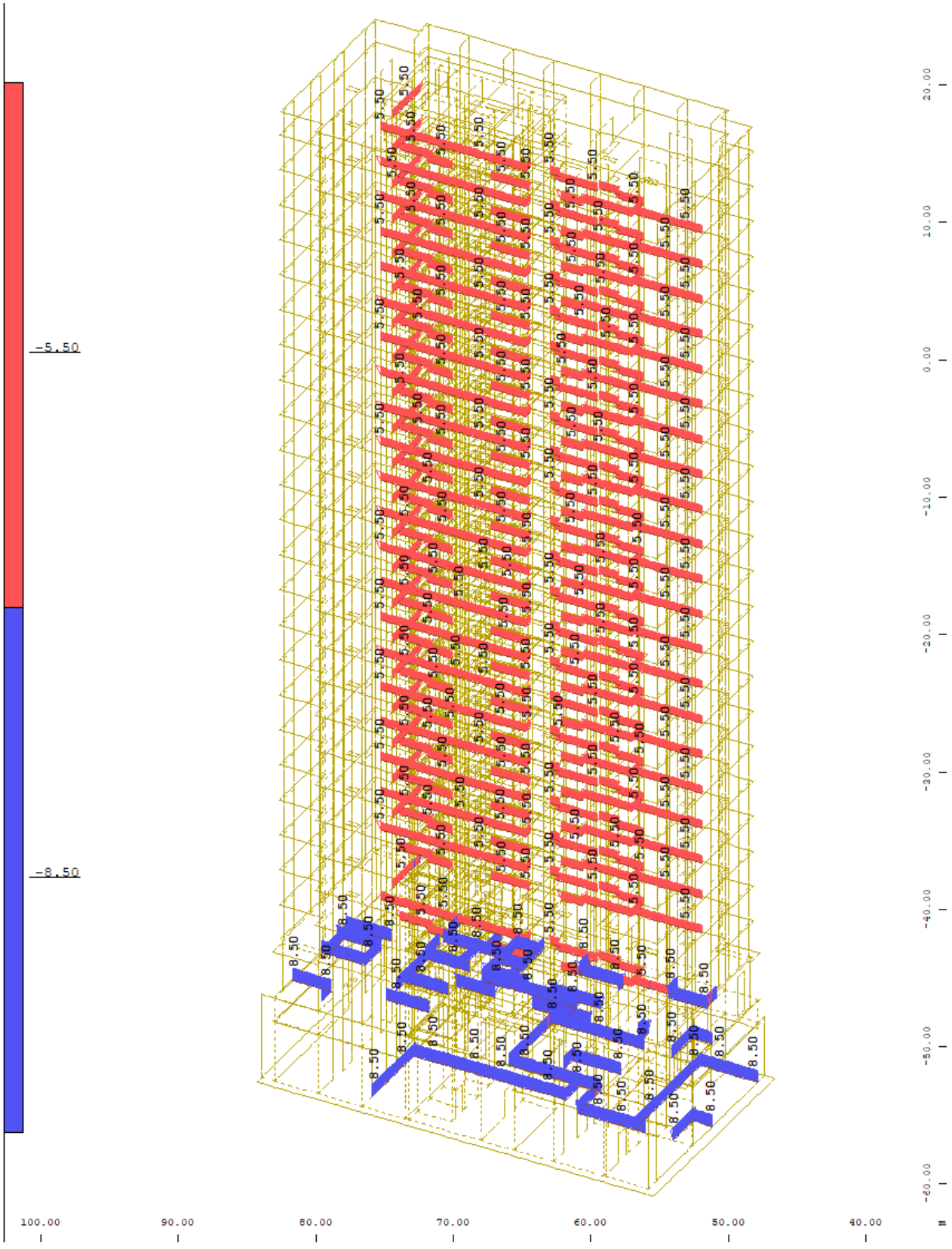
Нормативная нагрузка от собственного веса, кН/м2



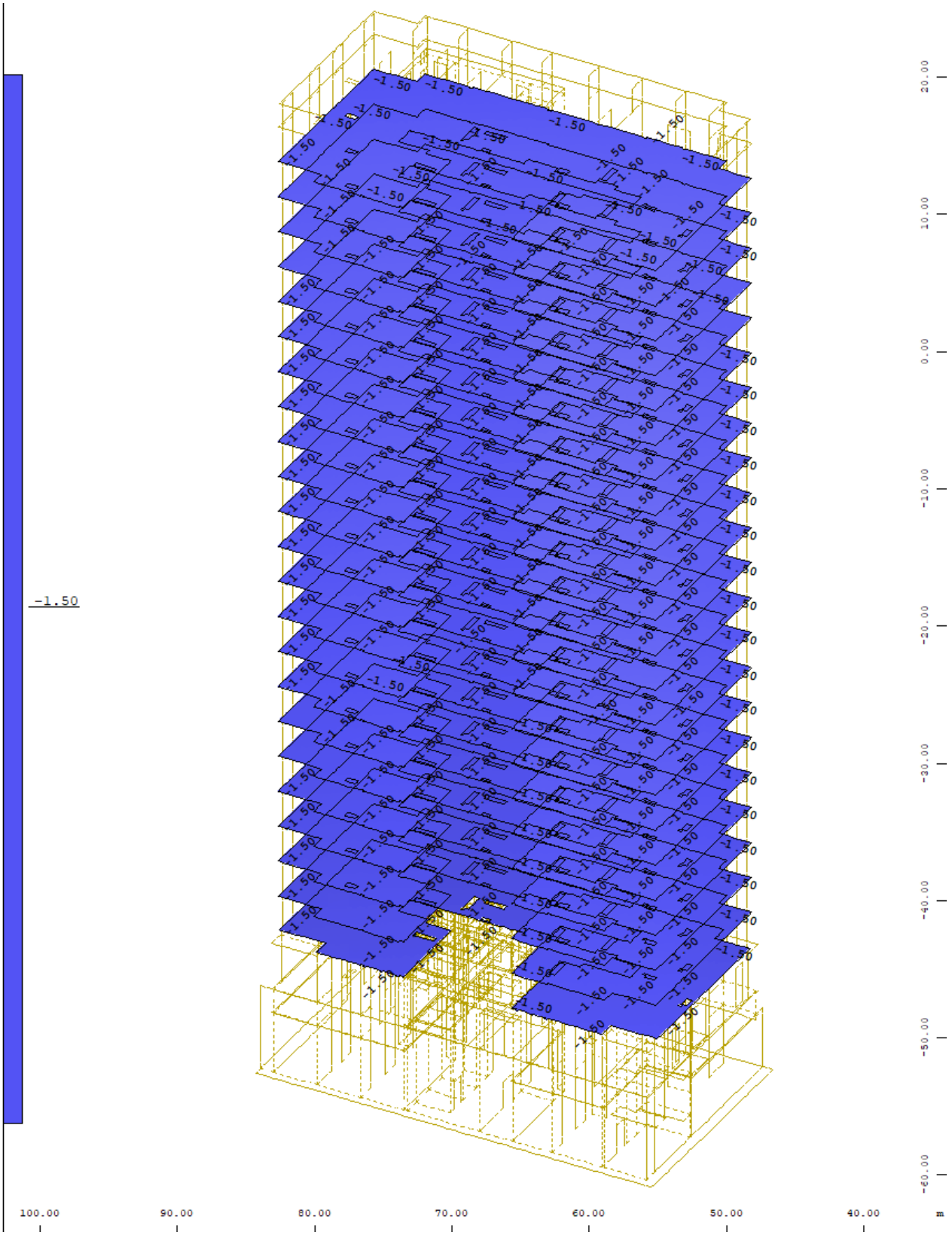
Нормативная нагрузка от полов, кровли, кН/м2



Нормативная нагрузка от перегородок, кН/м2

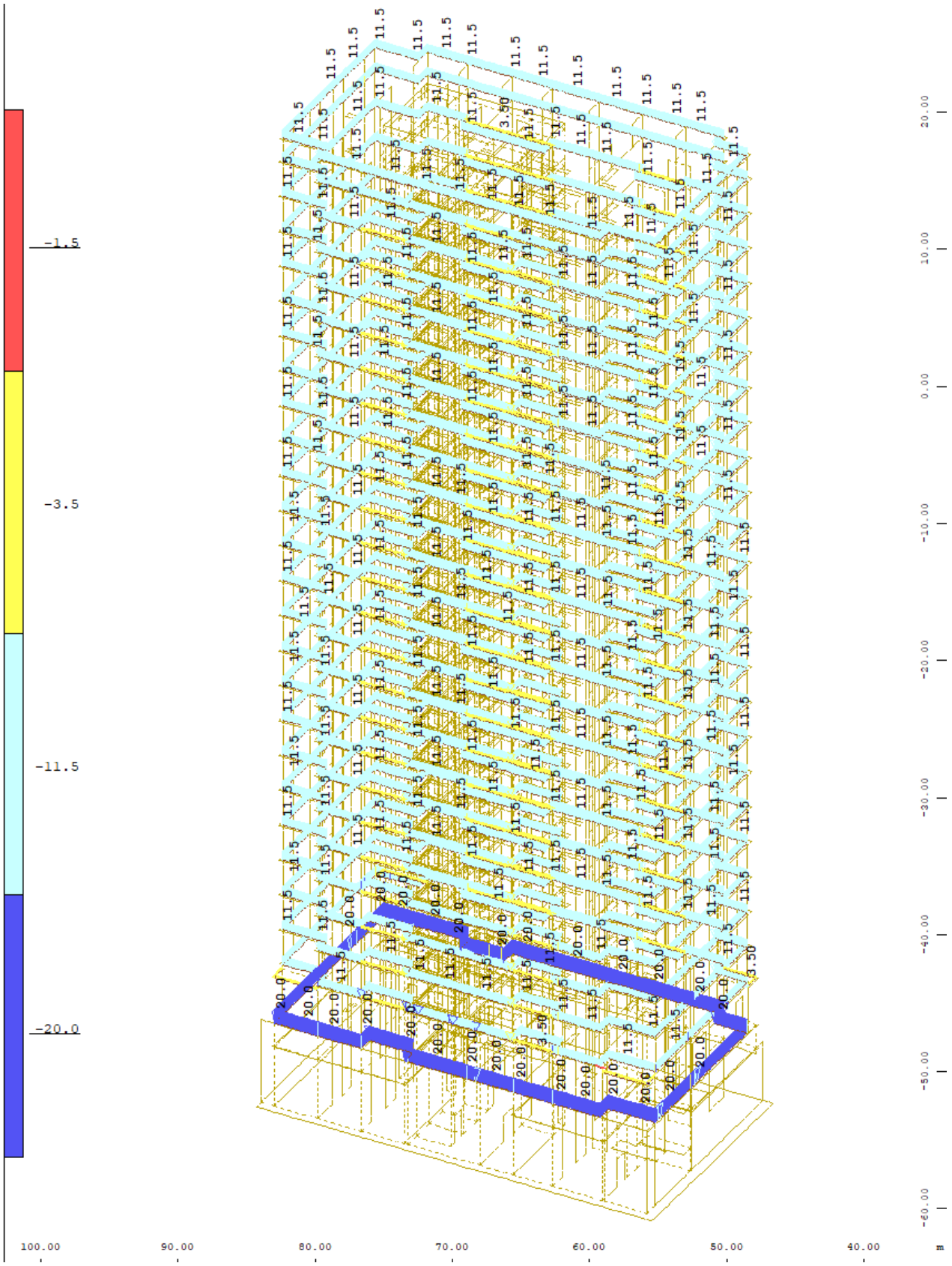


Нормативная нагрузка перегородок линейная, кН/м

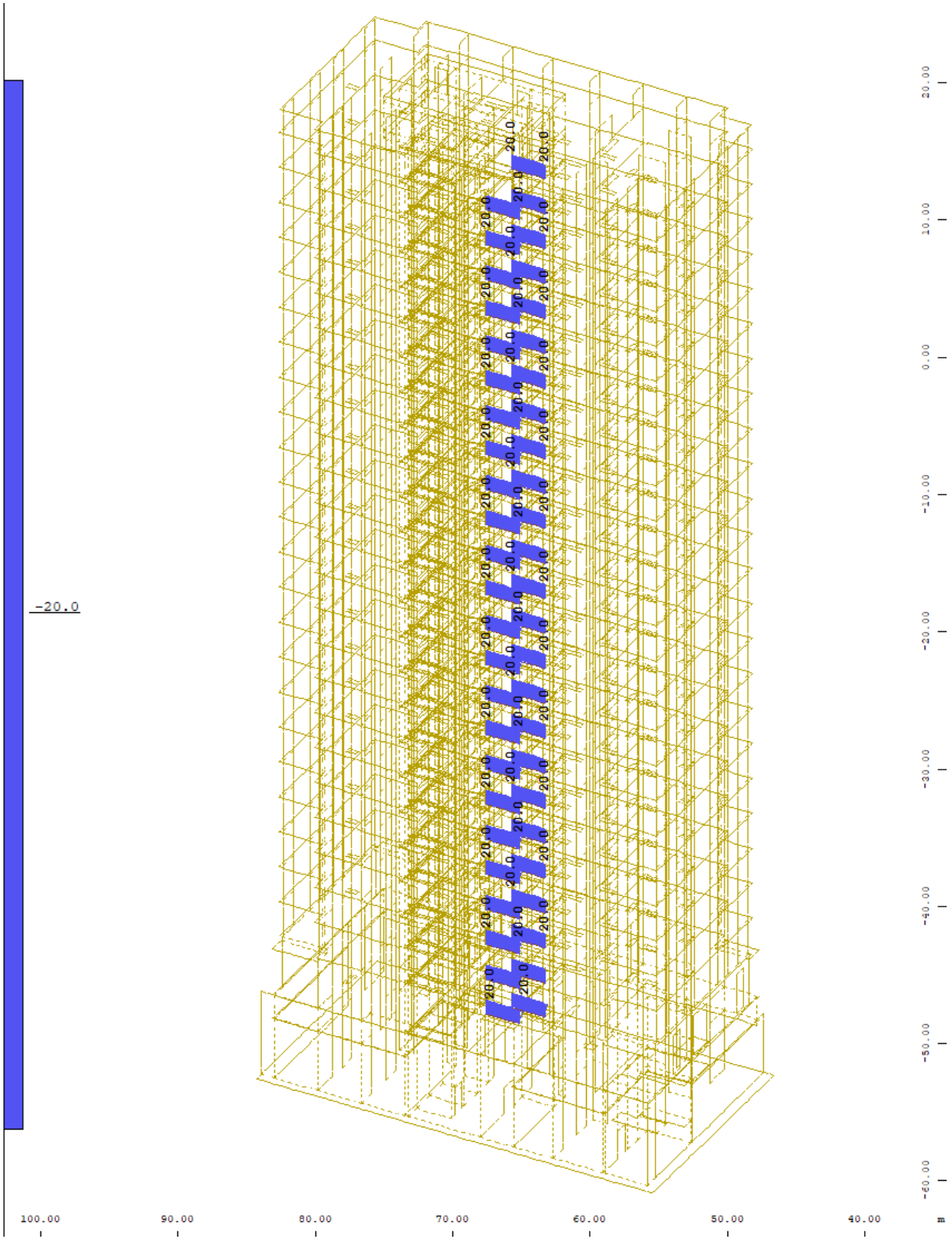


Нормативная нагрузка от квартир, кН/м2

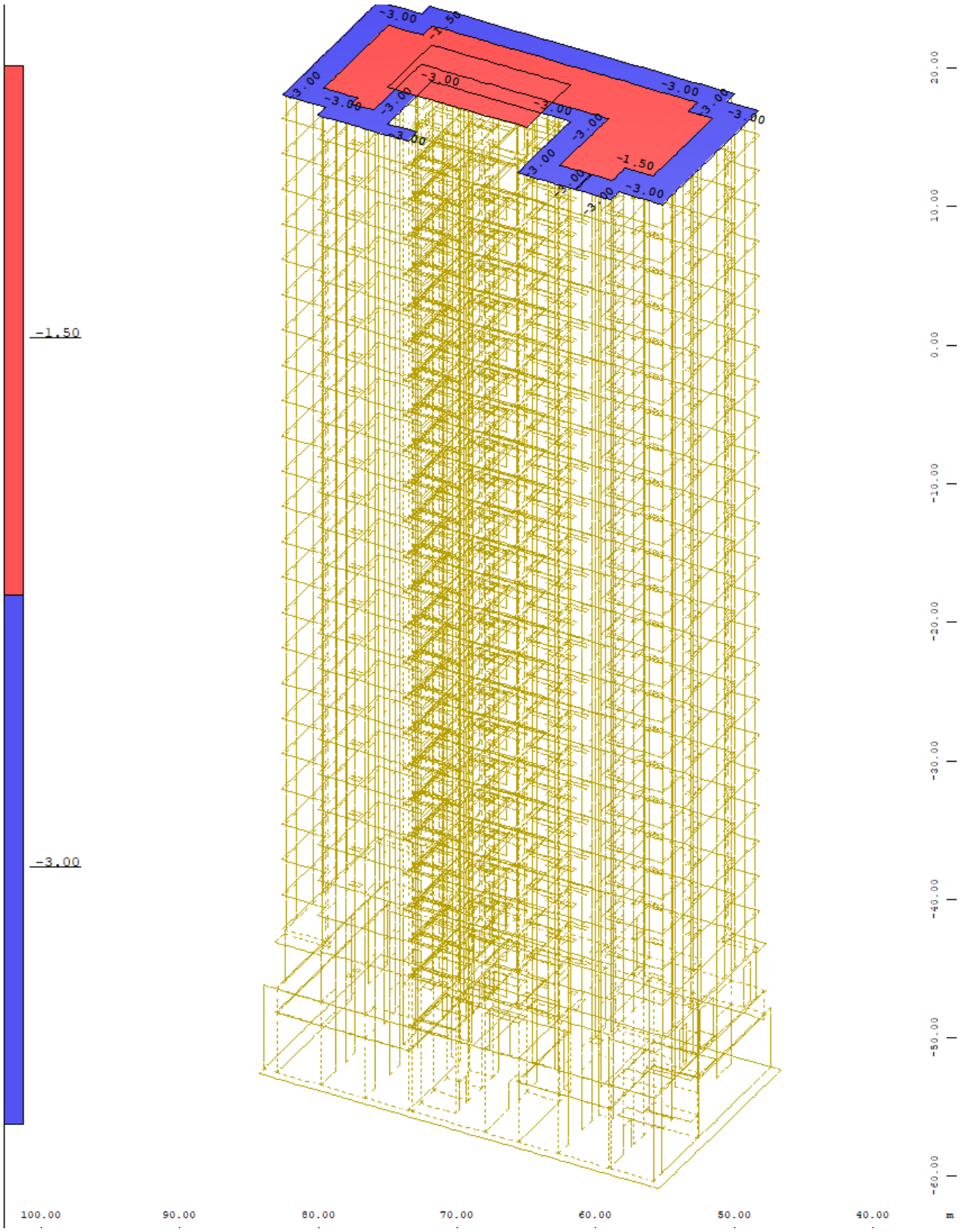
						17-0121-ОК-1-П-КР4.5	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		16



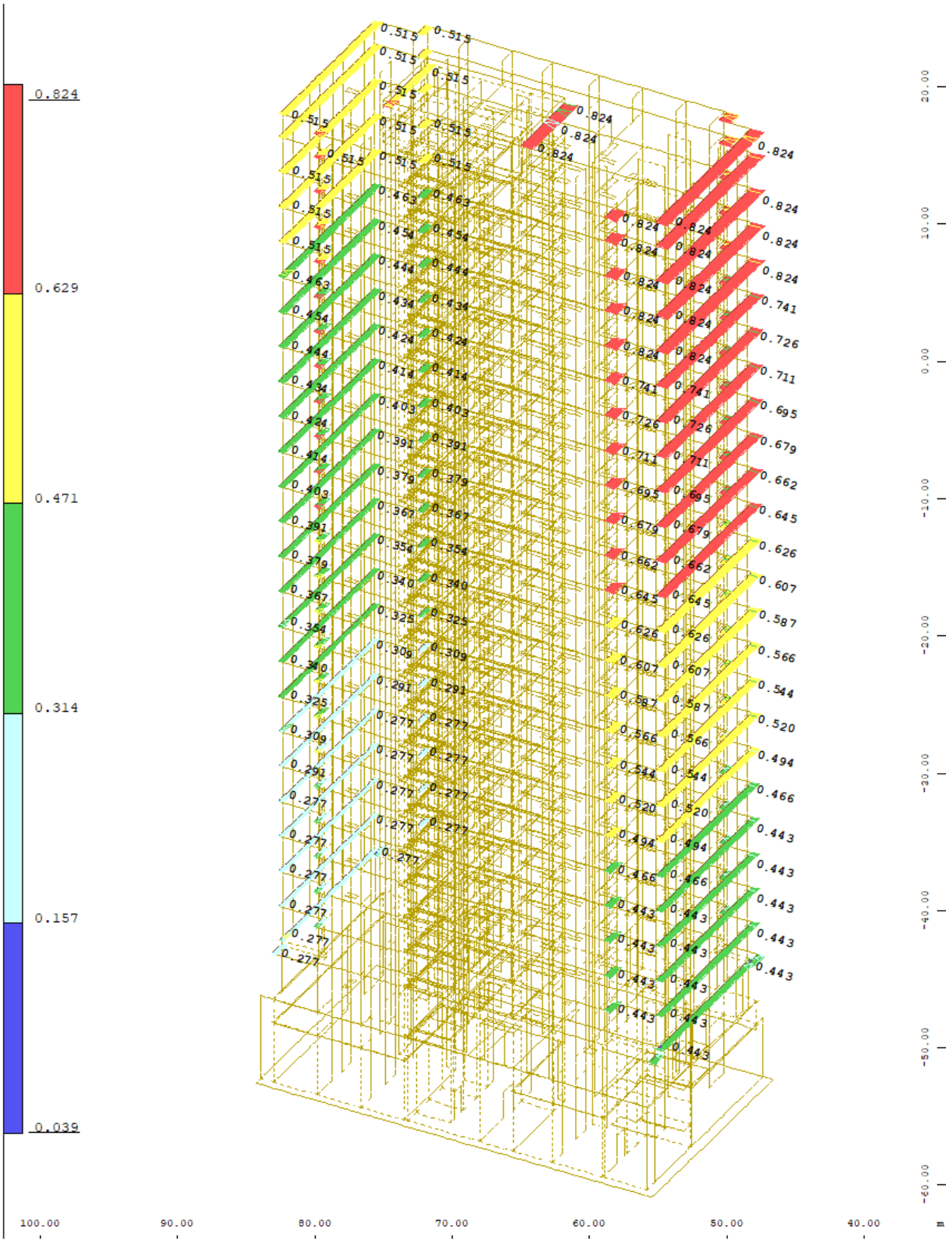
Нормативная нагрузка от фасадов линейная, кН/м



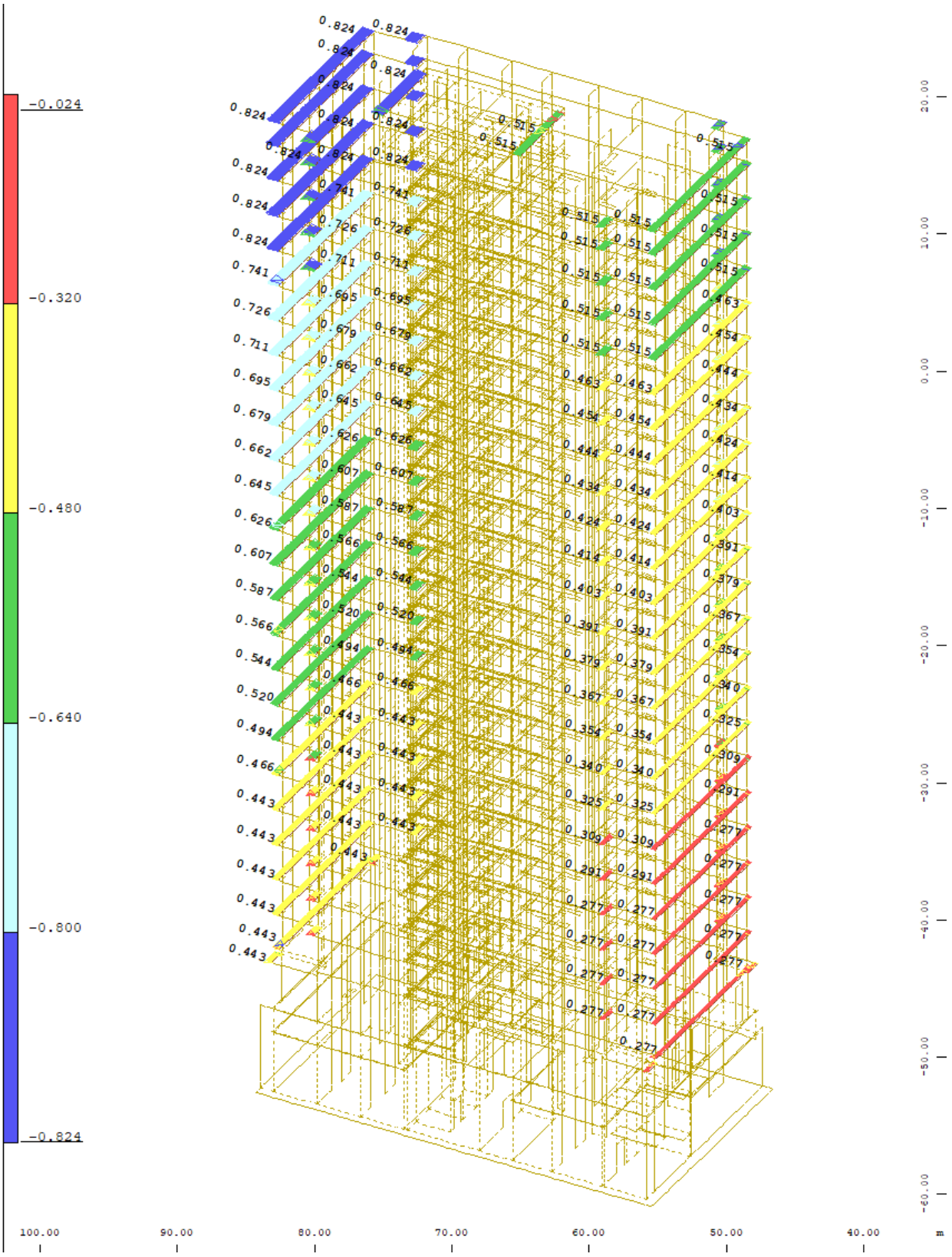
Нормативная нагрузка от лестничных маршей, кН/м



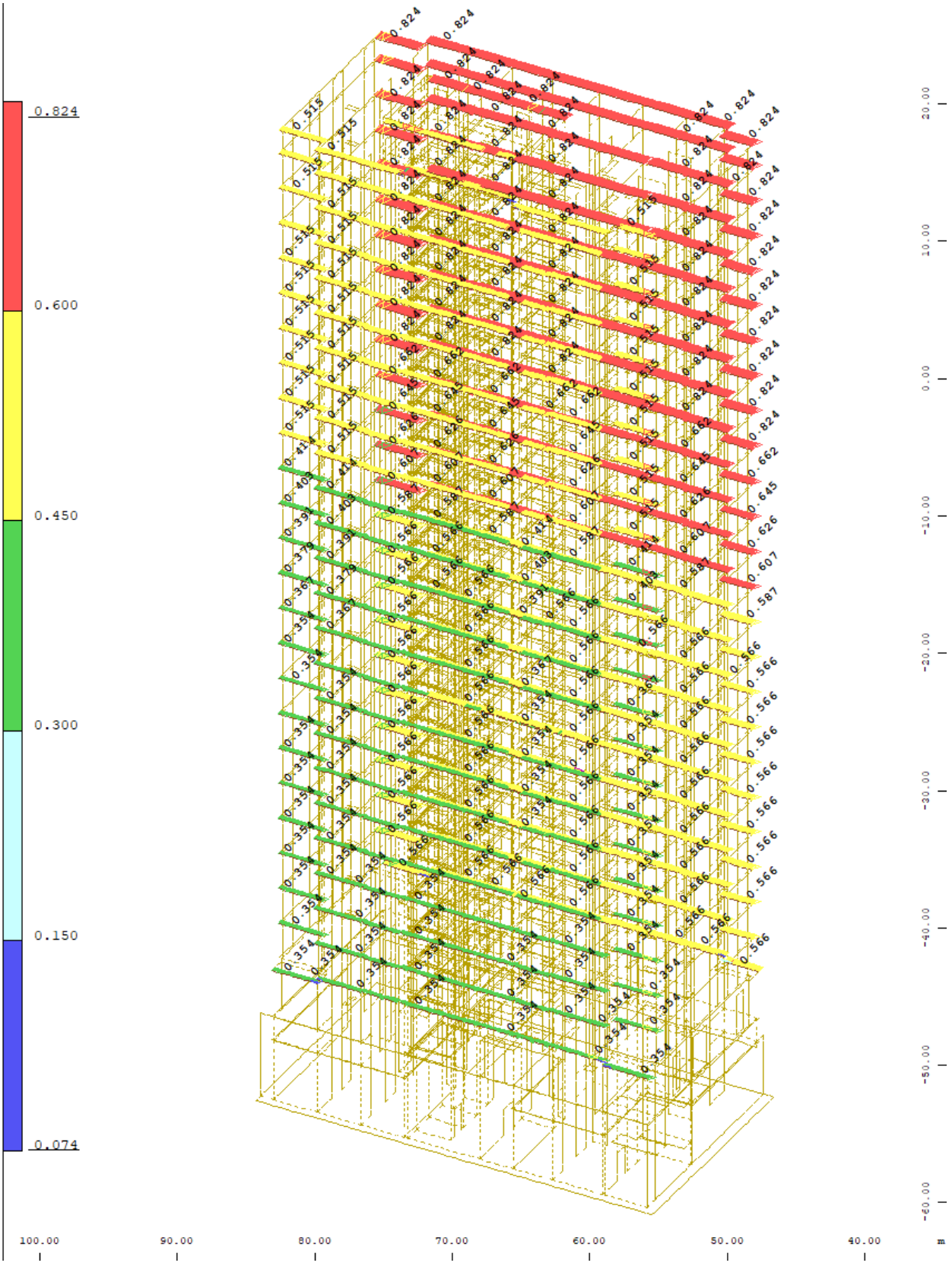
Нормативная нагрузка от снега, кН/м2



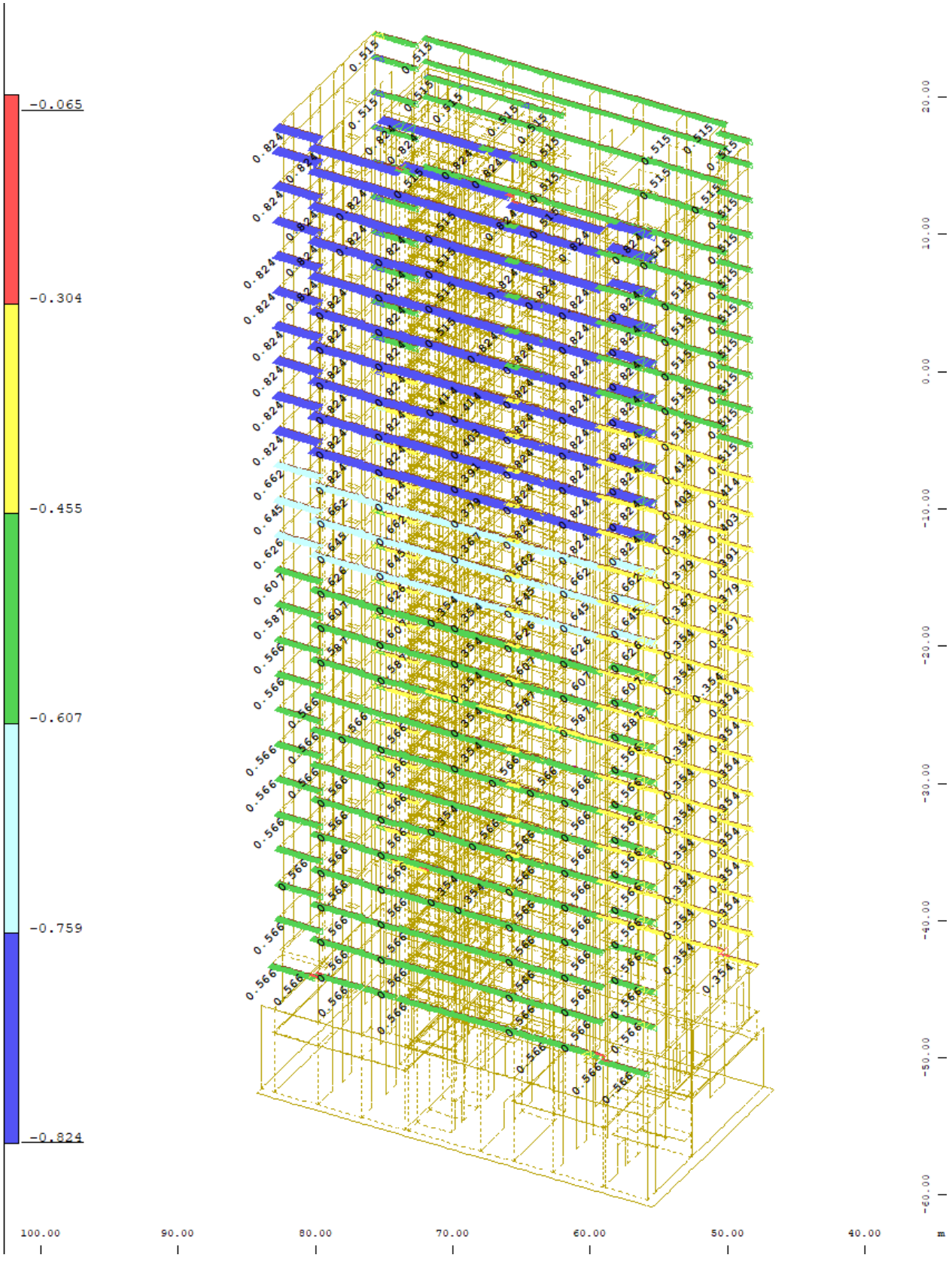
Нормативная нагрузка от ветра по +X, кН/м



Нормативная нагрузка от ветра по -X, кН/м



Нормативная нагрузка от ветра по +Y, кН/м



Нормативная нагрузка от ветра по -Y, кН/м

						17-0121-ОК-1-П-КР4.5	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		23

Коэффициенты для РСУ

Загружение	Подзагружение	Имя загружения	Вид загружения	Зн.пер.	Коэф.к расч.	Коэф.к норм.	Доля дл.	1 осн.	2 осн.	Сейсмич.	Особое
1		G_Deadload	(0)-Постоянное		1.1	1	1	1	1	0.9	1
2		G_Полы	(0)-Постоянное		1.3	1	1	1	1	0.9	1
3		L_Коридоры	(2)-Кратковременное		1.2	1	0.35	1	1	0.5	1
4		Q_Оборудование	(1)-Временное длительнодействующее		1.2	1	1	1	1	0.8	1
5		S_Снег	(2)-Кратковременное		1.4	1	0.5	1	1	0.5	1
6		R_Давление грунта	(0)-Постоянное		1.15	1	1	1	1	0.9	1
7		G_Перегородки	(0)-Постоянное		1.3	1	1	1	1	0.9	1
8		G_Перегородки линейная	(0)-Постоянное		1.3	1	1	1	1	0.9	1
9		G_Фасады линейная	(0)-Постоянное		1.3	1	1	1	1	0.9	1
10		L_Квартиры	(2)-Кратковременное		1.3	1	0.35	1	1	0.5	1
11		G_Лестницы линейная	(0)-Постоянное		1.3	1	1	1	1	0.9	1
12		Пульсации X+	(7)-Мгновенное		1.4	1	0	1	1	0	1
13	1	Средняя составляющая ветрового воздействия			0	0	0	0	0	0	0
14		Пульсации X-	(7)-Мгновенное		1.4	1	0	1	1	0	1
15	1	Средняя составляющая ветрового воздействия			0	0	0	0	0	0	0
16		Пульсации Y+	(7)-Мгновенное		1.4	1	0	1	1	0	1
17	1	Средняя составляющая ветрового воздействия			0	0	0	0	0	0	0
18		Пульсации Y-	(7)-Мгновенное		1.4	1	0	1	1	0	1
19	1	Средняя составляющая ветрового воздействия			0	0	0	0	0	0	0

Коэффициенты для РСН

Сочетание	Загружение	Имя загружения	Коэф.к загр.	Коэф.к расч.	Коэф.к норм.	Доля дл.	Итог.коэф.к расч.	Итог.коэф.к расч.дл.дейст.	Итог.коэф.к норм.	Итог.коэф.к норм.дл.дейст.
1	1	G_Deadload	1	1.1	1	1	1.1	1.1	1	1
	2	G_Полы	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	3	L_Коридоры	1	1.2	1	0.35	1.2	0.42	1	0.35
	4	Q_Оборудование	1	1.2	1	1	1.2	1.2	1	1
	5	S_Снег	1	1.4	1	0.5	1.4	0.7	1	0.5
	10	R_Давление грунта	1	1.15	1	1	1.15	1.15	1	1
	16	G_Перегородки	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	17	G_Перегородки линейная	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	18	G_Фасады линейная	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	19	L_Квартиры	1	1.3	1	0.35	1.3	0.455	1	0.35
	20	G_Лестницы линейная	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
2	1	G_Deadload	1	1.1	1	1	1.1	1.1	1	1
	2	G_Полы	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	3	L_Коридоры	1	1.2	1	0.35	1.2	0.42	1	0.35
	4	Q_Оборудование	1	1.2	1	1	1.2	1.2	1	1
	5	S_Снег	1	1.4	1	0.5	1.4	0.7	1	0.5
	10	R_Давление грунта	1	1.15	1	1	1.15	1.15	1	1
	16	G_Перегородки	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	17	G_Перегородки линейная	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	18	G_Фасады линейная	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	19	L_Квартиры	1	1.3	1	0.35	1.3	0.455	1	0.35
	20	G_Лестницы линейная	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	23	Пульсации X+	1	1.4	1	0	1.4	0	1	0

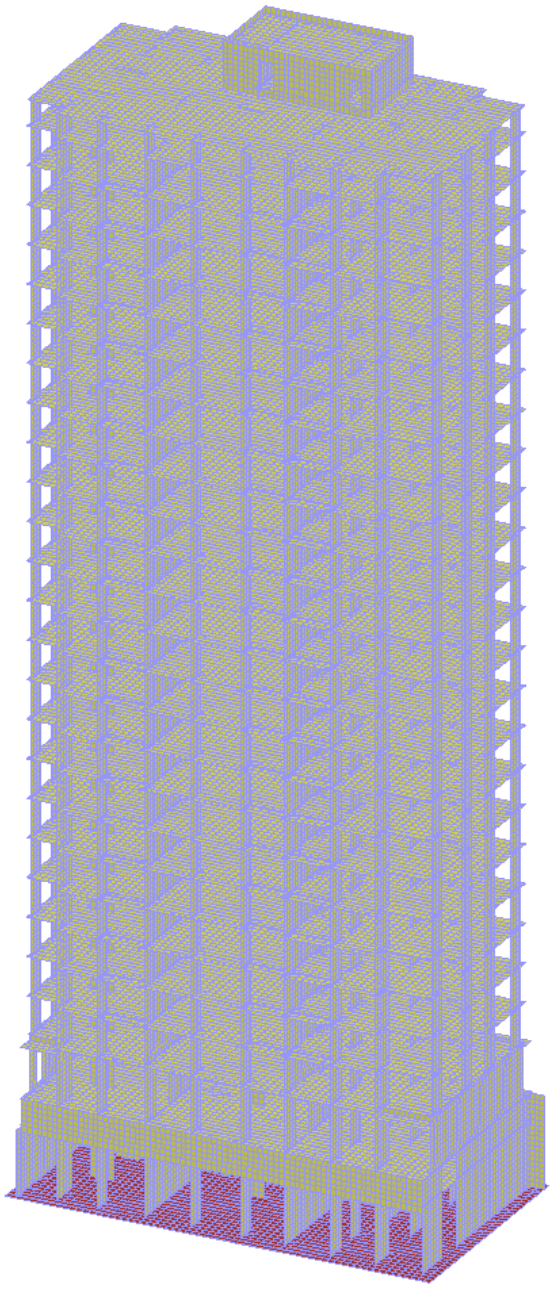
Сочетание	Загружение	Имя загружения	Коэф.к загр.	Коэф.к расч.	Коэф.к норм.	Доля дл.	Итог.коэф.к расч.	Итог.коэф.к расч.дл.дейст.	Итог.коэф.к норм.	Итог.коэф.к норм.дл.дейст.
3	1	G_Deadload	1	1.1	1	1	1.1	1.1	1	1
	2	G_Полы	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	3	L_Коридоры	1	1.2	1	0.35	1.2	0.42	1	0.35
	4	Q_Оборудование	1	1.2	1	1	1.2	1.2	1	1
	5	S_Снег	1	1.4	1	0.5	1.4	0.7	1	0.5
	10	R_Давление грунта	1	1.15	1	1	1.15	1.15	1	1
	16	G_Перегородки	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	17	G_Перегородки линейная	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	18	G_Фасады линейная	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	19	L_Квартиры	1	1.3	1	0.35	1.3	0.455	1	0.35
	20	G_Лестницы линейная	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	24	Пульсации X-	1	1.4	1	0	1.4	0	1	0
4	1	G_Deadload	1	1.1	1	1	1.1	1.1	1	1
	2	G_Полы	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	3	L_Коридоры	1	1.2	1	0.35	1.2	0.42	1	0.35
	4	Q_Оборудование	1	1.2	1	1	1.2	1.2	1	1
	5	S_Снег	1	1.4	1	0.5	1.4	0.7	1	0.5
	10	R_Давление грунта	1	1.15	1	1	1.15	1.15	1	1
	16	G_Перегородки	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	17	G_Перегородки линейная	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	18	G_Фасады линейная	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	19	L_Квартиры	1	1.3	1	0.35	1.3	0.455	1	0.35
	20	G_Лестницы линейная	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1

Со-че-та-ние	За-гру-же-ние	Имя загру-жения	Коэф.к загр.	Коэф.к расч.	Коэф.к норм.	Доля дл.	Итог.коэф.к расч.	Итог.коэф.к расч.дл.дейст.	Итог.коэф.к норм.	Итог.коэф.к норм.дл.дейст.
	25	Пульсации Y+	1	1.4	1	0	1.4	0	1	0
5	1	G_Deadload	1	1.1	1	1	1.1	1.1	1	1
	2	G_Полы	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	3	L_Коридоры	1	1.2	1	0.35	1.2	0.42	1	0.35
	4	Q_Оборудо-вание	1	1.2	1	1	1.2	1.2	1	1
	5	S_Снег	1	1.4	1	0.5	1.4	0.7	1	0.5
	10	R_Давление грунта	1	1.15	1	1	1.15	1.15	1	1
	16	G_Перего-родки	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	17	G_Перего-родки ли-нейная	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	18	G_Фасады линейная	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	19	L_Квартиры	1	1.3	1	0.35	1.3	0.455	1	0.35
	20	G_Лестницы линейная	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	26	Пульсации Y-	1	1.4	1	0	1.4	0	1	0

1.4. ЖЕСТКОСТИ, ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, УСКОРЕНИЯ

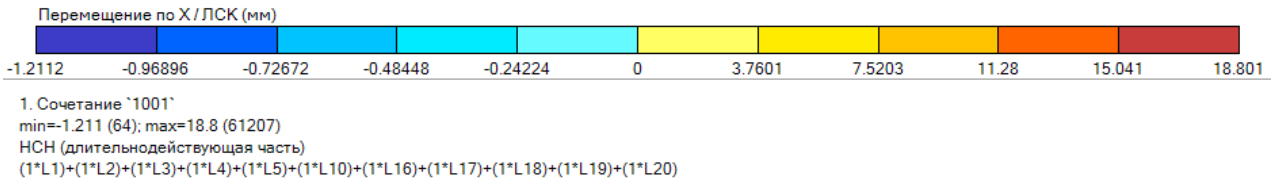


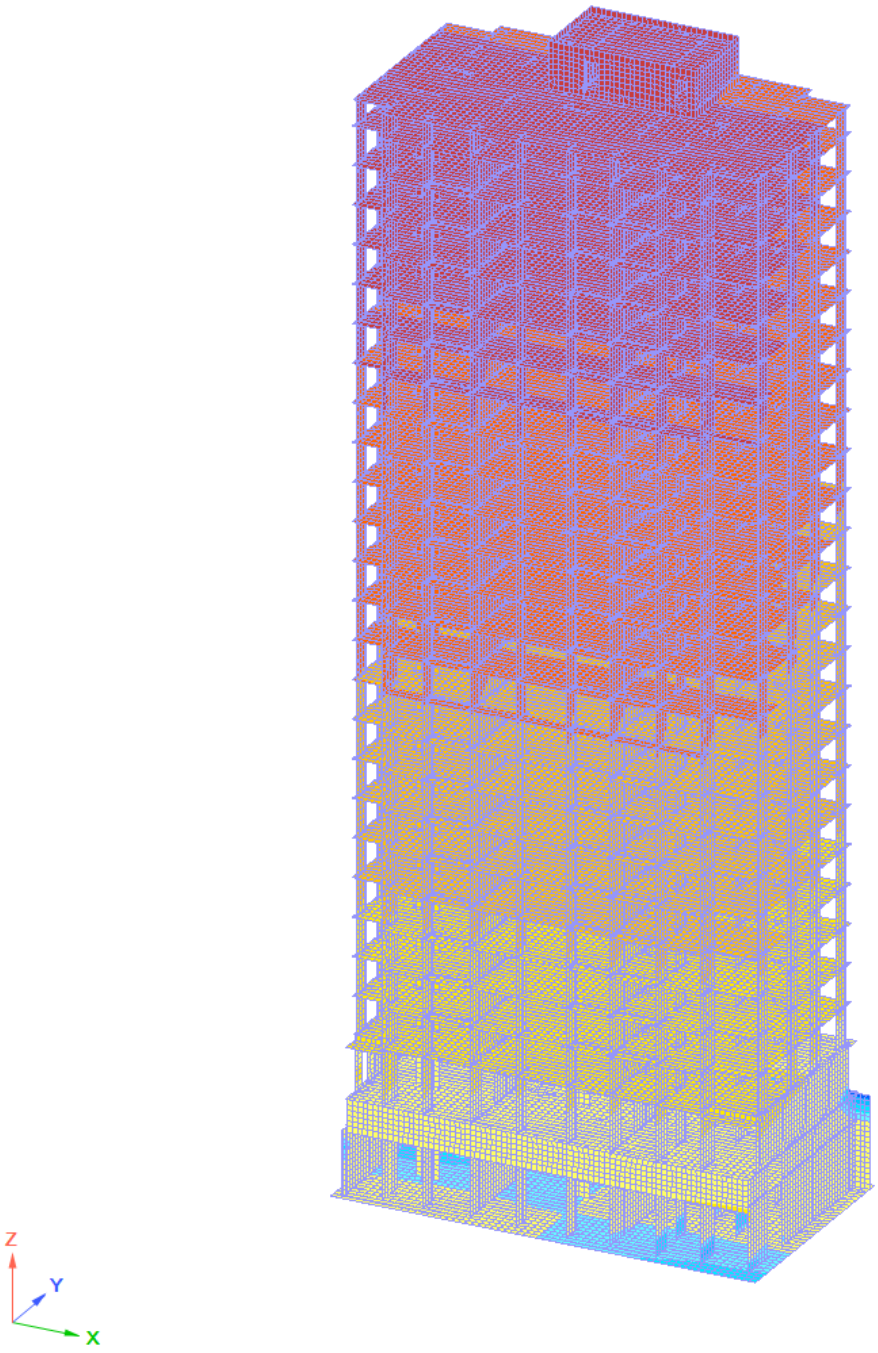
min=18 (2645); max=90 (28)



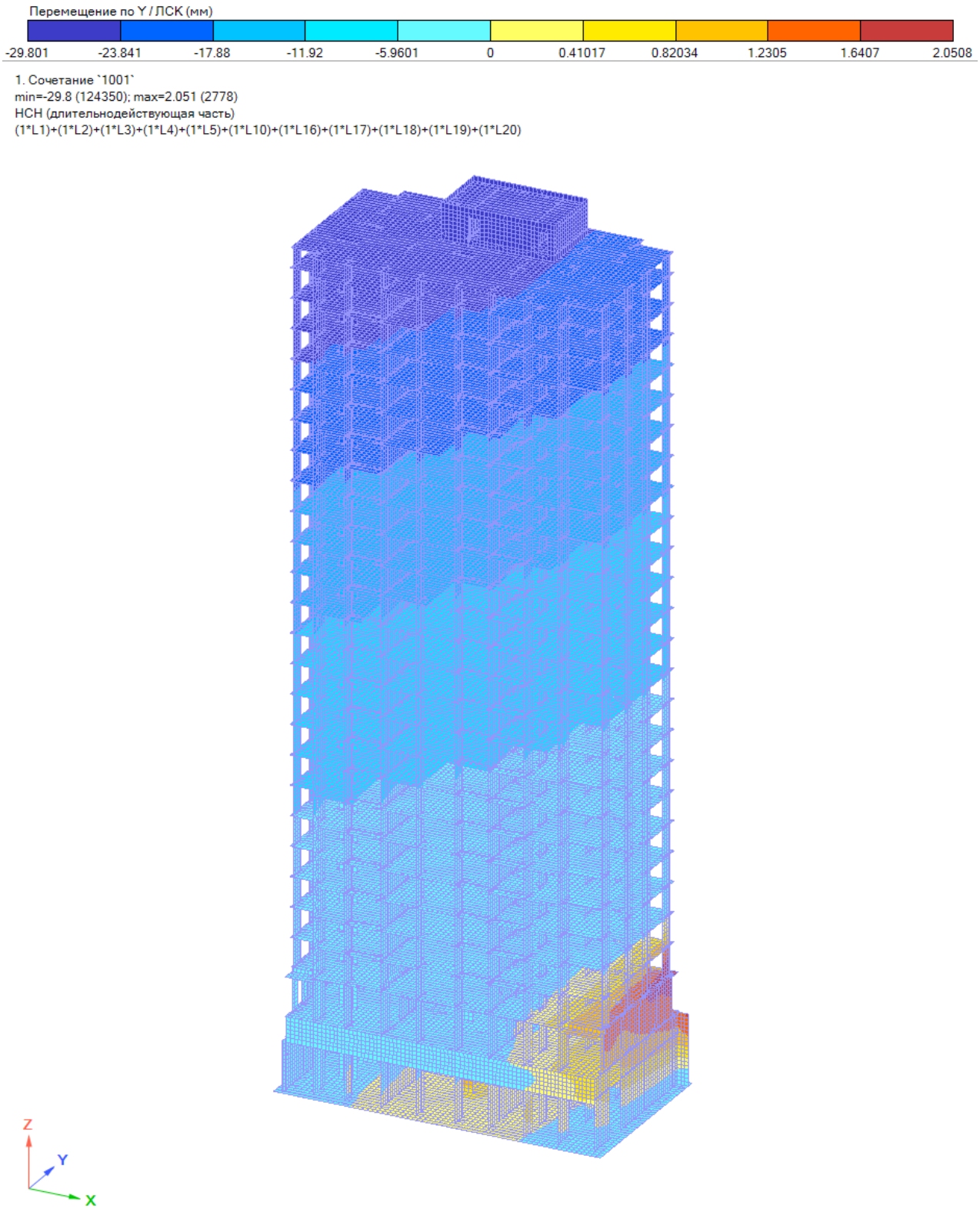


Толщины пластин, см

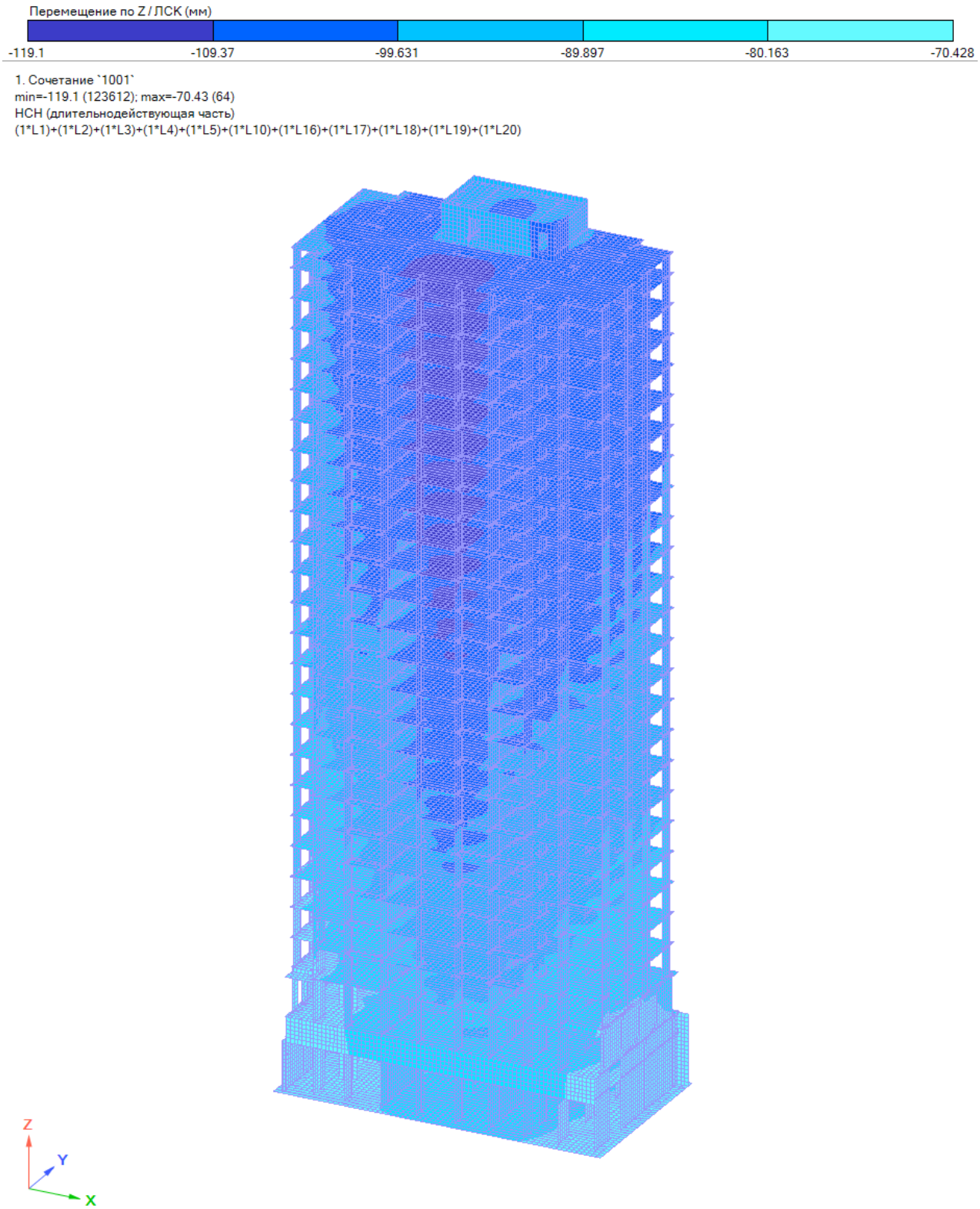




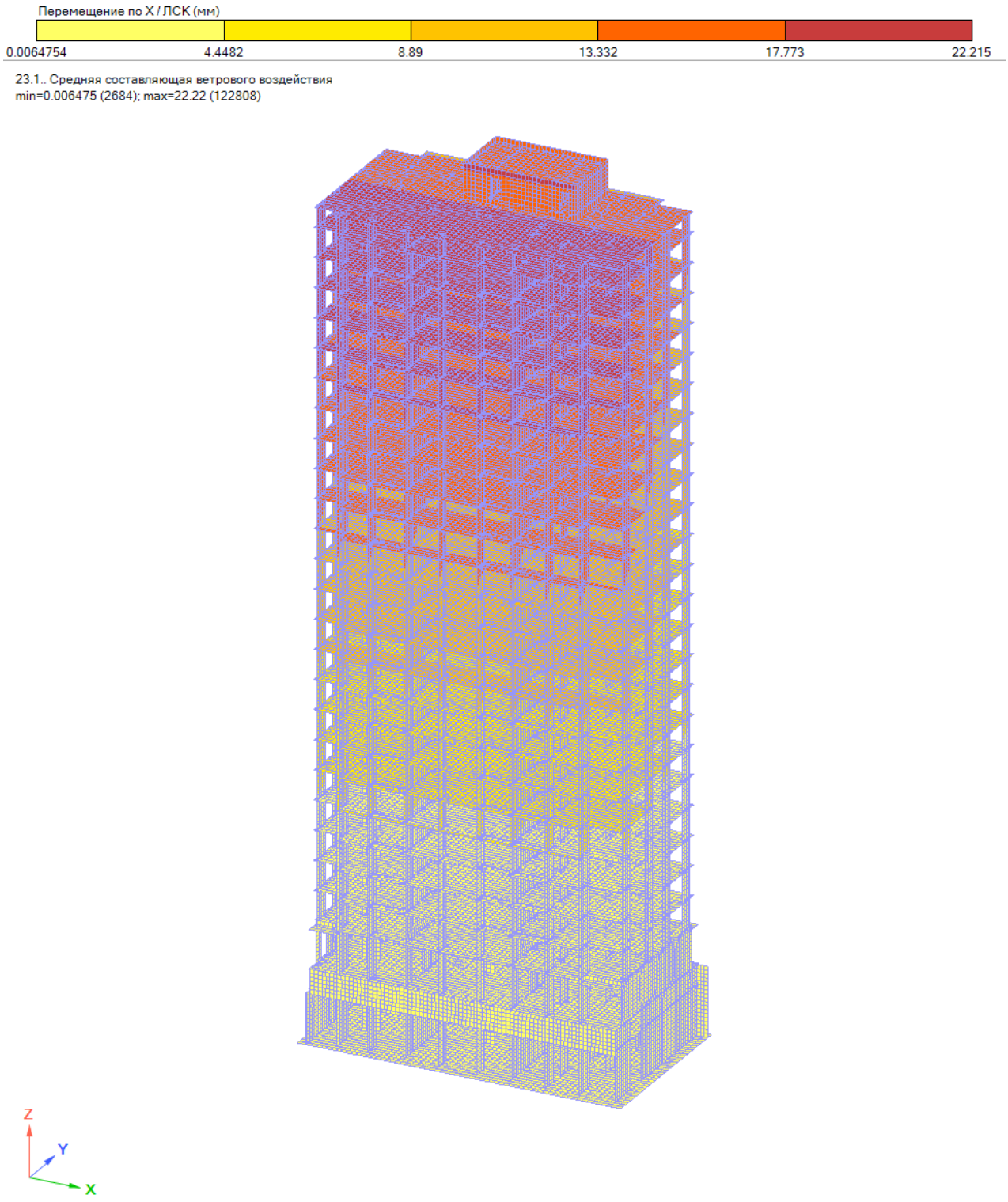
Перемещения по X от вертикальных нагрузок, мм



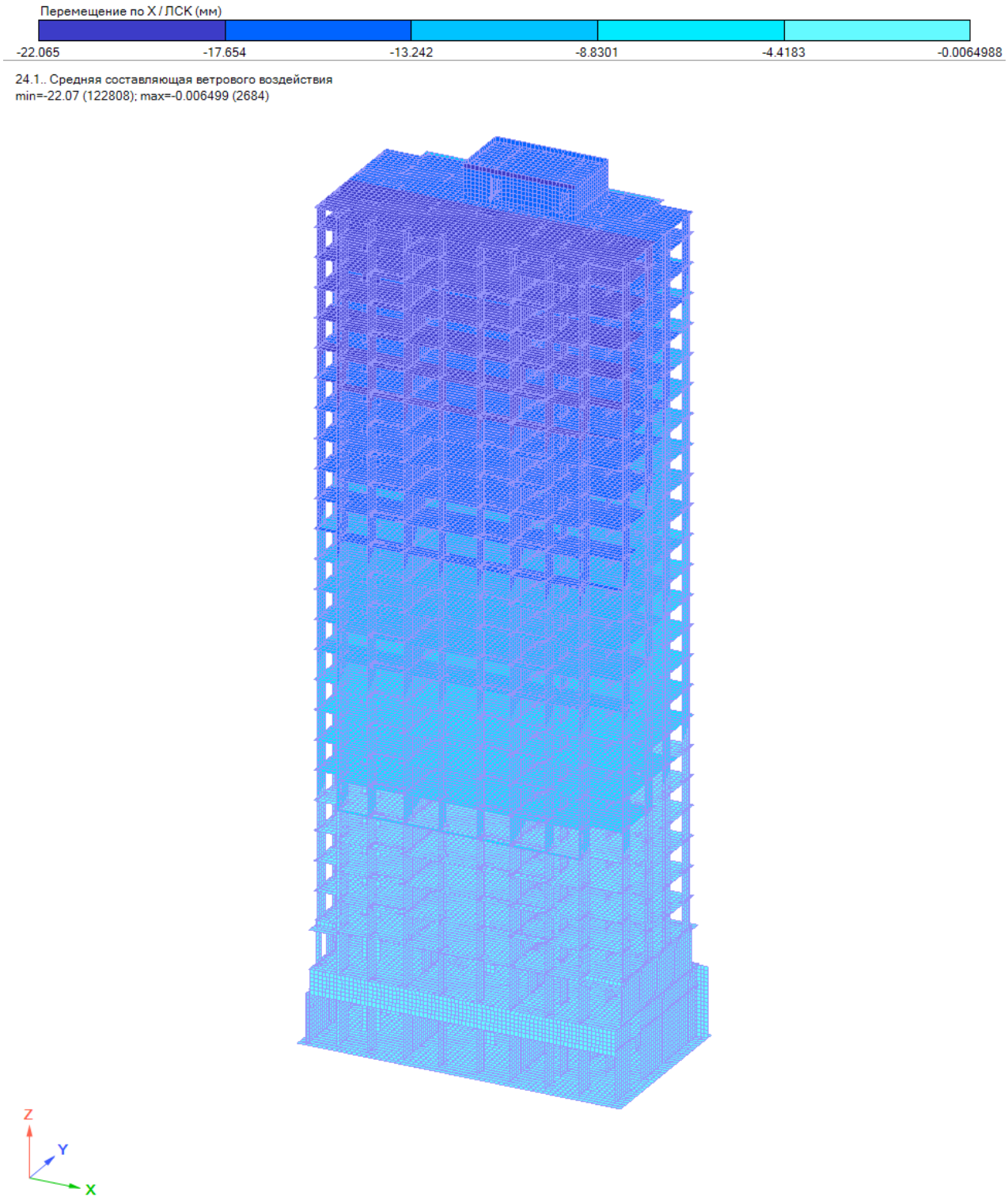
Перемещения по Y от вертикальных нагрузок, мм



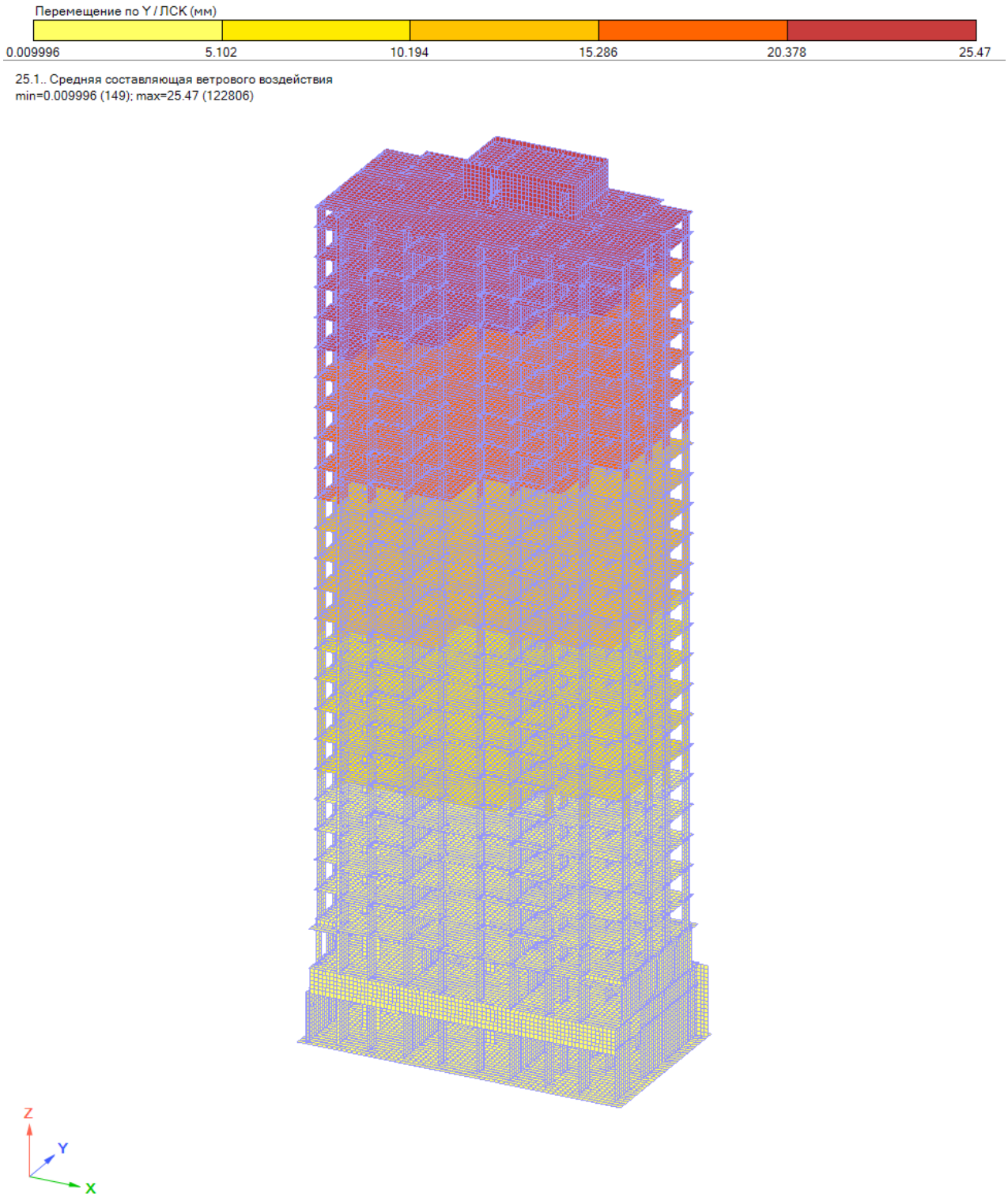
Перемещения по Z от вертикальных нагрузок, мм



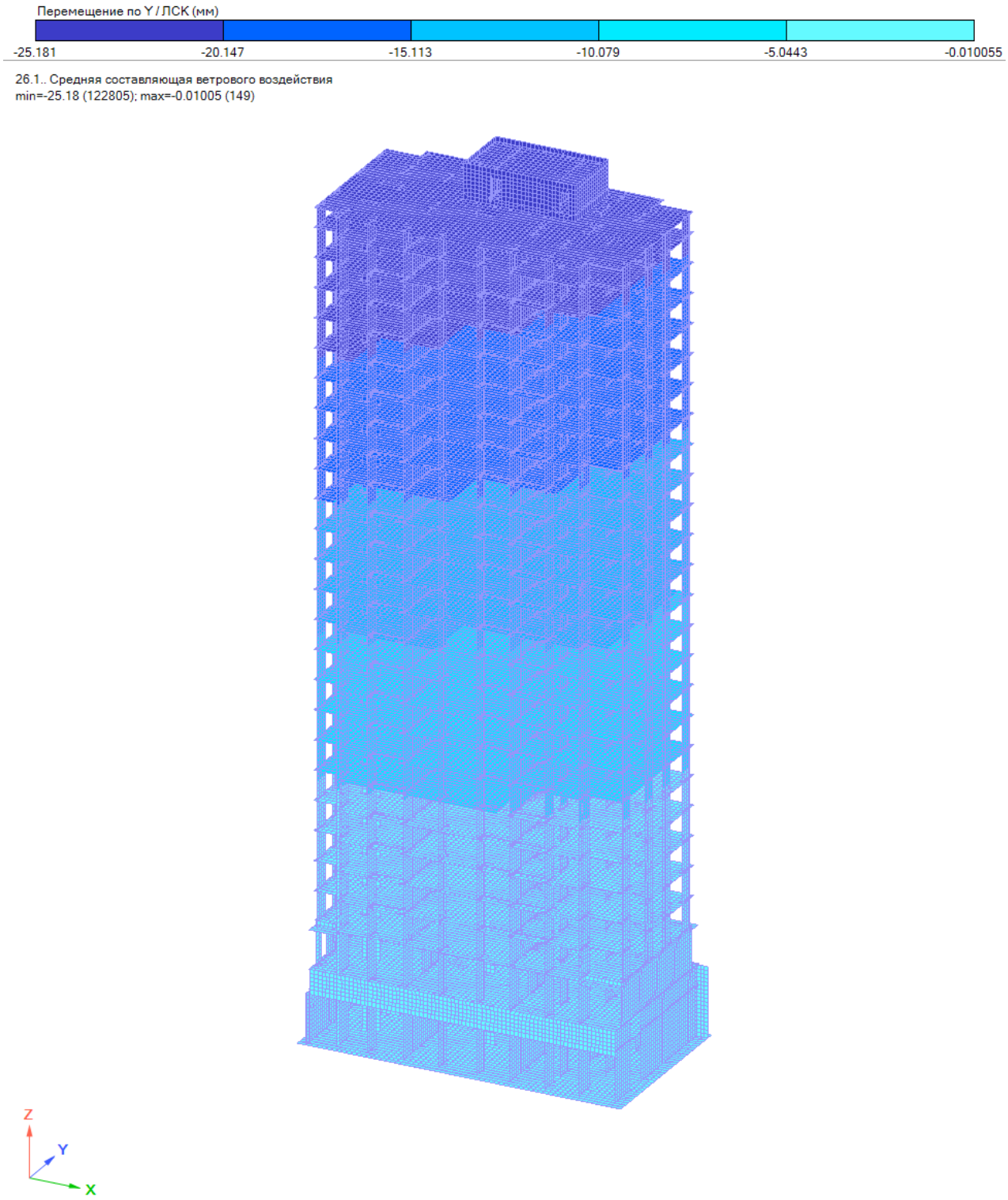
Перемещения по X+ от ветровых нагрузок, мм



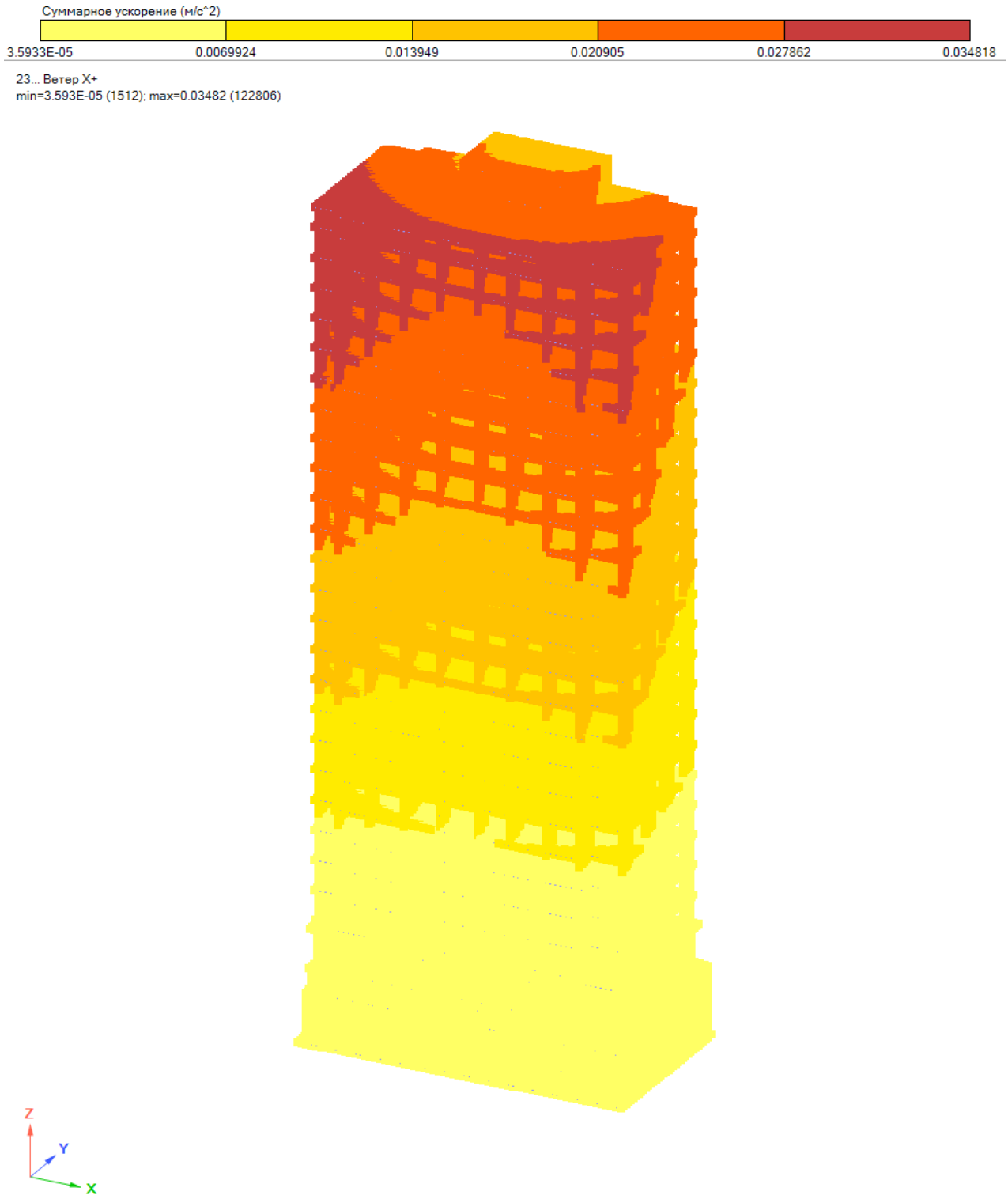
Перемещения по X- от ветровых нагрузок, мм



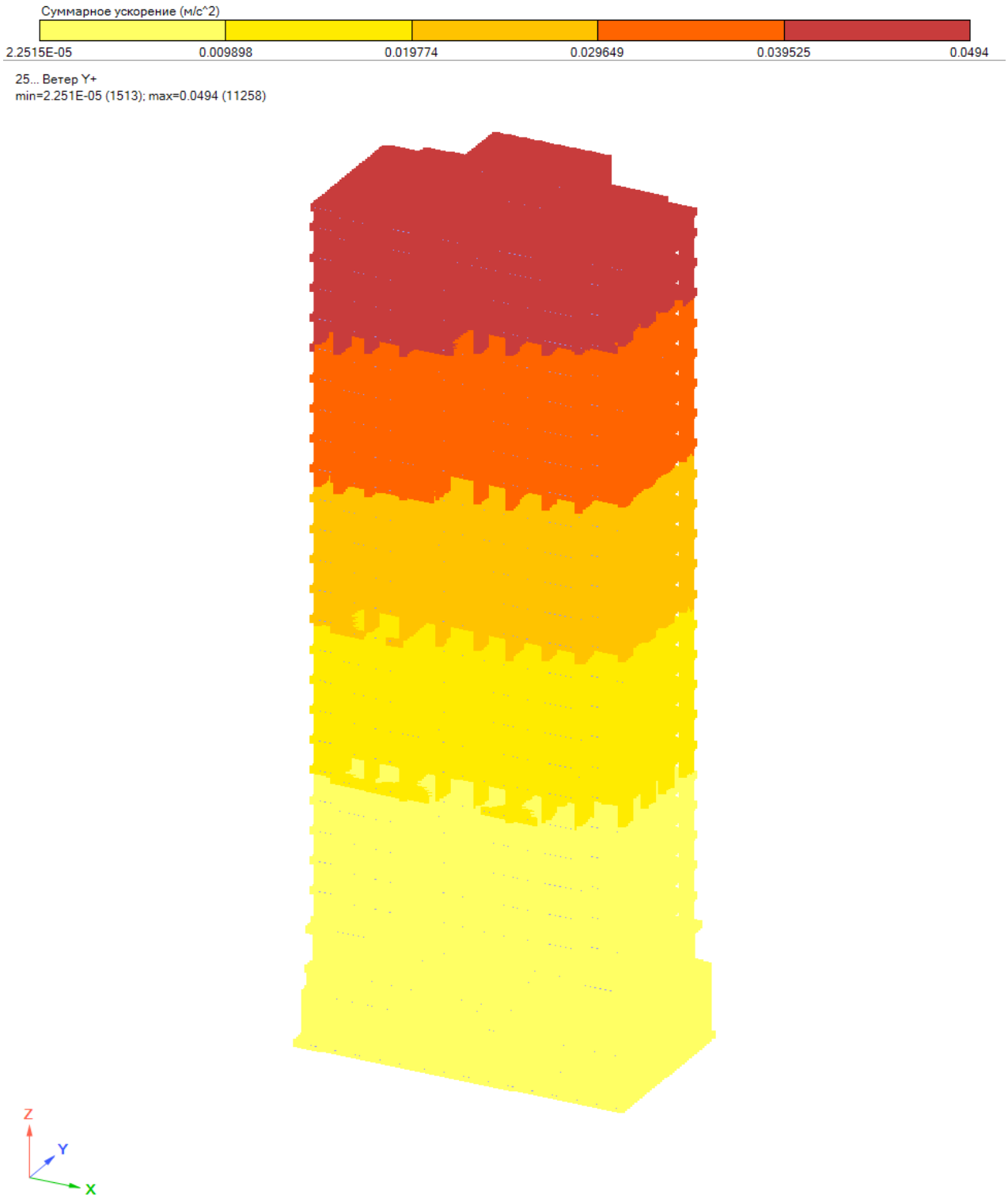
Перемещения по Y+ от ветровых нагрузок, мм



Перемещения по Y- от ветровых нагрузок, мм

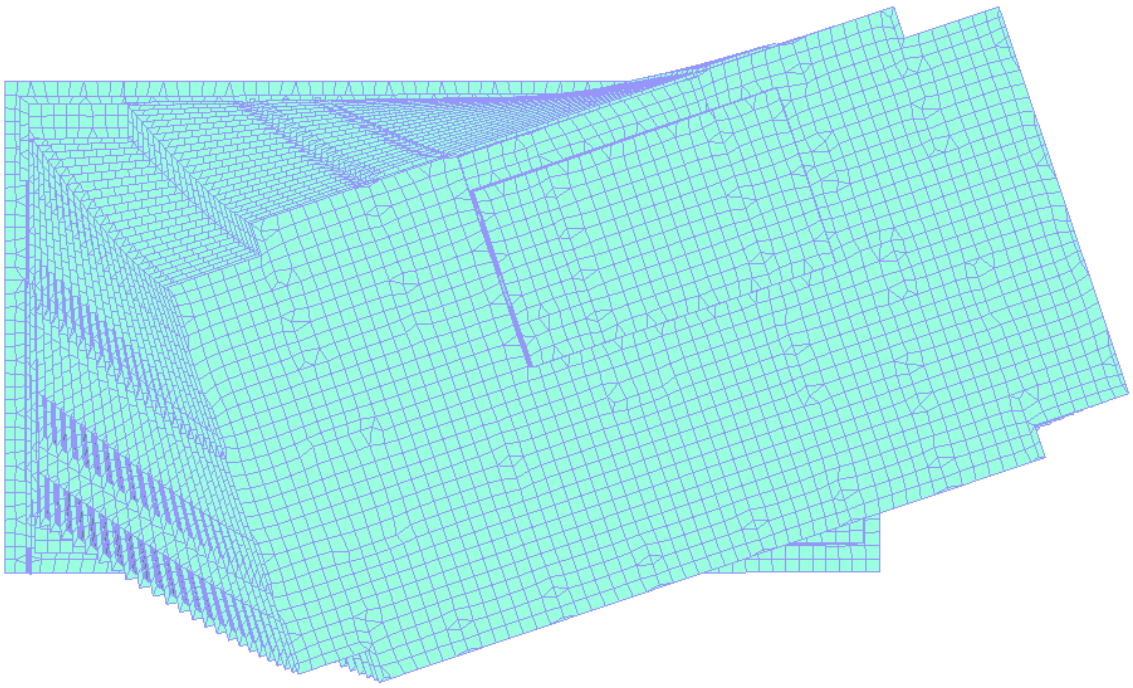


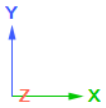
Ускорения ветер вдоль X (м/с2)



Ускорения ветер вдоль Y (м/с2)

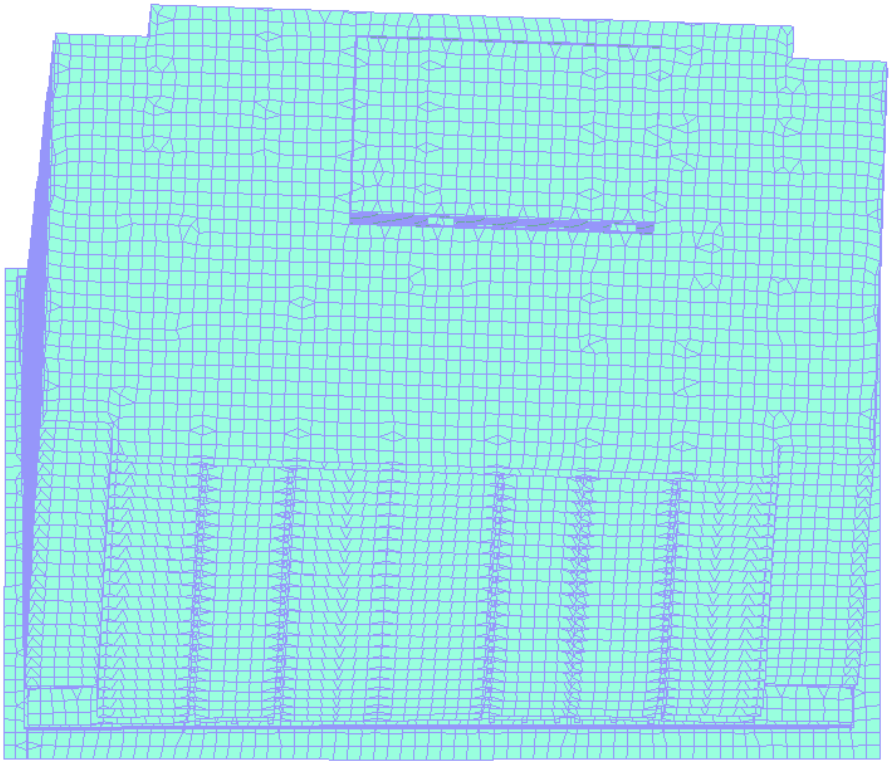
23..1. Форма 1
Частота: 0.21957 (Гц)

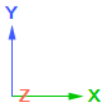




1 форма колебаний, 0.219 Гц

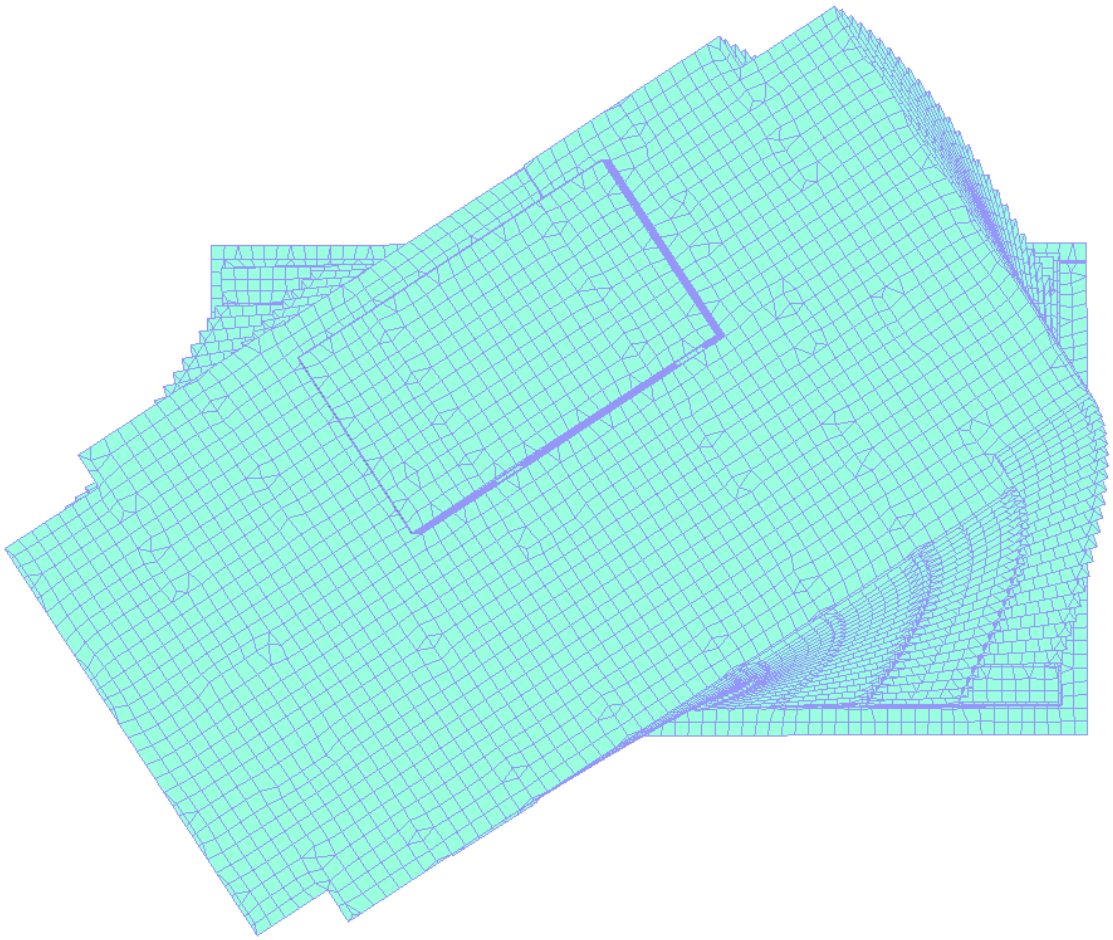
23..2. Форма 2
Частота: 0.29272 (Гц)

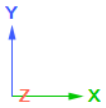




2 форма колебаний, 0.292 Гц

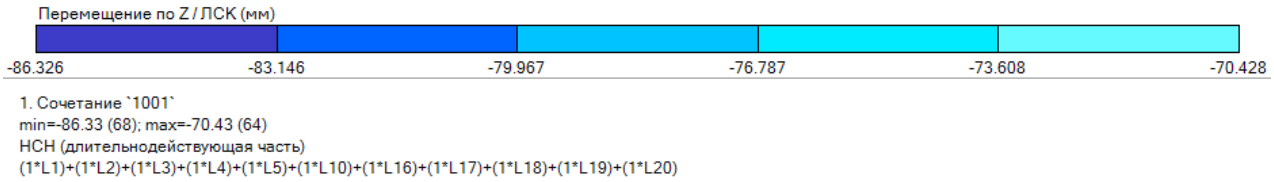
23..3. Форма 3
Частота: 0.43903 (Гц)

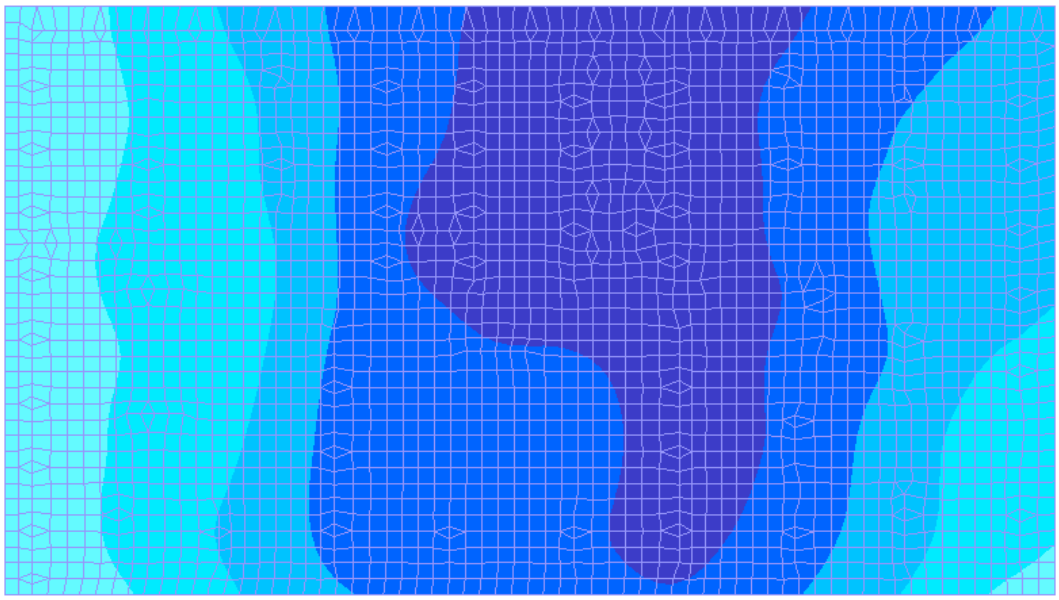


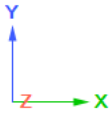


3 форма колебаний, 0.439 Гц

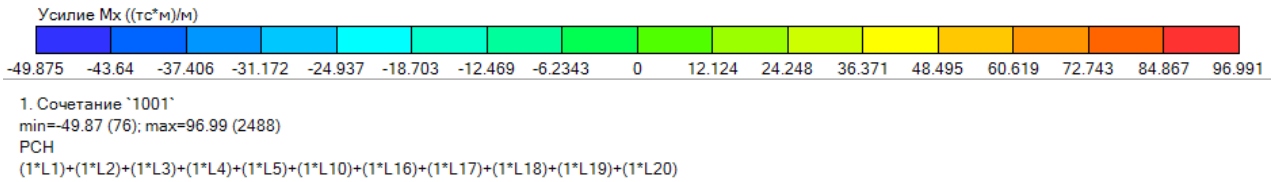
2. РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ ОТМ. -7.200 (ФУНДАМЕНТНАЯ ПЛИТА)

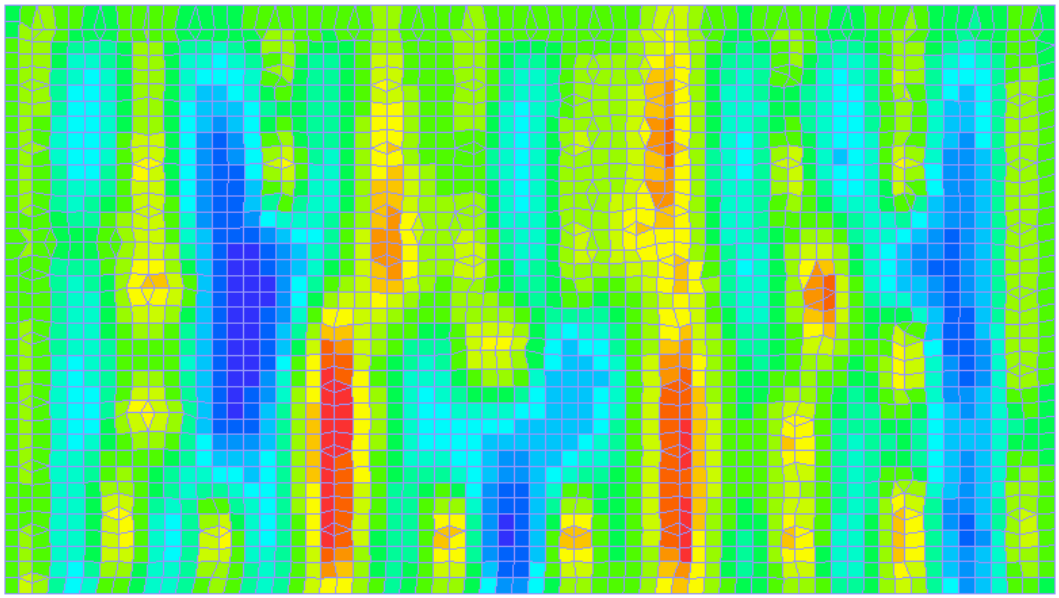


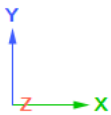




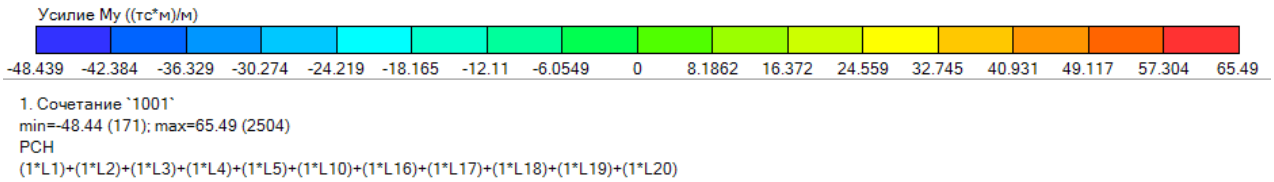
Изополя перемещения по Z, мм

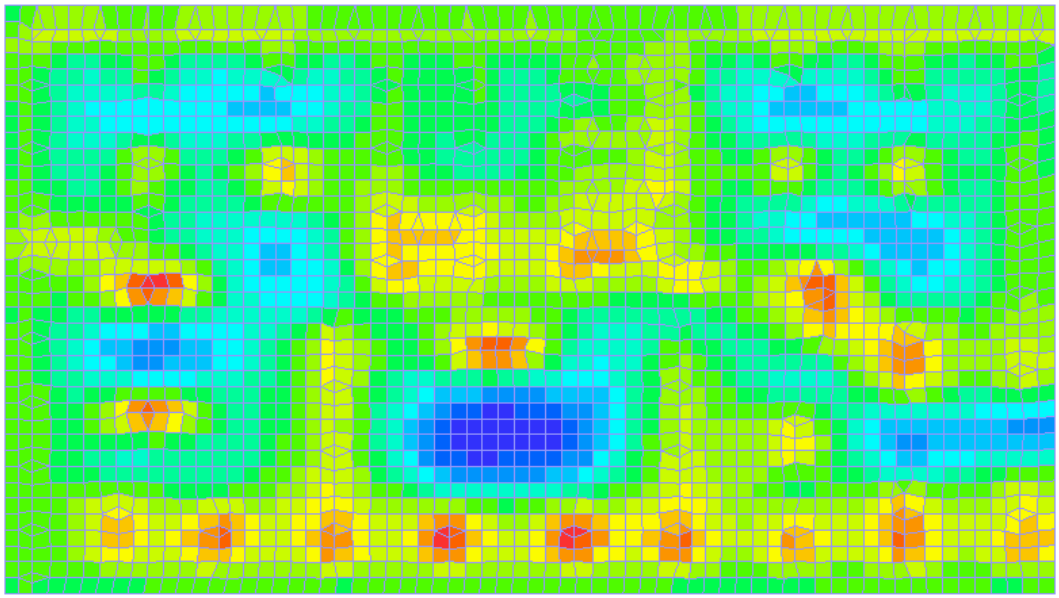


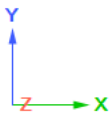




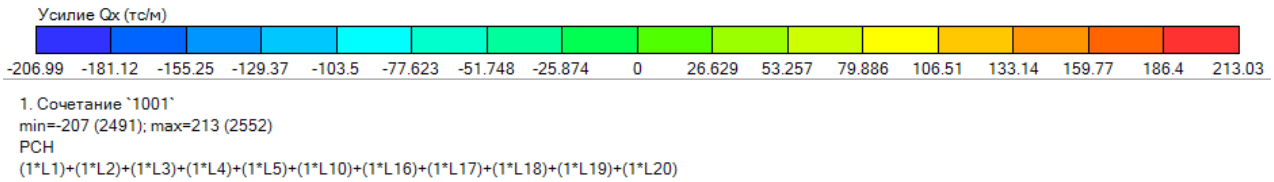
Изополя усилия Mx, тс*м/м

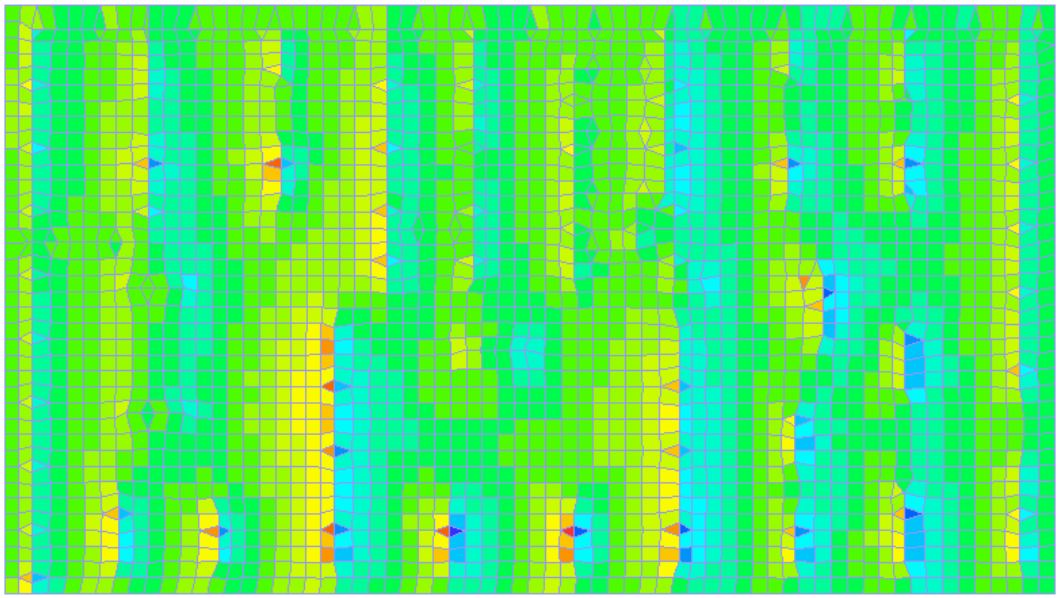


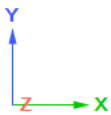




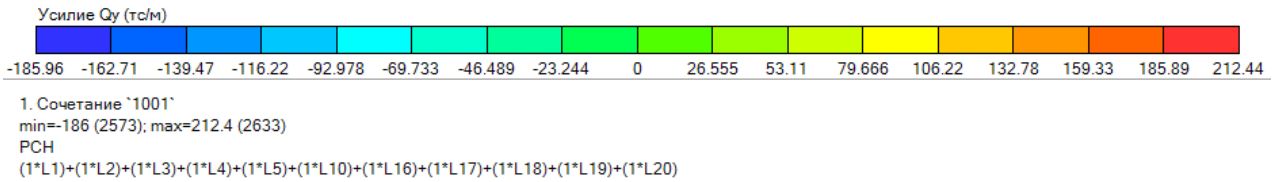
Изополя усилия My, тс*м/м

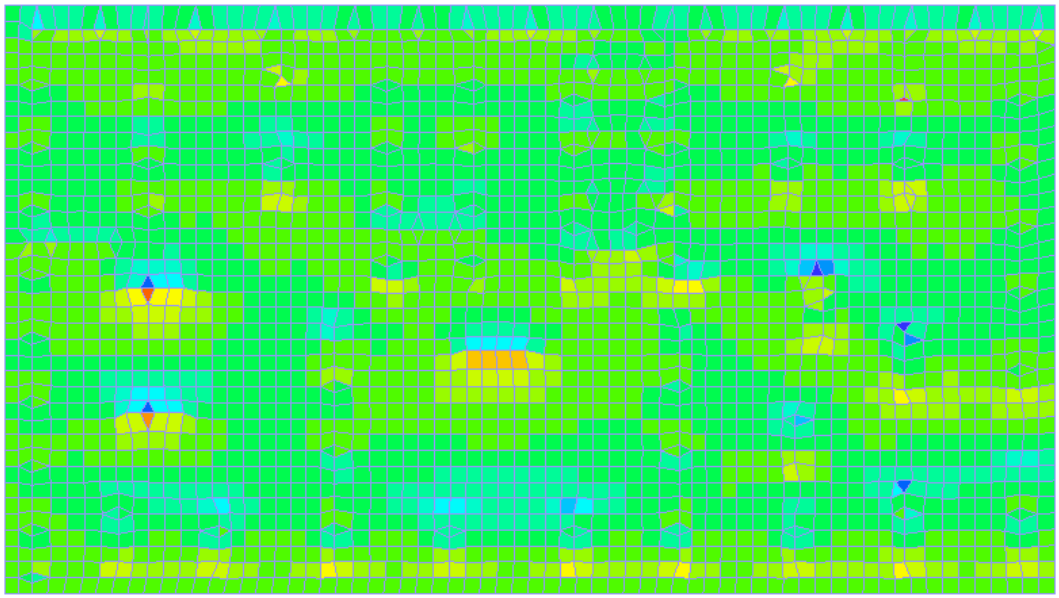


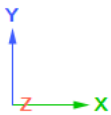




Изополя усилия Qx, тс/м







Изополя усилия Qy, тс/м

Проверка сечения фундаментной плиты в/о 2.7/2.А-2.Б на отм. -7.200 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)

Проверка изгибаемого элемента на образование трещин и ширины их раскрытия. Методика расчета принята согласно СП 63.13330.2018. Рассматриваются трещины нормальные к продольной оси элемента. Сечение прямоугольное.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Изгибающий момент от полной нагрузки $M = 910\text{кНм}$
- Изгибающий момент от постоянной и длительной нагрузки $M_l = 864.5\text{кНм}$
- Продольная сила от полной нагрузки $N = -121\text{кН}$
- Продольная сила от постоянной и длительной нагрузки $N_l = -114.95\text{кН}$

ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЯ

- Ширина сечения $b = 100\text{см} = 1\text{м}$
- Высота сечения $h = 90\text{см} = 0.9\text{м}$
- Расстояние от грани до центра растянутой арматуры $a = 5\text{см} = 0.05\text{м}$
- Расстояние от грани до центра сжатой арматуры $a' = 5\text{см} = 0.05\text{м}$
- Площадь растянутой арматуры $A_s = 37\text{см}^2 = 3.7 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- Площадь сжатой арматуры $A'_s = 30.8\text{см}^2 = 3.08 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- Диаметр арматуры $d_s = 28\text{мм} = 0.028\text{м}$
- Предельно допустимая ширина продолжительного раскрытия трещин $a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм} = 0.0003\text{м}$
- Предельно допустимая ширина непродолжительного раскрытия трещин $a_{crc,ult} = 0.4\text{мм} = 0.0004\text{м}$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

- Класс бетона В30
- Начальный модуль упругости $E_b = 32500000\text{кПа}$
- Нормативное сопротивление сжатию $R_{bn} = 22000\text{кПа}$
- Нормативное сопротивление растяжению $R_{bt,ser} = 1750\text{кПа}$
- Относительные деформации бетона $\varepsilon_{b1,red} = 0.0015$

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

- Класс арматуры А500
- Модуль упругости $E_s = 200000000\text{кПа}$

РАСЧЕТ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ

$$h_0 = 0.9 - 0.05 = 0.85\text{м}$$

$$h_0' = 0.9 - 0.05 = 0.85\text{м}$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{200000000}{32500000} = 6.15$$

$$A = bh = 1 \cdot 0.9 = 0.9\text{м}^2$$

$$A_{red} = A + \alpha(A_s + A_s') = 0.9 + 6.15(3.7 \cdot 10^{-3} + 3.08 \cdot 10^{-3}) = 0.9417\text{м}^2$$

$$S_{t,red} = \frac{Ah}{2} + \alpha(A_{sa} + A_s'h_0') = \frac{0.9 \cdot 0.9}{2} + 6.15(3.7 \cdot 10^{-3} \cdot 0.05 + 3.08 \cdot 10^{-3} \cdot 0.85) = 0.4222\text{м}^3$$

$$y_t = \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = \frac{0.4222}{0.9417} = 0.448\text{м}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} + A\left(\frac{h}{2} - y_t\right)^2 = 1 \cdot \frac{0.9^3}{12} + 0.9\left(\frac{0.9}{2} - 0.448\right)^2 = 60.75 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_s = \alpha A_s(y_t - a)^2 = 6.15 \cdot (3.7 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.448 - 0.05)^2 = 3.61 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_s' = \alpha A_s'(h_0' - y_t)^2 = 6.15 \cdot (3.08 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.85 - 0.448)^2 = 3.06 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_{red} = I + I_s + I_s' = 60.75 \cdot 10^{-3} + 3.61 \cdot 10^{-3} + 3.06 \cdot 10^{-3} = 67.42 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_t} = \frac{67.42 \cdot 10^{-3}}{0.448} = 0.1504\text{м}^3$$

$$W_{pl} = 1.3W_{red} = 1.3 \cdot 0.1504 = 0.1955\text{м}^3$$

$$e_x = \frac{W_{red}}{A_{red}} = \frac{0.1504}{0.9417} = 0.16\text{м}$$

$$M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} + Ne_x = 1750 \cdot 0.1955 + 121 \cdot 0.16 = 361.38\text{кНм}$$

$$M = 910\text{кНм} > M_{crc} = 361.38\text{кНм, трещины образуются}$$

$$E_{b,red} = \frac{R_{b,n}}{\varepsilon_{b1,red}} = \frac{22000}{0.0015} = 14666667\text{кН/м}$$

$$\alpha_{s,1} = \frac{E_s}{E_{b,red}} = \frac{200000000}{14666667} = 13.636$$

$$\alpha_{s,2} = \alpha_{s,1} = 13.636$$

$$\mu_s = \frac{A_s}{bh_0} = \frac{3.7 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0.85} = 0.0043$$

$$\mu_s' = \frac{A_s'}{bh_0} = \frac{3.08 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0.85} = 0.0036$$

$$x_M = h_0\left(\sqrt{\left(\mu_s\alpha_{s,2}+\mu'_s\alpha_{s,1}\right)^2+2\left(\mu_s\alpha_{s,2}+\mu'_s\alpha_{s,1}a'/h_0\right)}-\left(\mu_s\alpha_{s,2}+\mu'_s\alpha_{s,1}\right)\right)$$

$$= 0.85\left(\sqrt{(0.0043\cdot 13.636+0.0036\cdot 13.636)^2+2(0.0043\cdot 13.636+0.0036\cdot 13.636\cdot 0.05/0.85)}\right.$$

$$\left.-(0.0043\cdot 13.636+0.0036\cdot 13.636)\right) = 0.221\text{м}$$

$$x_m = x_M+\frac{I_{red}N_l}{A_{red}M_l} = 0.221-\frac{6.742E-002\cdot 114.95}{0.942\cdot 864.5} = 0.231\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.231\cdot 1 = 0.2308\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b+\alpha_{s,1}A'_s+\alpha_{s,2}A_s = 0.2308+13.636\cdot 3.08\cdot 10^{-3}+13.636\cdot 3.7\cdot 10^{-3} = 0.3232\text{м}^2$$

$$S_{t,red} = A_b\left(h-\frac{x_m}{2}\right)+A'_s h'_0\alpha_{s,1}+A_s a\,\alpha_{s,2}$$

$$= 0.2308\left(0.9-\frac{0.231}{2}\right)+(3.08\cdot 10^{-3})\cdot 0.85\cdot 13.636+(3.7\cdot 10^{-3})\cdot 0.85$$

$$\cdot 13.636 = 0.2193\text{м}^3$$

$$y_c = h-\frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.9-\frac{0.2193}{0.3232} = 0.221\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0-y_c)^2 = (3.7\cdot 10^{-3})\cdot(0.85-0.221)^2 = 1.460E-003\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c-a')^2 = (3.08\cdot 10^{-3})\cdot(0.221-0.05)^2 = 9.049E-005\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12}+y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1\cdot\frac{0.221^3}{12}+0.221\cdot 1\left(\frac{0.221}{2}\right) = 3.619E-003\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b+I_s\alpha_{s,2}+I'_s\alpha_{s,1} = 3.619E-003+1.460E-003\cdot 13.636+9.049E-005\cdot 13.636$$

$$= 2.476E-002\text{м}^4$$

$$x_t = h-x_m = 0.9-0.231 = 0.669\text{м}$$

x_t принимается в пределах не менее $2a = 2\cdot 0.05 = 0.1$м и не более $0.5h = 0.5\cdot 0.9 = 0.45$м

Принимаем $x_t = 0.5h = 0.5\cdot 0.9 = 0.45$м

$$A_{bt} = bx_t = 1\cdot 0.45 = 0.45\text{м}^2$$

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.45}{3.7\cdot 10^{-3}}\,0.028 = 1.705\text{м}$$

l_s принимается в пределах не менее $10d_s = 10\cdot 0.028 = 0.28$м и 0.1м и не более $40d_s = 40\cdot 0.028 = 1.12$м и 0.4м

Принимаем $l_s = 0.4$м

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

$$\varphi_1 = 1.40;\ \varphi_2 = 0.50;\ \varphi_3 = 1.00$$

$$\sigma_s = \left(\frac{M_l(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{864.5(0.85 - 0.221)}{2.476E-002} + \frac{-114.95}{0.3232}\right)13.636 = 294412\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{361.38(0.85 - 0.221)}{2.476E-002} + \frac{-114.95}{0.3232}\right)13.636 = 120247\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\ \frac{120246.63}{294412.35} = 0.673$$

$$a_{crc1} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.673\ \frac{294412}{200000000}\ 0.4 = 0.000278\text{м} = 0.278\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

$$\varphi_1 = 1.00;\ \varphi_2 = 0.50;\ \varphi_3 = 1.00$$

$$a_{crc3} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.673\ \frac{294412}{200000000}\ 0.4 = 0.000198\text{м} = 0.198\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК

$$x_m = x_M + \frac{I_{red}N}{A_{red}M} = 0.221\ - \frac{6.742E-002 \cdot 121}{0.942 \cdot 910} = 0.231\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.231 \cdot 1 = 0.2308\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.2308 + 13.636 \cdot 3.08 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 3.7 \cdot 10^{-3} = 0.3232\text{м}^2$$

$$S_{t,red} = A_b\left(h - \frac{x_m}{2}\right) + A'_s h'_0\alpha_{s,1} + A_s a\alpha_{s,2}$$

$$= 0.2308\left(0.9 - \frac{0.231}{2}\right) + 3.08 \cdot 10^{-3} \cdot 0.85 \cdot 13.636 + (3.7 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.85 \cdot 13.636$$

$$= 0.2193\text{м}^3$$

$$y_c = h\ - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.9\ - \frac{0.2193}{0.3232} = 0.221\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c) = (3.7 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.85\ -\ 0.221) = 1.460E-003\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a') = (3.08 \cdot 10^{-3})(0.221\ -\ 0.05) = 9.049E-005\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.221^3}{12} + 0.221 \cdot 1\left(\frac{0.221}{2}\right) = 3.619E-003\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 3.619E-003 + 1.460E-003 \cdot 13.636 + 9.049E-005 \cdot 13.636 = 2.476E-002\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.9 - 0.231 = 0.669\text{м}$$

x_t принимается в пределах не менее $2a = 2 \cdot 0.05 = 0.1$м и не более $0.5h = 0.5 \cdot 0.9 = 0.45$м

Принимаем $x_t = 0.5h = 0.5 \cdot 0.9 = 0.45$м

$$A_{bt} = bx_t = 1 \cdot 0.45 = 0.45\text{м}^2$$

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.45}{3.7 \cdot 10^{-3}}\,0.028 = 1.705\text{м}$$

l_s принимается в пределах не менее $10d_s = 10 \cdot 0.028 = 0.28$м и 0.1м и не более $40d_s = 40 \cdot 0.028 = 1.12$м и 0.4м

Принимаем $l_s = 0.4$м

$$\sigma_s = \left(\frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{910(0.85 - 0.221)}{2.476E-002} + \frac{-121}{0.3232}\right)13.636 = 309908\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{361.38(0.85 - 0.221)}{2.476E-002} + \frac{-121}{0.3232}\right)13.636 = 119991\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\,\frac{119991.36}{309907.73} = 0.69$$

$$\varphi_1 = 1.00;\ \varphi_2 = 0.50;\ \varphi_3 = 1.00$$

$$a_{crc2} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.69\,\frac{309908}{200000000}\,0.4 = 0.000198\text{м} = 0.198\text{мм}$$

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

$$a_{crc1} = 0.278\text{мм} \le a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм}$$

Ширина продолжительного раскрытия трещин не превышает предельной

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.000278 + 0.000214 - 0.000198 = 0.000293\text{м} = 0.293\ \text{мм}$$

$$a_{crc} = 0.293\text{мм} \le a_{crc,ult} = 0.4\text{мм}$$

Ширина непродолжительного раскрытия трещин не превышает предельной.

ПРОВЕРКА ПО ПЕРВОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

$$R_s = 435000\text{кПа}$$

$$R_{sc} = 435000\text{кПа}$$

$$R_b = 17000\text{кПа}$$

$$\varepsilon_{b2} = 0.0042$$

$$\varepsilon_{s,el} = \frac{R_s}{E_s} = \frac{435000}{200000000} = 0.002175$$

$$\xi_R = \frac{0.8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b2}}} = 0.493$$

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b} = \frac{435000 \cdot 0.003695 - 435000 \cdot 0.003079}{17000 \cdot 1} = 0.016\text{м}$$

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{0.016}{0.85} = 0.019$$

$$\xi = 0.019 < \xi_R = 0.493$$

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0.5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$
$$= 17000 \cdot 1 \cdot 0.016(0.85 - 0.5 \cdot 0.016) + 435000 \cdot 0.003079(0.85 - 0.05)$$
$$= 1297\text{кНм}$$

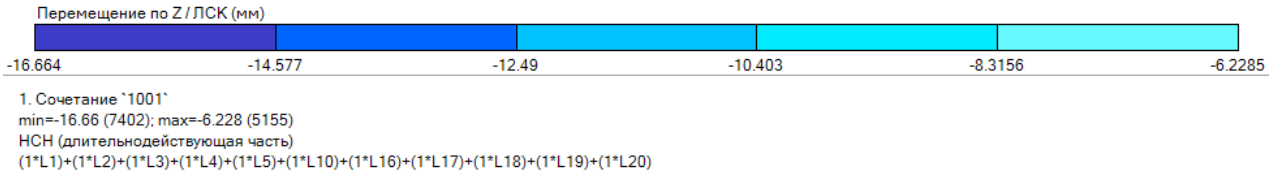
$$M = 1183\text{кНм} < M_{ult} = 1297\text{кНм}$$

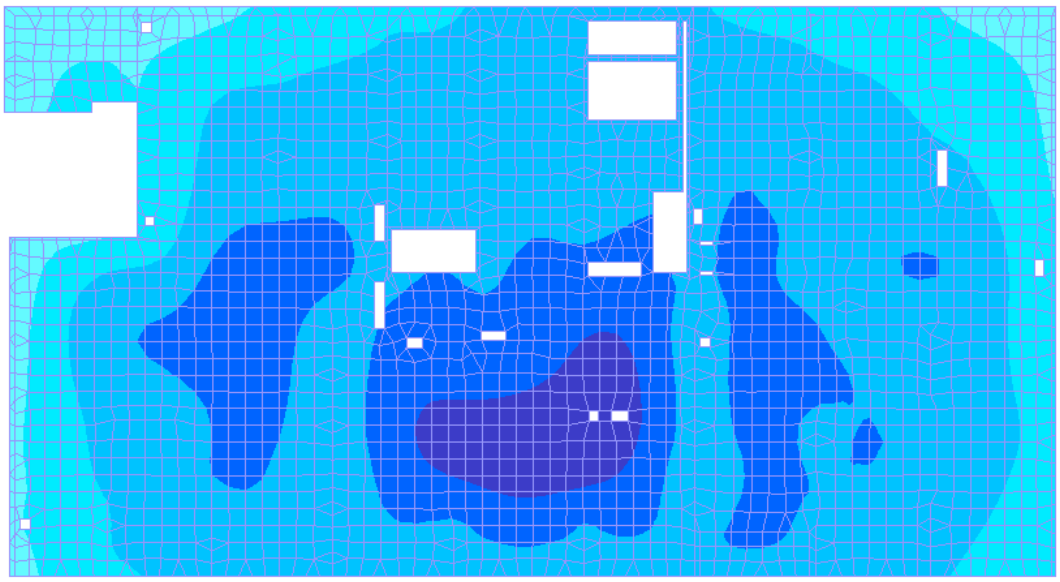
Условие прочности выполняется

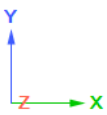
Коэффициент использования 0.912



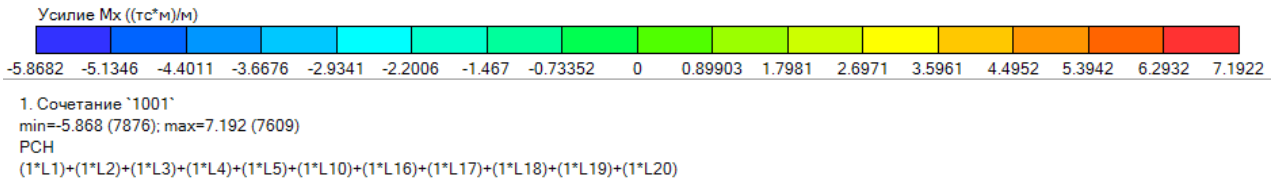
2.1. РАСЧЕТ ПЛИТ НА ОТМ. -0.100 (ПЛИТА НАД ПОДВАЛОМ)

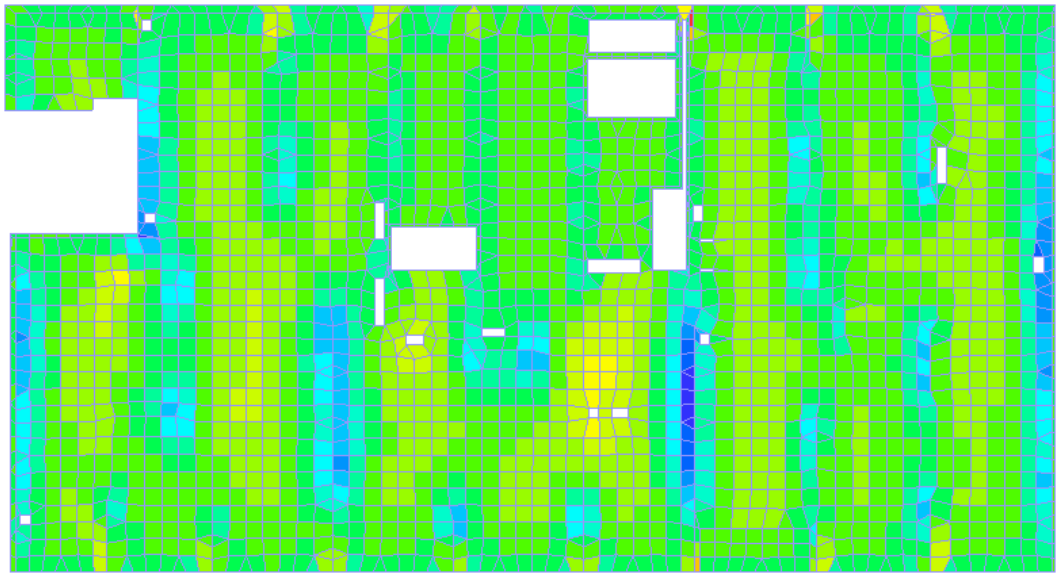


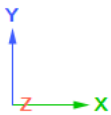




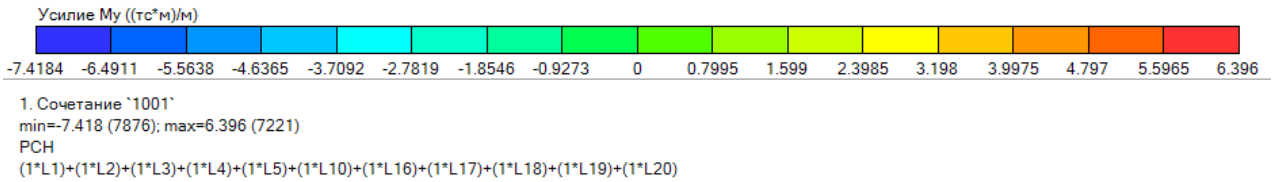
Изополя перемещения по Z, мм

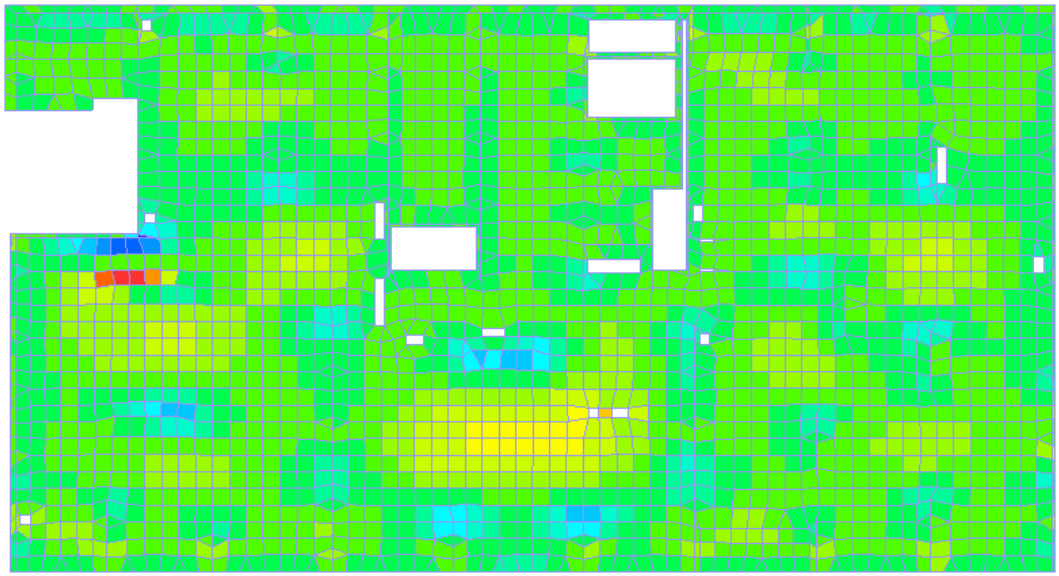


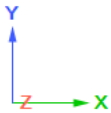




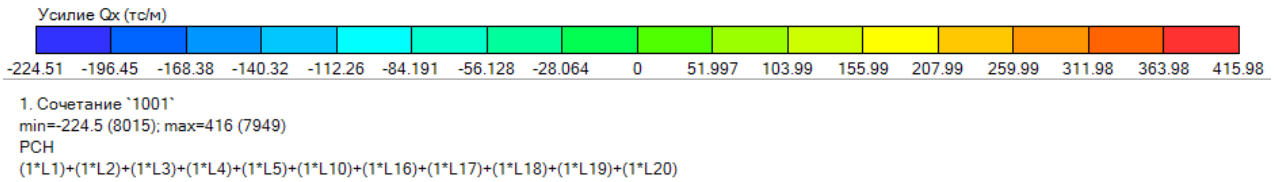
Изополя усилия Mx, тс*м/м

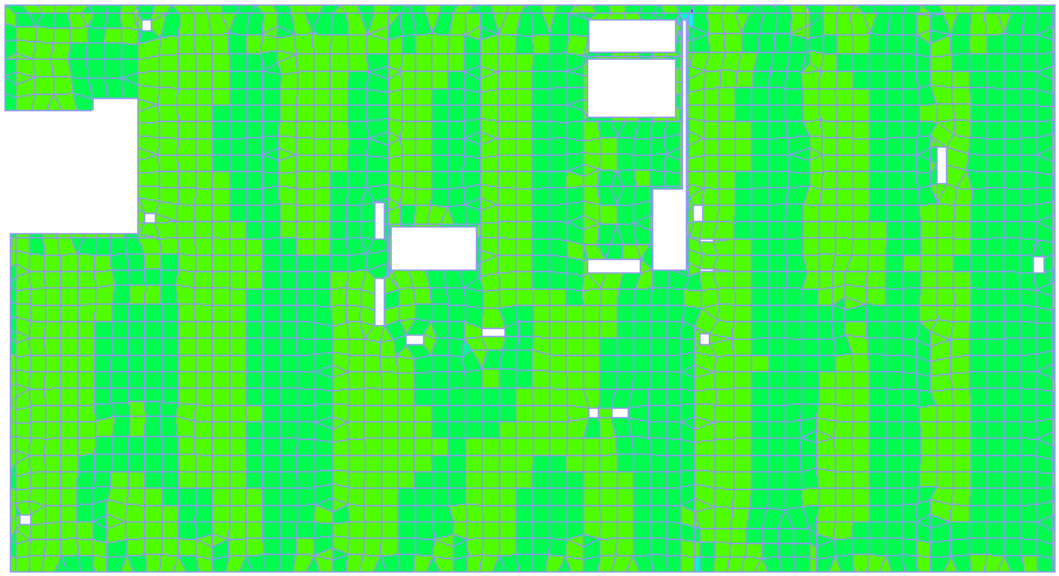


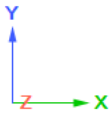




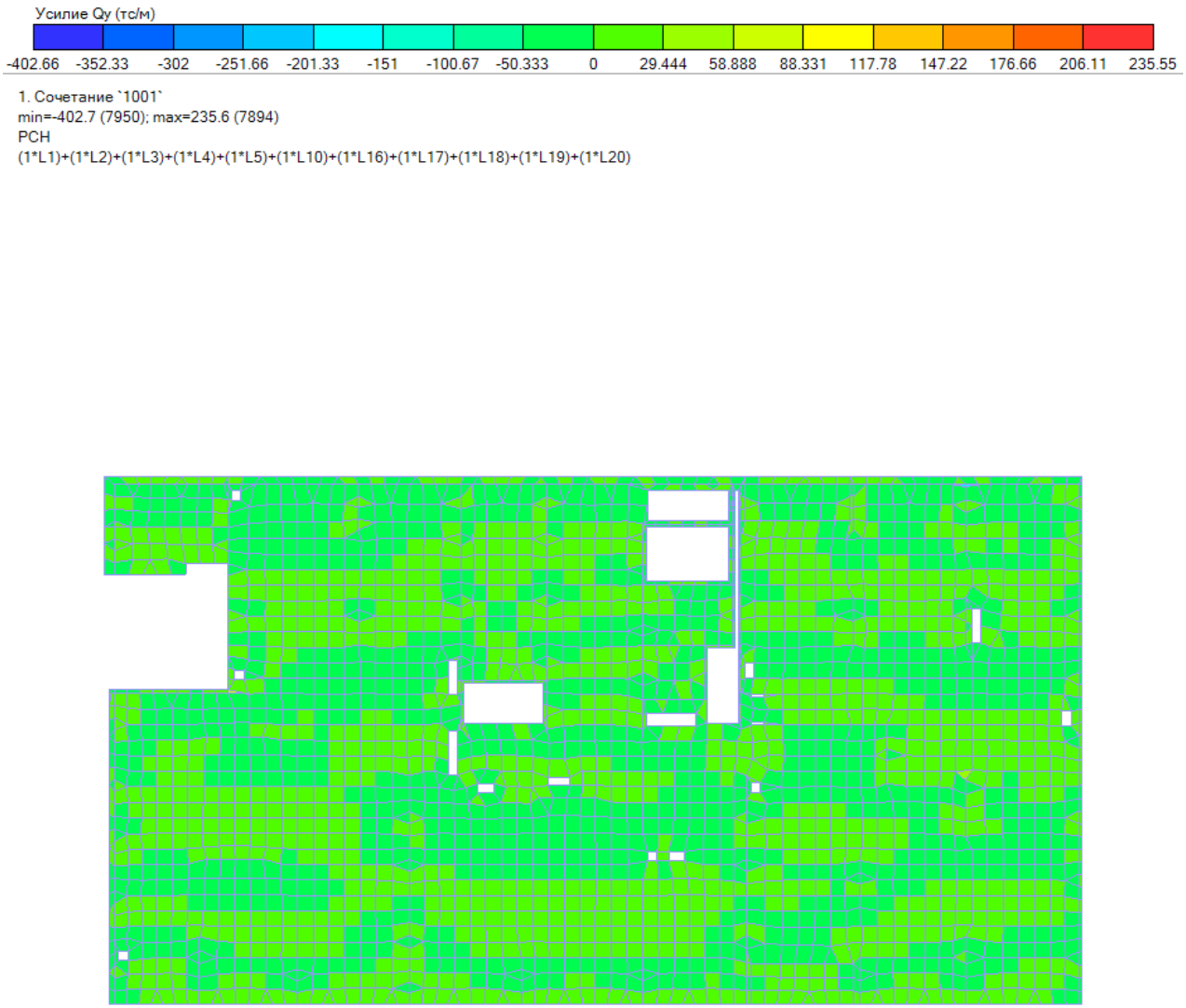
Изополя усилия My, тс*м/м







Изополя усилия Qx, тс/м



Изополя усилия Qy, тс/м

Проверка сечения плиты в/о 2.5-2.7/2.Б-2.В на отм. -0.100 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)

Проверка изгибаемого элемента на образование трещин и ширины их раскрытия. Методика расчета принята согласно СП 63.13330.2018. Рассматриваются трещины нормальные к продольной оси элемента. Сечение прямоугольное.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Изгибающий момент от полной нагрузки $M = 27\text{кНм}$
- Изгибающий момент от постоянной и длительной нагрузки $M_l = 25.65\text{кНм}$
- Продольная сила от полной нагрузки $N = -14.6\text{кН}$
- Продольная сила от постоянной и длительной нагрузки $N_l = -13.87\text{кН}$

ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЯ

- Ширина сечения $b = 100\text{см} = 1\text{м}$
- Высота сечения $h = 20\text{см} = 0.2\text{м}$
- Расстояние от грани до центра растянутой арматуры $a = 4\text{см} = 0.04\text{м}$
- Расстояние от грани до центра сжатой арматуры $a' = 3\text{см} = 0.03\text{м}$
- Площадь растянутой арматуры $A_s = 6.8\text{см}^2 = 0.68 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- Площадь сжатой арматуры $A'_s = 3.9\text{см}^2 = 0.39 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- Диаметр арматуры $d_s = 12\text{мм} = 0.012\text{м}$
- Предельно допустимая ширина продолжительного раскрытия трещин $a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм} = 0.0003\text{м}$
- Предельно допустимая ширина непродолжительного раскрытия трещин $a_{crc,ult} = 0.4\text{мм} = 0.0004\text{м}$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

- Класс бетона В30
- Начальный модуль упругости $E_b = 32500000\text{кПа}$
- Нормативное сопротивление сжатию $R_{bn} = 22000\text{кПа}$
- Нормативное сопротивление растяжению $R_{bt,ser} = 1750\text{кПа}$
- Относительные деформации бетона $\varepsilon_{b1,red} = 0.0015$

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

- Класс арматуры А500
- Модуль упругости $E_s = 200000000\text{кПа}$

РАСЧЕТ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ

$$h_0 = 0.2 - 0.04 = 0.16\text{м}$$

$$h_0' = 0.2 - 0.03 = 0.17\text{м}$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{200000000}{32500000} = 6.15$$

$$A = bh = 1 \cdot 0.2 = 0.2\text{м}^2$$

$$A_{red} = A + \alpha(A_s + A_s') = 0.2 + 6.15(0.68 \cdot 10^{-3} + 0.39 \cdot 10^{-3}) = 0.2066\text{м}^2$$

$$S_{t,red} = \frac{Ah}{2} + \alpha(A_{sa} + A_s'h_0') = \frac{0.2 \cdot 0.2}{2} + 6.15(0.68 \cdot 10^{-3} \cdot 0.04 + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.17) = 0.0206\text{м}^3$$

$$y_t = \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = \frac{0.0206}{0.2066} = 0.1\text{м}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} + A\left(\frac{h}{2} - y_t\right)^2 = 1 \cdot \frac{0.2^3}{12} + 0.2\left(\frac{0.2}{2} - 0.1\right)^2 = 0.67 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_s = \alpha A_s(y_t - a)^2 = 6.15 \cdot (0.68 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.1 - 0.04)^2 = 0.01 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_s' = \alpha A_s'(h_0' - y_t)^2 = 6.15 \cdot (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.17 - 0.1)^2 = 0.01 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_{red} = I + I_s + I_s' = 0.67 \cdot 10^{-3} + 0.01 \cdot 10^{-3} + 0.01 \cdot 10^{-3} = 0.69 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_t} = \frac{0.69 \cdot 10^{-3}}{0.1} = 0.007\text{м}^3$$

$$W_{pl} = 1.3W_{red} = 1.3 \cdot 0.007 = 0.0091\text{м}^3$$

$$e_x = \frac{W_{red}}{A_{red}} = \frac{0.007}{0.2066} = 0.034\text{м}$$

$$M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} + Ne_x = 1750 \cdot 0.0091 + 14.6 \cdot 0.034 = 16.33\text{кНм}$$

$$M = 27\text{кНм} > M_{crc} = 16.33\text{кНм}, \text{трещины образуются}$$

$$E_{b,red} = \frac{R_{b,n}}{\varepsilon_{b1,red}} = \frac{22000}{0.0015} = 14666667\text{кН/м}$$

$$\alpha_{s,1} = \frac{E_s}{E_{b,red}} = \frac{200000000}{14666667} = 13.636$$

$$\alpha_{s,2} = \alpha_{s,1} = 13.636$$

$$\mu_s = \frac{A_s}{bh_0} = \frac{0.68 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0.16} = 0.0042$$

$$\mu_s' = \frac{A_s'}{bh_0} = \frac{0.39 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0.16} = 0.0025$$

$$x_M = h_0\left(\sqrt{\left(\mu_s\alpha_{s,2}+\mu'_s\alpha_{s,1}\right)^2+2\left(\mu_s\alpha_{s,2}+\mu'_s\alpha_{s,1}a'/h_0\right)}-\left(\mu_s\alpha_{s,2}+\mu'_s\alpha_{s,1}\right)\right)$$

$$= 0.16\left(\sqrt{(0.0042\cdot 13.636+0.0025\cdot 13.636)^2+2(0.0042\cdot 13.636+0.0025\cdot 13.636\cdot 0.03/0.16)}\right.$$

$$\left.-(0.0042\cdot 13.636+0.0025\cdot 13.636)\right) = 0.045\text{м}$$

$$x_m = x_M + \frac{I_{red}N_l}{A_{red}M_l} = 0.045 - \frac{6.935E-004\cdot 13.87}{0.207\cdot 25.65} = 0.046\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.046\cdot 1 = 0.0463\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0463 + 13.636\cdot 0.39\cdot 10^{-3} + 13.636\cdot 0.68\cdot 10^{-3} = 0.061\text{м}^2$$

$$S_{t,red} = A_b\left(h-\frac{x_m}{2}\right) + A'_s h'_0\alpha_{s,1} + A_s a\,\alpha_{s,2}$$

$$= 0.0463\left(0.2-\frac{0.046}{2}\right) + (0.39\cdot 10^{-3})\cdot 0.17\cdot 13.636 + (0.68\cdot 10^{-3})\cdot 0.16$$

$$\cdot 13.636 = 0.0095\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.2 - \frac{0.0095}{0.061} = 0.045\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0-y_c)^2 = (0.68\cdot 10^{-3})\cdot(0.16-0.045)^2 = 9.050E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c-a')^2 = (0.39\cdot 10^{-3})\cdot(0.045-0.03)^2 = 8.324E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1\cdot\frac{0.045^3}{12} + 0.045\cdot 1\left(\frac{0.045}{2}\right) = 2.948E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 2.948E-005 + 9.050E-006\cdot 13.636 + 8.324E-008\cdot 13.636$$

$$= 1.540E-004\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.2 - 0.046 = 0.154\text{м}$$

x_t принимается в пределах не менее $2a = 2\cdot 0.04 = 0.08$м и не более $0.5h = 0.5\cdot 0.2 = 0.1$м

Принимаем $x_t = 0.5h = 0.5\cdot 0.2 = 0.1$м

$$A_{bt} = bx_t = 1\cdot 0.1 = 0.1\text{м}^2$$

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.1}{0.68\cdot 10^{-3}}\,0.012 = 0.884\text{м}$$

l_s принимается в пределах не менее $10d_s = 10\cdot 0.012 = 0.12$м и 0.1м и не более $40d_s = 40\cdot 0.012 = 0.48$м и 0.4м

Принимаем $l_s = 0.4$м

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

$$\varphi_1 = 1.40;\ \varphi_2 = 0.50;\ \varphi_3 = 1.00$$

$$\sigma_s = \left(\frac{M_l(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{25.65(0.16 - 0.045)}{1.540E-004} + \frac{-13.87}{0.061}\right)13.636 = 259072\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{16.33(0.16 - 0.045)}{1.540E-004} + \frac{-13.87}{0.061}\right)13.636 = 163833\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\ \frac{163832.78}{259071.93} = 0.494$$

$$a_{crc1} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.494\ \frac{259072}{200000000}\ 0.4 = 0.000179\text{м} = 0.179\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

$$\varphi_1 = 1.00;\ \varphi_2 = 0.50;\ \varphi_3 = 1.00$$

$$a_{crc3} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.494\ \frac{259072}{200000000}\ 0.4 = 0.000128\text{м} = 0.128\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК

$$x_m = x_M + \frac{I_{red}N}{A_{red}M} = 0.045\ - \frac{6.935E-004 \cdot 14.6}{0.207 \cdot 27} = 0.046\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.046 \cdot 1 = 0.0463\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0463 + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 0.68 \cdot 10^{-3} = 0.061\text{м}^2$$

$$S_{t,red} = A_b\left(h - \frac{x_m}{2}\right) + A'_s h'_0\alpha_{s,1} + A_s a\alpha_{s,2}$$

$$= 0.0463\left(0.2 - \frac{0.046}{2}\right) + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.17 \cdot 13.636 + (0.68 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.16 \cdot 13.636$$

$$= 0.0095\text{м}^3$$

$$y_c = h\ - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.2\ - \frac{0.0095}{0.061} = 0.045\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c) = (0.68 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.16\ - 0.045) = 9.050E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a') = (0.39 \cdot 10^{-3})(0.045\ - 0.03) = 8.324E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.045^3}{12} + 0.045 \cdot 1\left(\frac{0.045}{2}\right) = 2.948E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 2.948E-005 + 9.050E-006 \cdot 13.636 + 8.324E-008 \cdot 13.636 = 1.540E-004\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.2 - 0.046 = 0.154\text{м}$$

x_t принимается в пределах не менее $2a = 2 \cdot 0.04 = 0.08$м и не более $0.5h = 0.5 \cdot 0.2 = 0.1$м

Принимаем $x_t = 0.5h = 0.5 \cdot 0.2 = 0.1$м

$$A_{bt} = bx_t = 1 \cdot 0.1 = 0.1\text{м}^2$$

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.1}{0.68 \cdot 10^{-3}}\,0.012 = 0.884\text{м}$$

l_s принимается в пределах не менее $10d_s = 10 \cdot 0.012 = 0.12$м и 0.1м и не более $40d_s = 40 \cdot 0.012 = 0.48$м и 0.4м

Принимаем $l_s = 0.4$м

$$\sigma_s = \left(\frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{27(0.16 - 0.045)}{1.540E-004} + \frac{-14.6}{0.061}\right)13.636 = 272707\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{16.33(0.16 - 0.045)}{1.540E-004} + \frac{-14.6}{0.061}\right)13.636 = 163669\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\,\frac{163669.48}{272707.3} = 0.52$$

$$\varphi_1 = 1.00;\ \varphi_2 = 0.50;\ \varphi_3 = 1.00$$

$$a_{crc2} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.52\,\frac{272707}{200000000}\,0.4 = 0.000128\text{м} = 0.128\text{мм}$$

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

$$a_{crc1} = 0.179\text{мм} \le a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм}$$

Ширина продолжительного раскрытия трещин не превышает предельной

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.000179 + 0.000142 - 0.000128 = 0.000193\text{м} = 0.193\ \text{мм}$$

$$a_{crc} = 0.193\text{мм} \le a_{crc,ult} = 0.4\text{мм}$$

Ширина непродолжительного раскрытия трещин не превышает предельной.

ПРОВЕРКА ПО ПЕРВОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

$$R_s = 435000\text{кПа}$$

$$R_{sc} = 435000\text{кПа}$$

$$R_b = 17000\text{кПа}$$

$$\varepsilon_{b2} = 0.0042$$

$$\varepsilon_{s,el} = \frac{R_s}{E_s} = \frac{435000}{200000000} = 0.002175$$

$$\xi_R = \frac{0.8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b2}}} = 0.493$$

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b} = \frac{435000 \cdot 0.000679 - 435000 \cdot 0.000393}{17000 \cdot 1} = 0.007\text{м}$$

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{0.007}{0.16} = 0.046$$

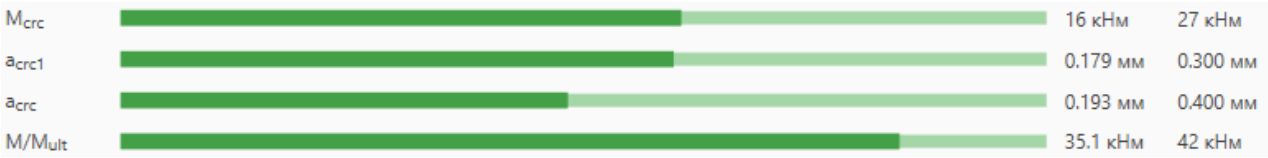
$$\xi = 0.046 < \xi_R = 0.493$$

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0.5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$
$$= 17000 \cdot 1 \cdot 0.007(0.16 - 0.5 \cdot 0.007) + 435000 \cdot 0.000393(0.16 - 0.03)$$
$$= 42\text{кНм}$$

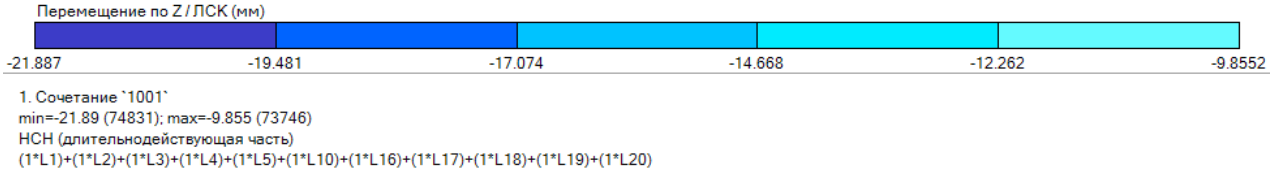
$$M = 35\text{кНм} < M_{ult} = 42\text{кНм}$$

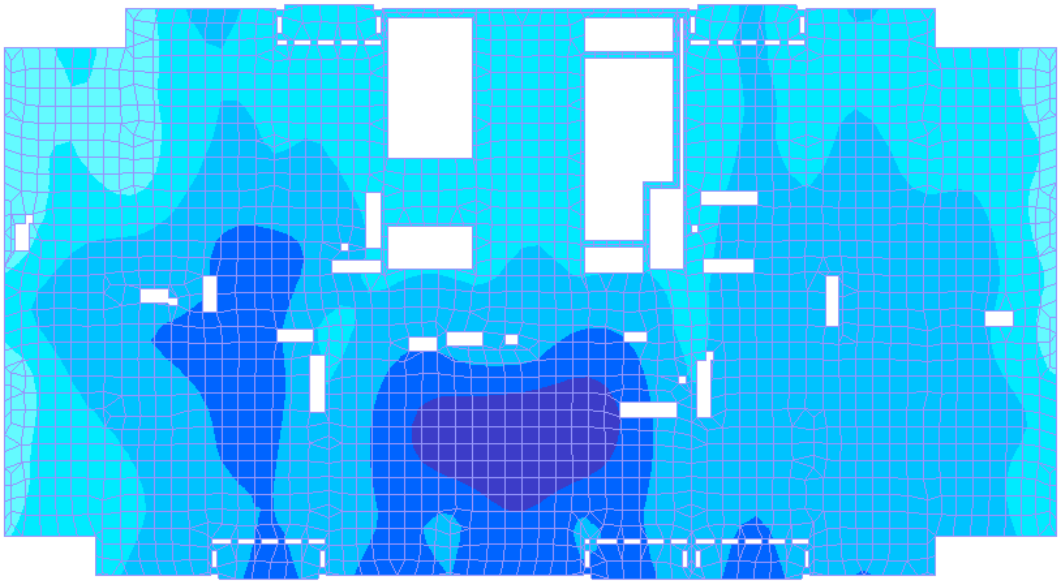
Условие прочности выполняется

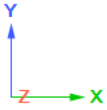
Коэффициент использования 0.8422



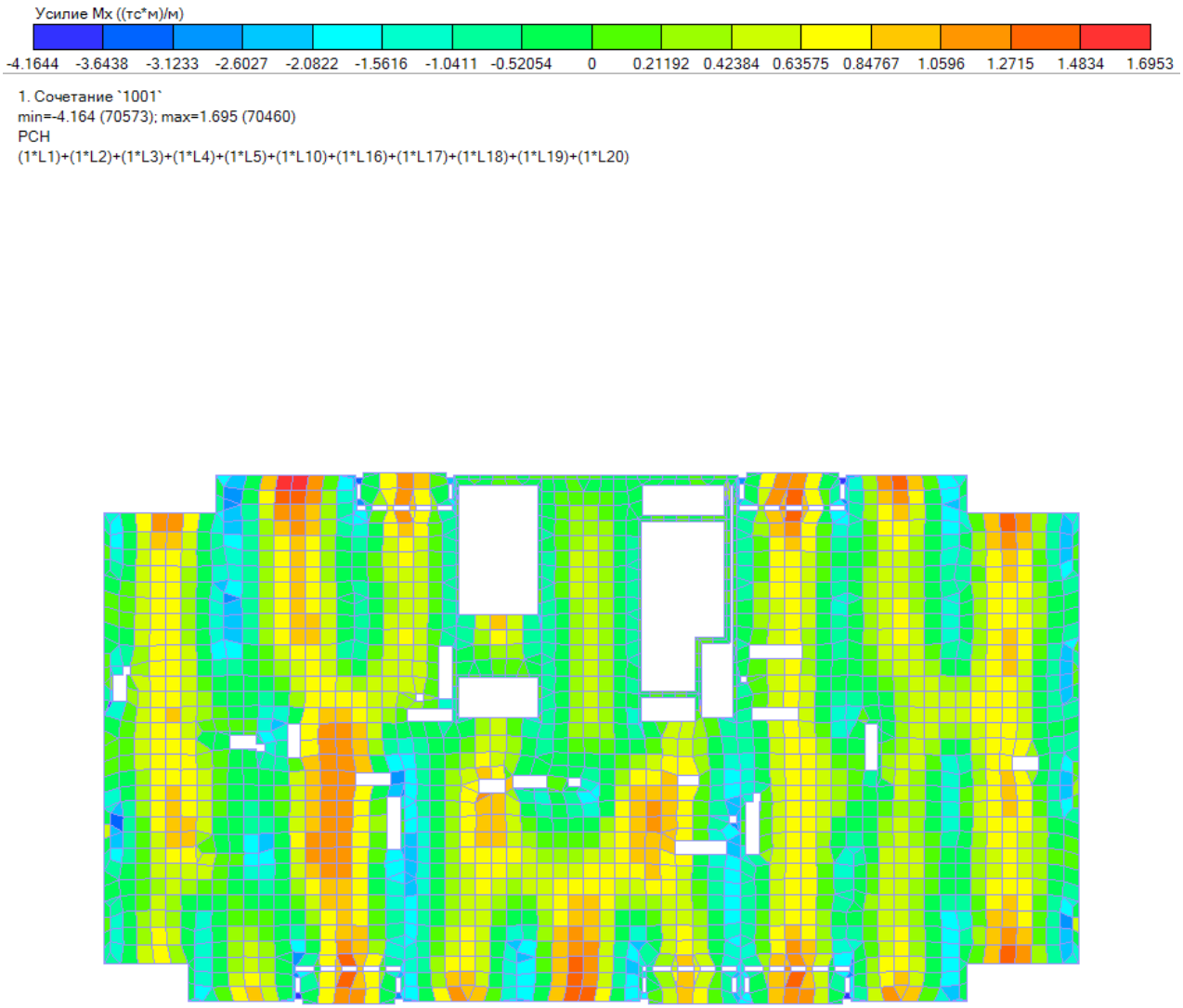
2.2. РАСЧЕТ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ НА ОТМ. +4.250, +7.250, +10.250, +13.250, +16.250, +19.250, +22.250, +25.250, +26.900, +28.250, +31.250, +34.250, +37.250, +40.250, +43.250, +46.250, +49.250, +52.250, +55.250, +58.250, +61.250, +64.250, +67.250, +70.250, +73.250 (ТИПОВОЙ ЭТАЖ)



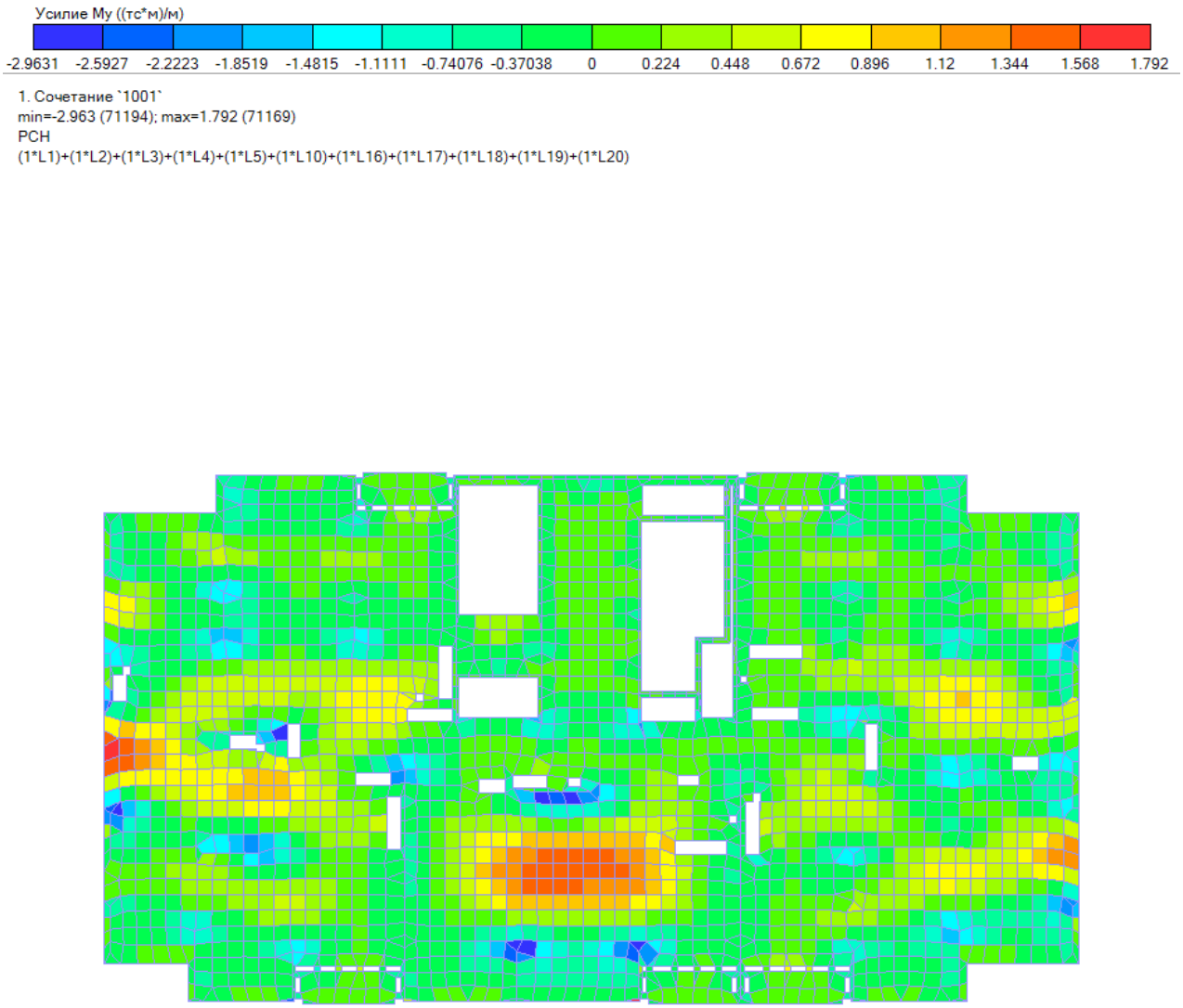




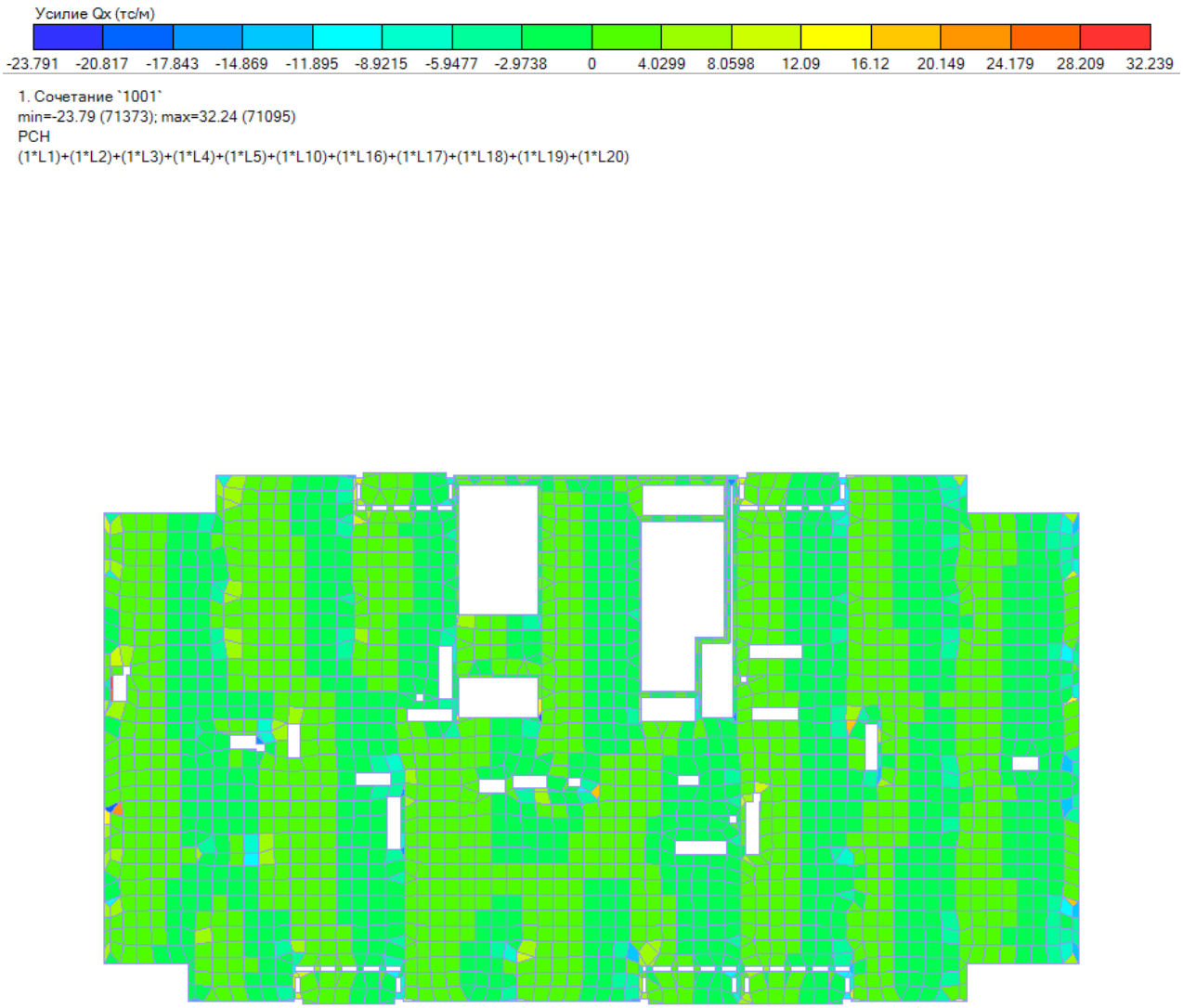
Изополя перемещения по Z, мм



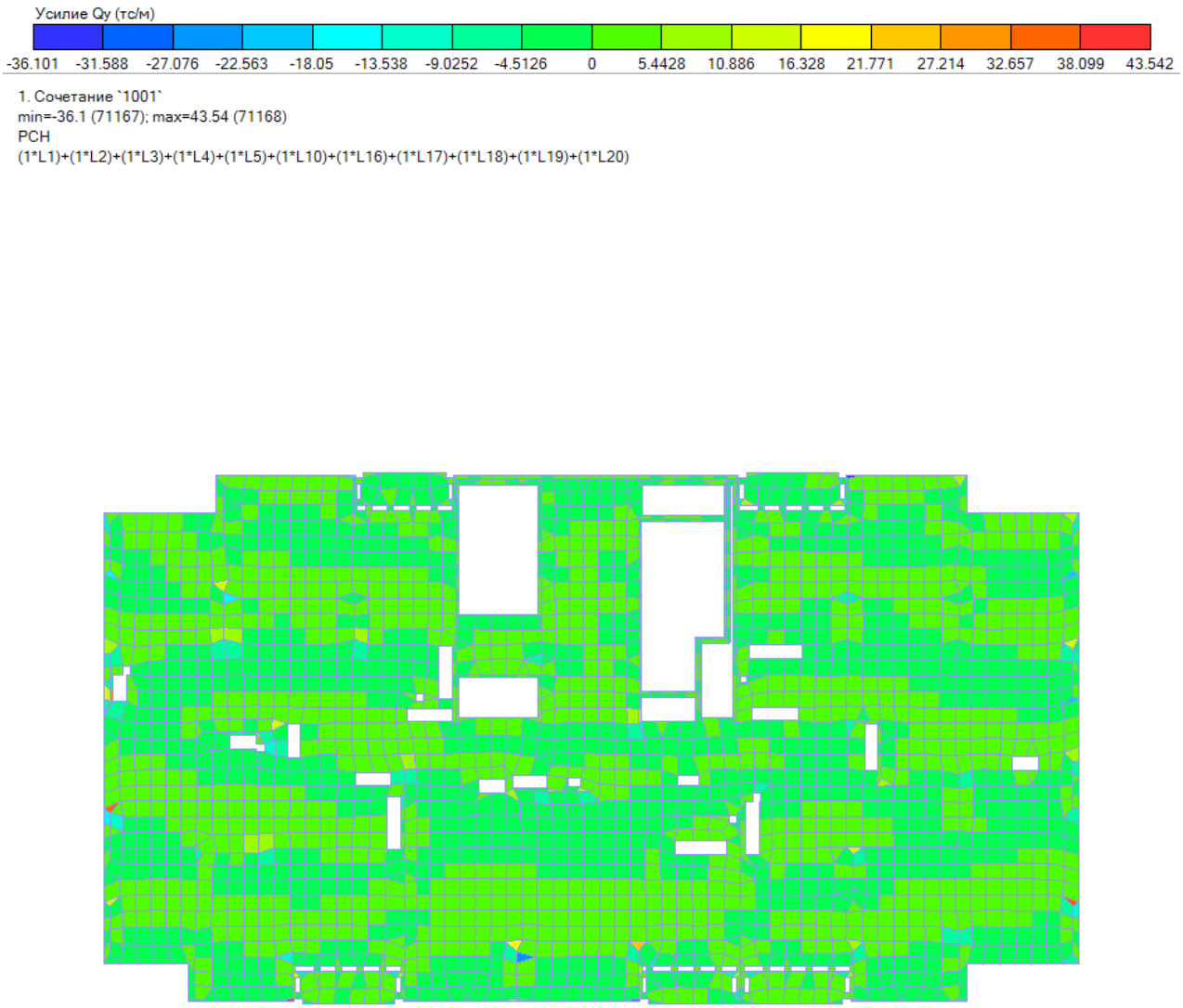
Изополя усилия Mx, тс*м/м



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qx, тс/м



Изополя усилия Qy, тс/м

Проверка сечения плиты в/о 2.5-2.7/2.Б-2.В на отм. +4.250...-73.250 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)

Проверка изгибаемого элемента на образование трещин и ширины их раскрытия. Методика расчета принята согласно СП 63.13330.2018. Рассматриваются трещины нормальные к продольной оси элемента. Сечение прямоугольное.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Изгибающий момент от полной нагрузки $M = 12.9\text{кНм}$
- Изгибающий момент от постоянной и длительной нагрузки $M_l = 12.26\text{кНм}$
- Продольная сила от полной нагрузки $N = 18.6\text{кН}$
- Продольная сила от постоянной и длительной нагрузки $N_l = 17.67\text{кН}$

ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЯ

- Ширина сечения $b = 100\text{см} = 1\text{м}$
- Высота сечения $h = 18\text{см} = 0.18\text{м}$
- Расстояние от грани до центра растянутой арматуры $a = 4\text{см} = 0.04\text{м}$
- Расстояние от грани до центра сжатой арматуры $a' = 3\text{см} = 0.03\text{м}$
- Площадь растянутой арматуры $A_s = 3.9\text{см}^2 = 0.39 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- Площадь сжатой арматуры $A'_s = 3.9\text{см}^2 = 0.39 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- Диаметр арматуры $d_s = 10\text{мм} = 0.01\text{м}$
- Предельно допустимая ширина продолжительного раскрытия трещин $a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм} = 0.0003\text{м}$
- Предельно допустимая ширина непродолжительного раскрытия трещин $a_{crc,ult} = 0.4\text{мм} = 0.0004\text{м}$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

- Класс бетона B30
- Начальный модуль упругости $E_b = 32500000\text{кПа}$
- Нормативное сопротивление сжатию $R_{bn} = 22000\text{кПа}$
- Нормативное сопротивление растяжению $R_{bt,ser} = 1750\text{кПа}$
- Относительные деформации бетона $\varepsilon_{b1,red} = 0.0015$

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

- Класс арматуры A500
- Модуль упругости $E_s = 200000000\text{кПа}$

РАСЧЕТ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ

$$h_0 = 0.18 - 0.04 = 0.14\text{м}$$

$$h_0' = 0.18 - 0.03 = 0.15\text{м}$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{200000000}{32500000} = 6.15$$

$$A = bh = 1 \cdot 0.18 = 0.18\text{м}^2$$

$$A_{red} = A + \alpha(A_s + A_s') = 0.18 + 6.15(0.39 \cdot 10^{-3} + 0.39 \cdot 10^{-3}) = 0.1848\text{м}^2$$

$$S_{t,red} = \frac{Ah}{2} + \alpha(A_{sa} + A_s'h_0') = \frac{0.18 \cdot 0.18}{2} + 6.15(0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.04 + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.15) = 0.0167\text{м}^3$$

$$y_t = \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = \frac{0.0167}{0.1848} = 0.09\text{м}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} + A\left(\frac{h}{2} - y_t\right)^2 = 1 \cdot \frac{0.18^3}{12} + 0.18\left(\frac{0.18}{2} - 0.09\right)^2 = 0.49 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_s = \alpha A_s(y_t - a)^2 = 6.15 \cdot (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.09 - 0.04)^2 = 0.01 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_s' = \alpha A_s'(h_0' - y_t)^2 = 6.15 \cdot (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.15 - 0.09)^2 = 0.01 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_{red} = I + I_s + I_s' = 0.49 \cdot 10^{-3} + 0.01 \cdot 10^{-3} + 0.01 \cdot 10^{-3} = 0.5 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_t} = \frac{0.5 \cdot 10^{-3}}{0.09} = 0.0056\text{м}^3$$

$$W_{pl} = 1.3W_{red} = 1.3 \cdot 0.0056 = 0.0072\text{м}^3$$

$$e_x = \frac{W_{red}}{A_{red}} = \frac{0.0056}{0.1848} = 0.03\text{м}$$

$$M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} - Ne_x = 1750 \cdot 0.0072 - 18.6 \cdot 0.03 = 12.08\text{кНм}$$

$$M = 12.9\text{кНм} > M_{crc} = 12.08\text{кНм}, \text{трещины образуются}$$

$$E_{b,red} = \frac{R_{b,n}}{\varepsilon_{b1,red}} = \frac{22000}{0.0015} = 14666667\text{кН/м}$$

$$\alpha_{s,1} = \frac{E_s}{E_{b,red}} = \frac{200000000}{14666667} = 13.636$$

$$\alpha_{s,2} = \alpha_{s,1} = 13.636$$

$$\mu_s = \frac{A_s}{bh_0} = \frac{0.39 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0.14} = 0.0028$$

$$\mu_s' = \frac{A_s'}{bh_0} = \frac{0.39 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0.14} = 0.0028$$

$$x_M = h_0\left(\sqrt{\left(\mu_s\alpha_{s,2} + \mu'_s\alpha_{s,1}\right)^2 + 2\left(\mu_s\alpha_{s,2} + \mu'_s\alpha_{s,1}a'/h_0\right)} - \left(\mu_s\alpha_{s,2} + \mu'_s\alpha_{s,1}\right)\right)$$

$$= 0.14\left(\sqrt{(0.0028 \cdot 13.636 + 0.0028 \cdot 13.636)^2 + 2(0.0028 \cdot 13.636 + 0.0028 \cdot 13.636 \cdot 0.03/0.14)}\right.$$

$$\left. - (0.0028 \cdot 13.636 + 0.0028 \cdot 13.636)\right) = 0.033\text{м}$$

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N_l}{A_{red}M_l} = 0.033 + \frac{5.007E-004 \cdot 17.67}{0.185 \cdot 12.26} = 0.029\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.029 \cdot 1 = 0.0294\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0294 + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} = 0.0401\text{м}^2$$

$$S_{t,red} = A_b\left(h - \frac{x_m}{2}\right) + A'_s h'_0 \alpha_{s,1} + A_s a\,\alpha_{s,2}$$

$$= 0.0294\left(0.18 - \frac{0.029}{2}\right) + (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.15 \cdot 13.636 + (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.14 \cdot 13.636 = 0.0059\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.18 - \frac{0.0059}{0.0401} = 0.033\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c)^2 = (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.14 - 0.033)^2 = 4.459E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a')^2 = (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.033 - 0.03)^2 = 4.768E-009\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.033^3}{12} + 0.033 \cdot 1\left(\frac{0.033}{2}\right) = 1.251E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 1.251E-005 + 4.459E-006 \cdot 13.636 + 4.768E-009 \cdot 13.636 = 7.338E-005\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.18 - 0.029 = 0.151\text{м}$$

x_t принимается в пределах не менее $2a = 2 \cdot 0.04 = 0.08$м и не более $0.5h = 0.5 \cdot 0.18 = 0.09$м

Принимаем $x_t = 0.5h = 0.5 \cdot 0.18 = 0.09$м

$$A_{bt} = bx_t = 1 \cdot 0.09 = 0.09\text{м}^2$$

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.09}{0.39 \cdot 10^{-3}}\,0.01 = 1.145\text{м}$$

l_s принимается в пределах не менее $10d_s = 10 \cdot 0.01 = 0.1$м и 0.1м и не более $40d_s = 40 \cdot 0.01 = 0.4$м и 0.4м

Принимаем $l_s = 0.4$м

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

$$\varphi_1 = 1.40;\ \varphi_2 = 0.50;\ \varphi_3 = 1.20$$

$$\sigma_s = \left(\frac{M_l(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{12.26(0.14 - 0.033)}{7.338E - 005} + \frac{17.67}{0.0401}\right)13.636 = 248583\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{12.08(0.14 - 0.033)}{7.338E - 005} + \frac{17.67}{0.0401}\right)13.636 = 245126\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\ \frac{245126.24}{248582.62} = 0.211$$

$$a_{crc1} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.211\ \frac{248583}{200000000}\ 0.4 = 0.000088\text{м} = 0.088\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

$$\varphi_1 = 1.00;\ \varphi_2 = 0.50;\ \varphi_3 = 1.20$$

$$a_{crc3} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.211\ \frac{248583}{200000000}\ 0.4 = 0.000063\text{м} = 0.063\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N}{A_{red}M} = 0.033\ + \frac{5.007E - 004 \cdot 18.6}{0.185 \cdot 12.9} = 0.029\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.029 \cdot 1 = 0.0294\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0294 + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} = 0.0401\text{м}^2$$

$$S_{t,red} = A_b\left(h - \frac{x_m}{2}\right) + A'_s h'_0\alpha_{s,1} + A_s a\alpha_{s,2}$$

$$= 0.0294\left(0.18 - \frac{0.029}{2}\right) + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.15 \cdot 13.636 + (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.14$$

$$\cdot 13.636 = 0.0059\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.18 - \frac{0.0059}{0.0401} = 0.033\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c) = (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.14 - 0.033) = 4.459E - 006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a') = (0.39 \cdot 10^{-3})(0.033 - 0.03) = 4.768E - 009\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.033^3}{12} + 0.033 \cdot 1\left(\frac{0.033}{2}\right) = 1.251E - 005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 1.251E-005 + 4.459E-006 \cdot 13.636 + 4.768E-009 \cdot 13.636 = 7.338E-005\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.18 - 0.029 = 0.151\text{м}$$

x_t принимается в пределах не менее $2a = 2 \cdot 0.04 = 0.08$м и не более $0.5h = 0.5 \cdot 0.18 = 0.09$м

Принимаем $x_t = 0.5h = 0.5 \cdot 0.18 = 0.09$м

$$A_{bt} = bx_t = 1 \cdot 0.09 = 0.09\text{м}^2$$

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.09}{0.39 \cdot 10^{-3}}0.01 = 1.145\text{м}$$

l_s принимается в пределах не менее $10d_s = 10 \cdot 0.01 = 0.1$м и 0.1м и не более $40d_s = 40 \cdot 0.01 = 0.4$м и 0.4м

Принимаем $l_s = 0.4$м

$$\sigma_s = \left(\frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{12.9(0.14 - 0.033)}{7.338E-005} + \frac{18.6}{0.0401}\right)13.636 = 261666\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{12.08(0.14 - 0.033)}{7.338E-005} + \frac{18.6}{0.0401}\right)13.636 = 245442\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\frac{245442.45}{261665.92} = 0.25$$

$$\varphi_1 = 1.00;\ \varphi_2 = 0.50;\ \varphi_3 = 1.20$$

$$a_{crc2} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.25\frac{261666}{200000000}0.4 = 0.000063\text{м} = 0.063\text{мм}$$

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

$$a_{crc1} = 0.088\text{мм} \le a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм}$$

Ширина продолжительного раскрытия трещин не превышает предельной

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.000088 + 0.000078 - 0.000063 = 0.000104\text{м} = 0.104\ \text{мм}$$

$$a_{crc} = 0.104\text{мм} \le a_{crc,ult} = 0.4\text{мм}$$

Ширина непродолжительного раскрытия трещин не превышает предельной.

ПРОВЕРКА ПО ПЕРВОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

$$R_s = 435000\text{кПа}$$

$$R_{sc} = 435000\text{кПа}$$

$$R_b = 17000\text{кПа}$$

$$\varepsilon_{b2} = 0.0042$$

$$\varepsilon_{s,el} = \frac{R_s}{E_s} = \frac{435000}{200000000} = 0.002175$$

$$\xi_R = \frac{0.8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b2}}} = 0.493$$

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b} = \frac{435000 \cdot 0.000393 - 435000 \cdot 0.000393}{17000 \cdot 1} = 0\text{м}$$

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{0}{0.14} = 0$$

$$\xi = 0 < \xi_R = 0.493$$

$$R_s A_s = 435000 \cdot 0.000393 = 0{:}171\text{кН} = R_{sc} A'_s = 435000 \cdot 0.000393 = 0{:}171\text{кН}$$

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b} = \frac{435000 \cdot 0.000393}{17000 \cdot 1} = 0.01\text{м}$$

Так как $x = 0.01\text{м} < 2a' = 2 \cdot 0.03 = 0.08\text{м}$, то подставляется вместо a' значение x/2

$$M_{ult} = R_s A_s \left(h_0 - \frac{x}{2}\right) = 435000 \cdot 0.000393 \left(0.14 - \frac{0.01}{2}\right) = 23\text{кНм}$$

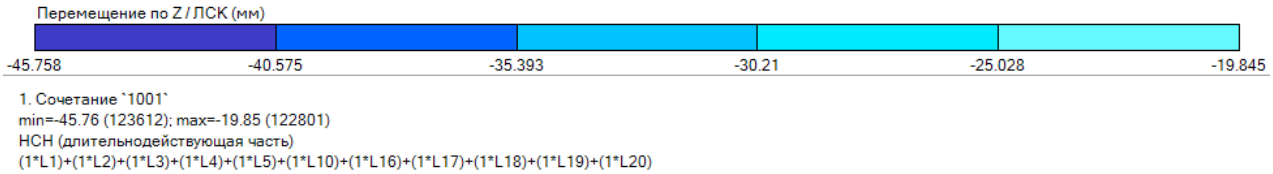
$$M = 17\text{кНм} < M_{ult} = 23\text{кНм}$$

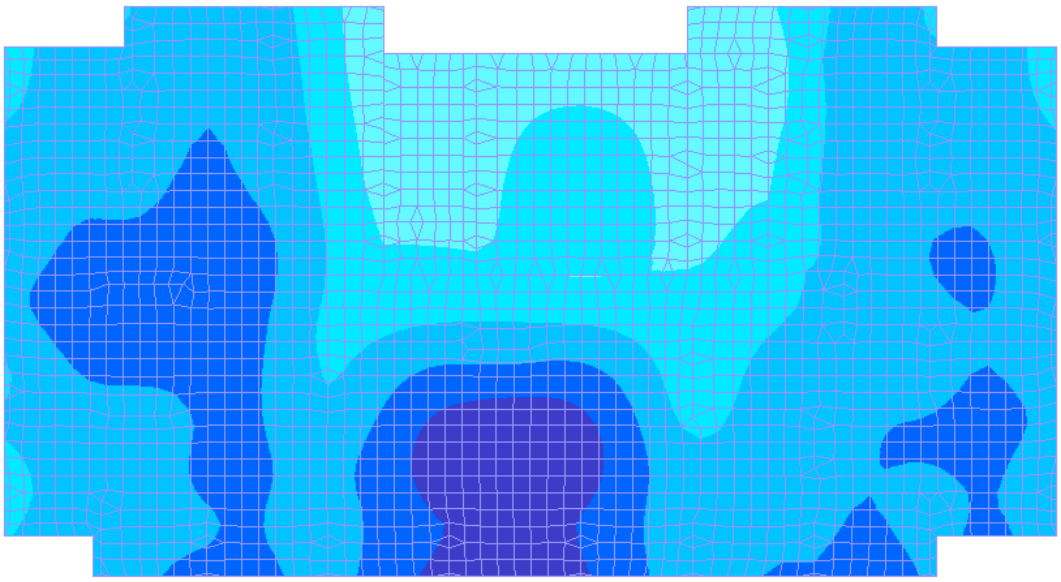
Условие прочности выполняется

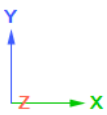
Коэффициент использования 0.7268



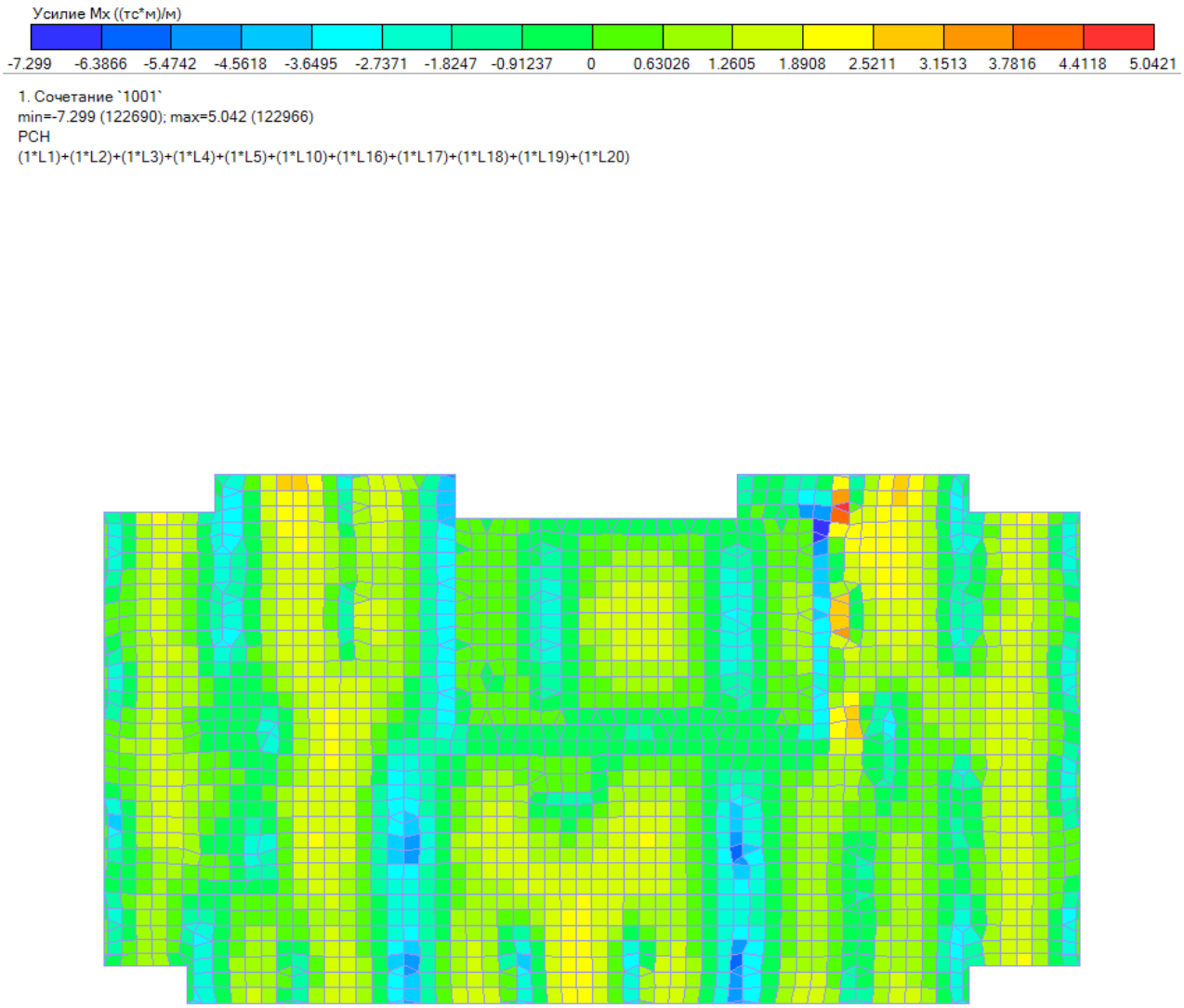
2.3. РАСЧЕТ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ НА ОТМ. +75.250



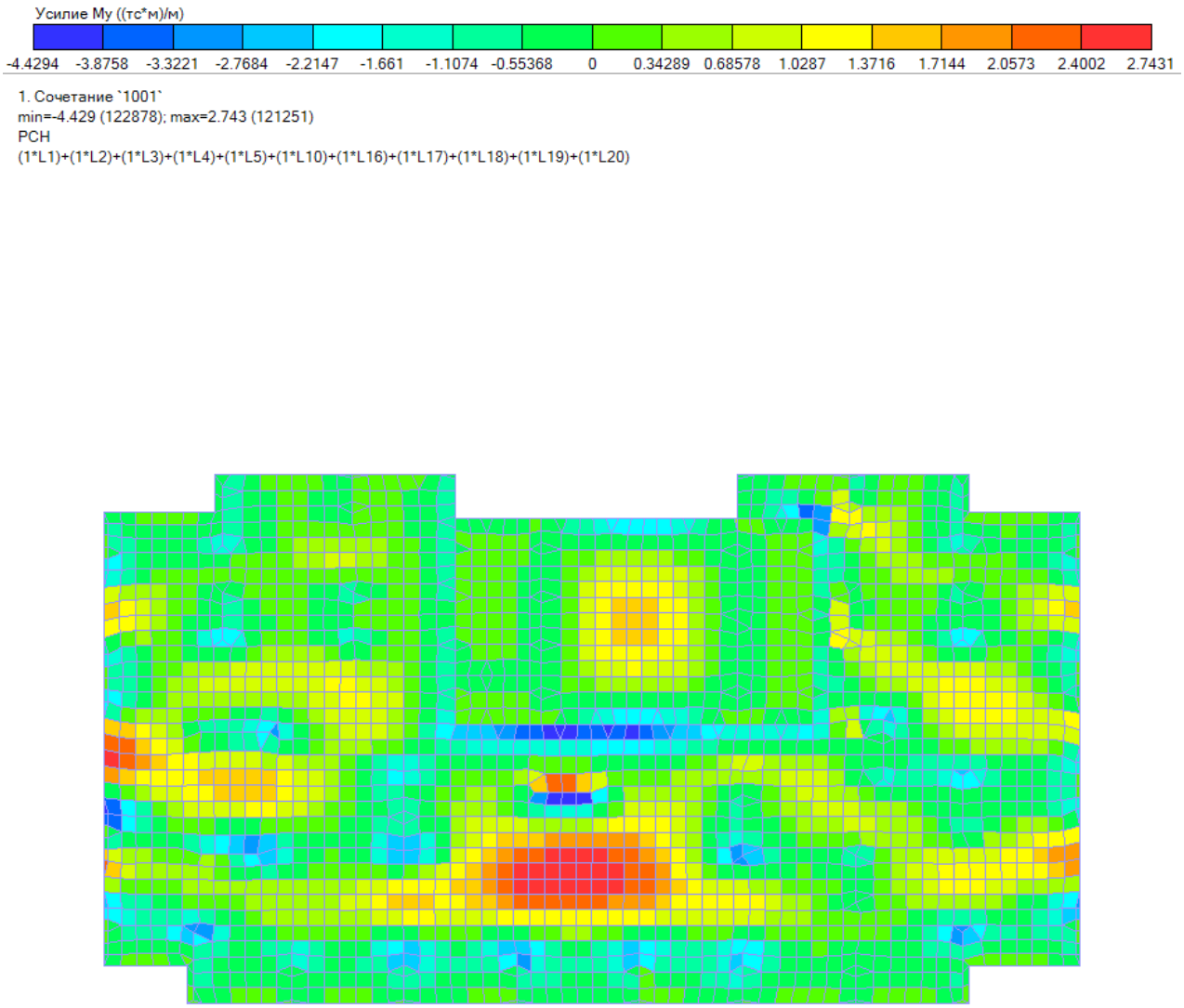




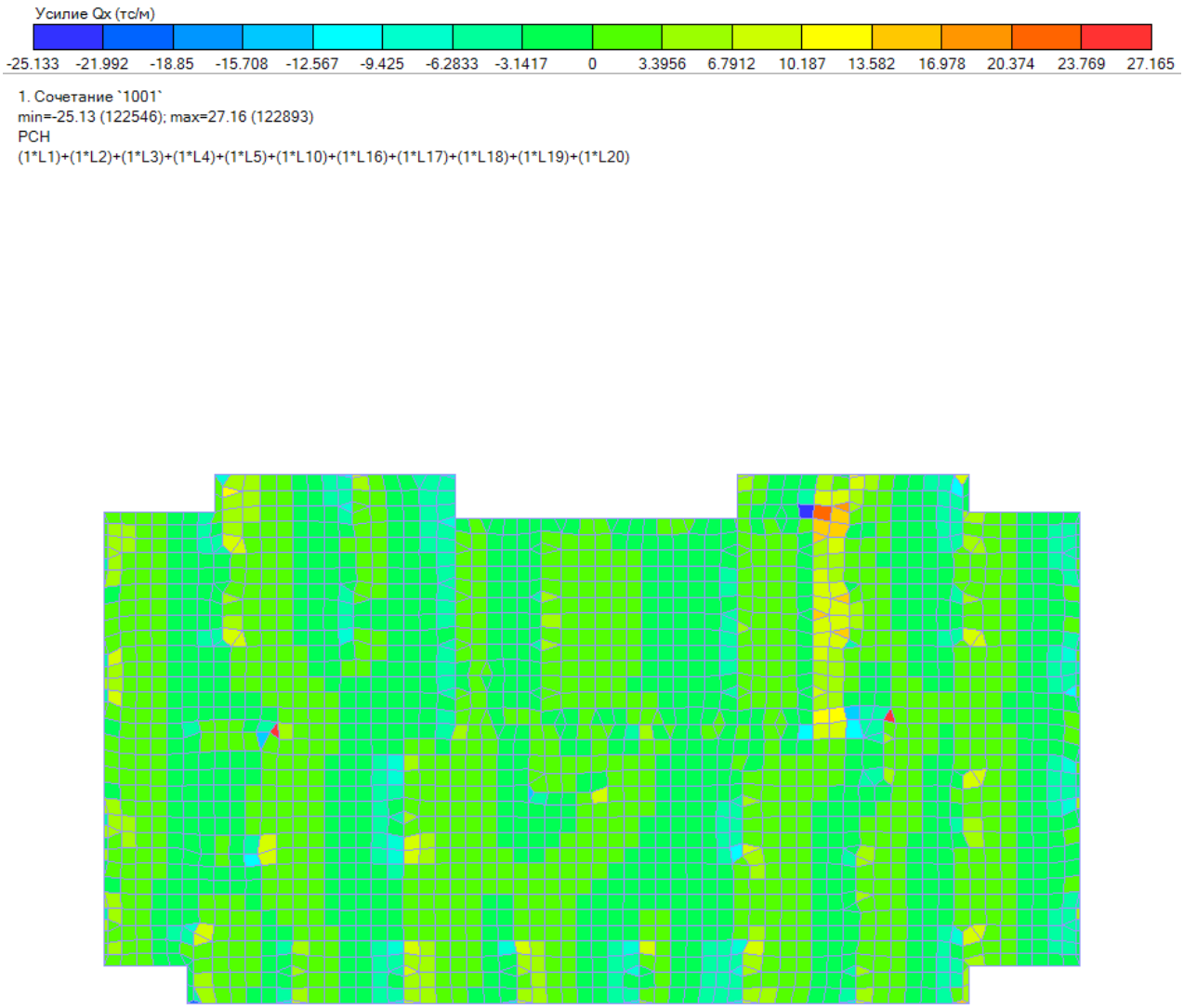
Изополя перемещения по Z, мм



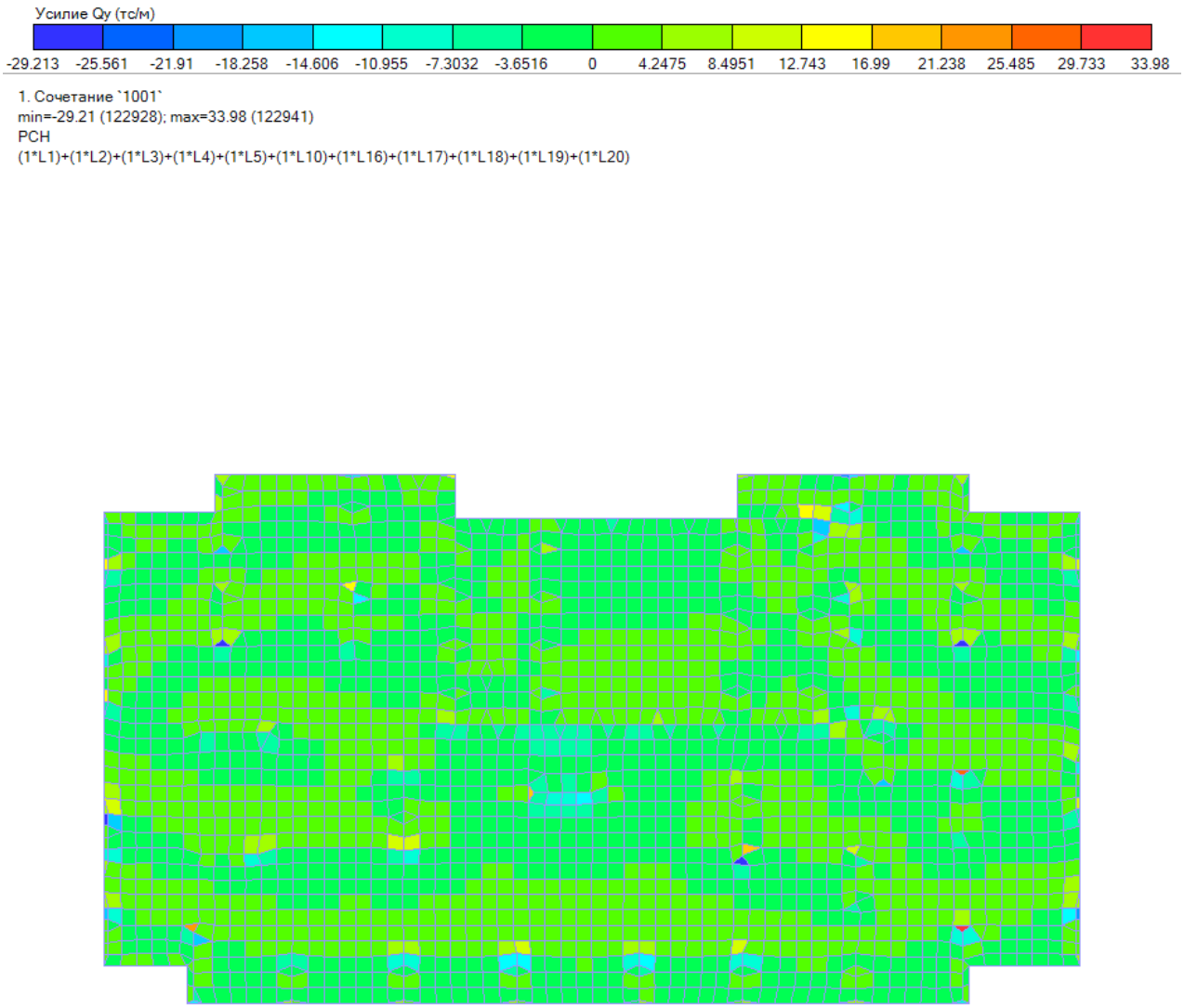
Изополя усилия Mx, тс*м/м



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qx, тс/м



Изополя усилия Qy, тс/м

Проверка сечения плиты в/о 2.5-2.7/2.А-2.Б на отм. +75.250 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)

Проверка изгибаемого элемента на образование трещин и ширины их раскрытия. Методика расчета принята согласно СП 63.13330.2018. Рассматриваются трещины нормальные к продольной оси элемента. Сечение прямоугольное.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Изгибающий момент от полной нагрузки $M = 21.2\text{кНм}$
- Изгибающий момент от постоянной и длительной нагрузки $M_l = 20.14\text{кНм}$
- Продольная сила от полной нагрузки $N = 14.1\text{кН}$
- Продольная сила от постоянной и длительной нагрузки $N_l = 13.4\text{кН}$

ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЯ

- Ширина сечения $b = 100\text{см} = 1\text{м}$
- Высота сечения $h = 20\text{см} = 0.2\text{м}$
- Расстояние от грани до центра растянутой арматуры $a = 4\text{см} = 0.04\text{м}$
- Расстояние от грани до центра сжатой арматуры $a' = 3\text{см} = 0.03\text{м}$
- Площадь растянутой арматуры $A_s = 5.7\text{см}^2 = 0.57 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- Площадь сжатой арматуры $A'_s = 3.9\text{см}^2 = 0.39 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- Диаметр арматуры $d_s = 12\text{мм} = 0.012\text{м}$
- Предельно допустимая ширина продолжительного раскрытия трещин $a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм} = 0.0003\text{м}$
- Предельно допустимая ширина непродолжительного раскрытия трещин $a_{crc,ult} = 0.4\text{мм} = 0.0004\text{м}$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

- Класс бетона В30
- Начальный модуль упругости $E_b = 32500000\text{кПа}$
- Нормативное сопротивление сжатию $R_{bn} = 22000\text{кПа}$
- Нормативное сопротивление растяжению $R_{bt,ser} = 1750\text{кПа}$
- Относительные деформации бетона $\varepsilon_{b1,red} = 0.0015$

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

- Класс арматуры А500
- Модуль упругости $E_s = 200000000\text{кПа}$

РАСЧЕТ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ

$$h_0 = 0.2 - 0.04 = 0.16\text{м}$$

$$h_0' = 0.2 - 0.03 = 0.17\text{м}$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{200000000}{32500000} = 6.15$$

$$A = bh = 1 \cdot 0.2 = 0.2\text{м}^2$$

$$A_{red} = A + \alpha(A_s + A_s') = 0.2 + 6.15(0.57 \cdot 10^{-3} + 0.39 \cdot 10^{-3}) = 0.2059\text{м}^2$$

$$S_{t,red} = \frac{Ah}{2} + \alpha(A_{sa} + A_s'h_0') = \frac{0.2 \cdot 0.2}{2} + 6.15(0.57 \cdot 10^{-3} \cdot 0.04 + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.17) = 0.0206\text{м}^3$$

$$y_t = \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = \frac{0.0206}{0.2059} = 0.1\text{м}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} + A\left(\frac{h}{2} - y_t\right)^2 = 1 \cdot \frac{0.2^3}{12} + 0.2\left(\frac{0.2}{2} - 0.1\right)^2 = 0.67 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_s = \alpha A_s(y_t - a)^2 = 6.15 \cdot (0.57 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.1 - 0.04)^2 = 0.01 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_s' = \alpha A_s'(h_0' - y_t)^2 = 6.15 \cdot (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.17 - 0.1)^2 = 0.01 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_{red} = I + I_s + I_s' = 0.67 \cdot 10^{-3} + 0.01 \cdot 10^{-3} + 0.01 \cdot 10^{-3} = 0.69 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_t} = \frac{0.69 \cdot 10^{-3}}{0.1} = 0.0069\text{м}^3$$

$$W_{pl} = 1.3W_{red} = 1.3 \cdot 0.0069 = 0.009\text{м}^3$$

$$e_x = \frac{W_{red}}{A_{red}} = \frac{0.0069}{0.2059} = 0.034\text{м}$$

$$M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} - Ne_x = 1750 \cdot 0.009 - 14.1 \cdot 0.034 = 15.28\text{кНм}$$

$$M = 21.2\text{кНм} > M_{crc} = 15.28\text{кНм, трещины образуются}$$

$$E_{b,red} = \frac{R_{b,n}}{\varepsilon_{b1,red}} = \frac{22000}{0.0015} = 14666667\text{кН/м}$$

$$\alpha_{s,1} = \frac{E_s}{E_{b,red}} = \frac{200000000}{14666667} = 13.636$$

$$\alpha_{s,2} = \alpha_{s,1} = 13.636$$

$$\mu_s = \frac{A_s}{bh_0} = \frac{0.57 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0.16} = 0.0035$$

$$\mu_s' = \frac{A_s'}{bh_0} = \frac{0.39 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0.16} = 0.0025$$

$$x_M = h_0\left(\sqrt{\left(\mu_s\alpha_{s,2}+\mu'_s\alpha_{s,1}\right)^2+2\left(\mu_s\alpha_{s,2}+\mu'_s\alpha_{s,1}a'/h_0\right)}-\left(\mu_s\alpha_{s,2}+\mu'_s\alpha_{s,1}\right)\right)$$

$$= 0.16\left(\sqrt{(0.0035\cdot 13.636+0.0025\cdot 13.636)^2+2(0.0035\cdot 13.636+0.0025\cdot 13.636\cdot 0.03/0.16)}\right.$$

$$\left.-(0.0035\cdot 13.636+0.0025\cdot 13.636)\right) = 0.041\text{м}$$

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N_l}{A_{red}M_l} = 0.041 + \frac{6.910E-004\cdot 13.4}{0.206\cdot 20.14} = 0.039\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.039\cdot 1 = 0.0391\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0391 + 13.636\cdot 0.39\cdot 10^{-3} + 13.636\cdot 0.57\cdot 10^{-3} = 0.0522\text{м}^2$$

$$S_{t,red} = A_b\left(h-\frac{x_m}{2}\right) + A'_s h'_0\alpha_{s,1} + A_s a\,\alpha_{s,2}$$

$$= 0.0391\left(0.2-\frac{0.039}{2}\right) + (0.39\cdot 10^{-3})\cdot 0.17\cdot 13.636 + (0.57\cdot 10^{-3})\cdot 0.16$$

$$\cdot 13.636 = 0.0083\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.2 - \frac{0.0083}{0.0522} = 0.041\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0-y_c)^2 = (0.57\cdot 10^{-3})\cdot(0.16-0.041)^2 = 7.951E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c-a')^2 = (0.39\cdot 10^{-3})\cdot(0.041-0.03)^2 = 5.079E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1\cdot\frac{0.041^3}{12} + 0.041\cdot 1\left(\frac{0.041}{2}\right) = 2.360E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 2.360E-005 + 7.951E-006\cdot 13.636 + 5.079E-008\cdot 13.636$$

$$= 1.327E-004\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.2 - 0.039 = 0.161\text{м}$$

x_t принимается в пределах не менее $2a = 2\cdot 0.04 = 0.08$м и не более $0.5h = 0.5\cdot 0.2 = 0.1$м

Принимаем $x_t = 0.5h = 0.5\cdot 0.2 = 0.1$м

$$A_{bt} = bx_t = 1\cdot 0.1 = 0.1\text{м}^2$$

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.1}{0.57\cdot 10^{-3}}\,0.012 = 1.062\text{м}$$

l_s принимается в пределах не менее $10d_s = 10\cdot 0.012 = 0.12$м и 0.1м и не более $40d_s = 40\cdot 0.012 = 0.48$м и 0.4м

Принимаем $l_s = 0.4$м

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

$$\varphi_1 = 1.40;\ \varphi_2 = 0.50;\ \varphi_3 = 1.20$$

$$\sigma_s = \left(\frac{M_l(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{20.14(0.16 - 0.041)}{1.327E-004} + \frac{13.4}{0.0522}\right)13.636 = 248984\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{15.28(0.16 - 0.041)}{1.327E-004} + \frac{13.4}{0.0522}\right)13.636 = 189708\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\ \frac{189707.89}{248984.25} = 0.39$$

$$a_{crc1} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.39\ \frac{248984}{200000000}\ 0.4 = 0.000163\text{м} = 0.163\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

$$\varphi_1 = 1.00;\ \varphi_2 = 0.50;\ \varphi_3 = 1.20$$

$$a_{crc3} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.39\ \frac{248984}{200000000}\ 0.4 = 0.000117\text{м} = 0.117\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N}{A_{red}M} = 0.041 + \frac{6.910E-004 \cdot 14.1}{0.206 \cdot 21.2} = 0.039\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.039 \cdot 1 = 0.0391\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0391 + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 0.57 \cdot 10^{-3} = 0.0522\text{м}^2$$

$$S_{t,red} = A_b\left(h - \frac{x_m}{2}\right) + A'_s h'_0\alpha_{s,1} + A_s a\alpha_{s,2}$$

$$= 0.0391\left(0.2 - \frac{0.039}{2}\right) + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.17 \cdot 13.636 + (0.57 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.16 \cdot 13.636$$

$$= 0.0083\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.2 - \frac{0.0083}{0.0522} = 0.041\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c) = (0.57 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.16 - 0.041) = 7.951E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a') = (0.39 \cdot 10^{-3})(0.041 - 0.03) = 5.079E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.041^3}{12} + 0.041 \cdot 1\left(\frac{0.041}{2}\right) = 2.360E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 2.360E-005 + 7.951E-006 \cdot 13.636 + 5.079E-008 \cdot 13.636 = 1.327E-004\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.2 - 0.039 = 0.161\text{м}$$

x_t принимается в пределах не менее $2a = 2 \cdot 0.04 = 0.08$м и не более $0.5h = 0.5 \cdot 0.2 = 0.1$м

Принимаем $x_t = 0.5h = 0.5 \cdot 0.2 = 0.1$м

$$A_{bt} = bx_t = 1 \cdot 0.1 = 0.1\text{м}^2$$

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.1}{0.57 \cdot 10^{-3}}\,0.012 = 1.062\text{м}$$

l_s принимается в пределах не менее $10d_s = 10 \cdot 0.012 = 0.12$м и 0.1м и не более $40d_s = 40 \cdot 0.012 = 0.48$м и 0.4м

Принимаем $l_s = 0.4$м

$$\sigma_s = \left(\frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{21.2(0.16 - 0.041)}{1.327E-004} + \frac{14.1}{0.0522}\right)13.636 = 262089\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{15.28(0.16 - 0.041)}{1.327E-004} + \frac{14.1}{0.0522}\right)13.636 = 189892\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\,\frac{189892.23}{262088.68} = 0.42$$

$$\varphi_1 = 1.00;\ \varphi_2 = 0.50;\ \varphi_3 = 1.20$$

$$a_{crc2} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.42\,\frac{262089}{200000000}\,0.4 = 0.000117\text{м} = 0.117\text{мм}$$

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

$$a_{crc1} = 0.163\text{мм} \le a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм}$$

Ширина продолжительного раскрытия трещин не превышает предельной

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.000163 + 0.000132 - 0.000117 = 0.000179\text{м} = 0.179\ \text{мм}$$

$$a_{crc} = 0.179\text{мм} \le a_{crc,ult} = 0.4\text{мм}$$

Ширина непродолжительного раскрытия трещин не превышает предельной.

ПРОВЕРКА ПО ПЕРВОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

$$R_s = 435000\text{кПа}$$

$$R_{sc} = 435000\text{кПа}$$

$$R_b = 17000\text{кПа}$$

$$\varepsilon_{b2} = 0.0042$$

$$\varepsilon_{s,el} = \frac{R_s}{E_s} = \frac{435000}{200000000} = 0.002175$$

$$\xi_R = \frac{0.8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b2}}} = 0.493$$

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b} = \frac{435000 \cdot 0.000565 - 435000 \cdot 0.000393}{17000 \cdot 1} = 0.004\text{м}$$

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{0.004}{0.16} = 0.028$$

$$\xi = 0.028 < \xi_R = 0.493$$

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0.5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$
$$= 17000 \cdot 1 \cdot 0.004(0.16 - 0.5 \cdot 0.004) + 435000 \cdot 0.000393(0.16 - 0.03)$$
$$= 34\text{кНм}$$

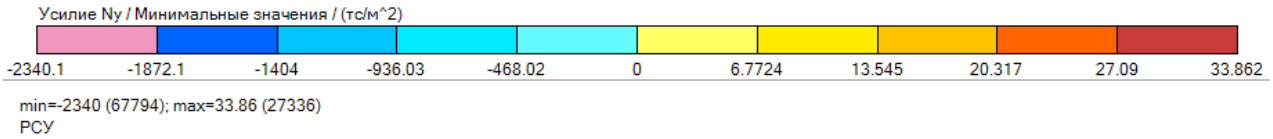
$$M = 28\text{кНм} < M_{ult} = 34\text{кНм}$$

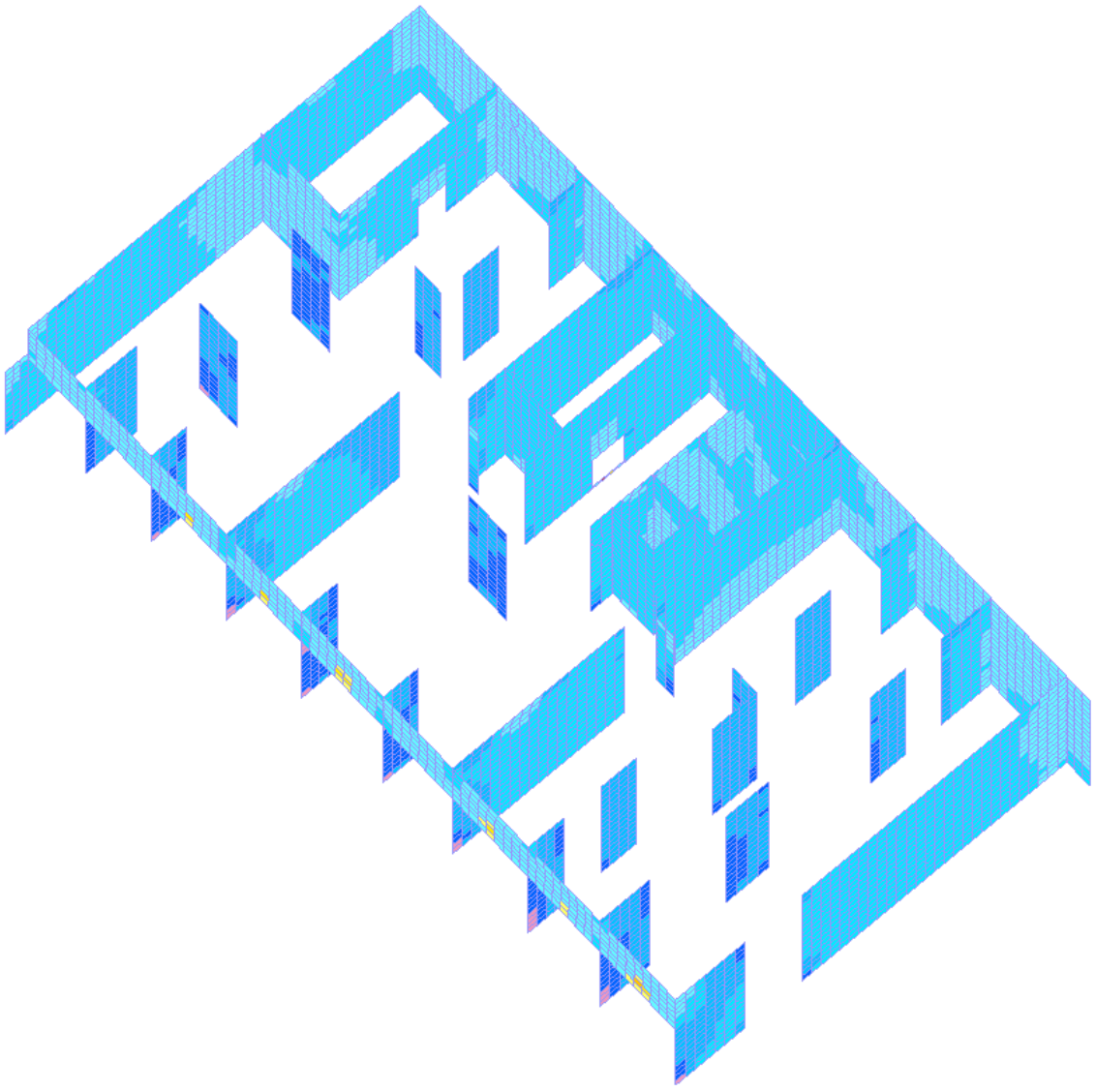
Условие прочности выполняется

Коэффициент использования 0.8099



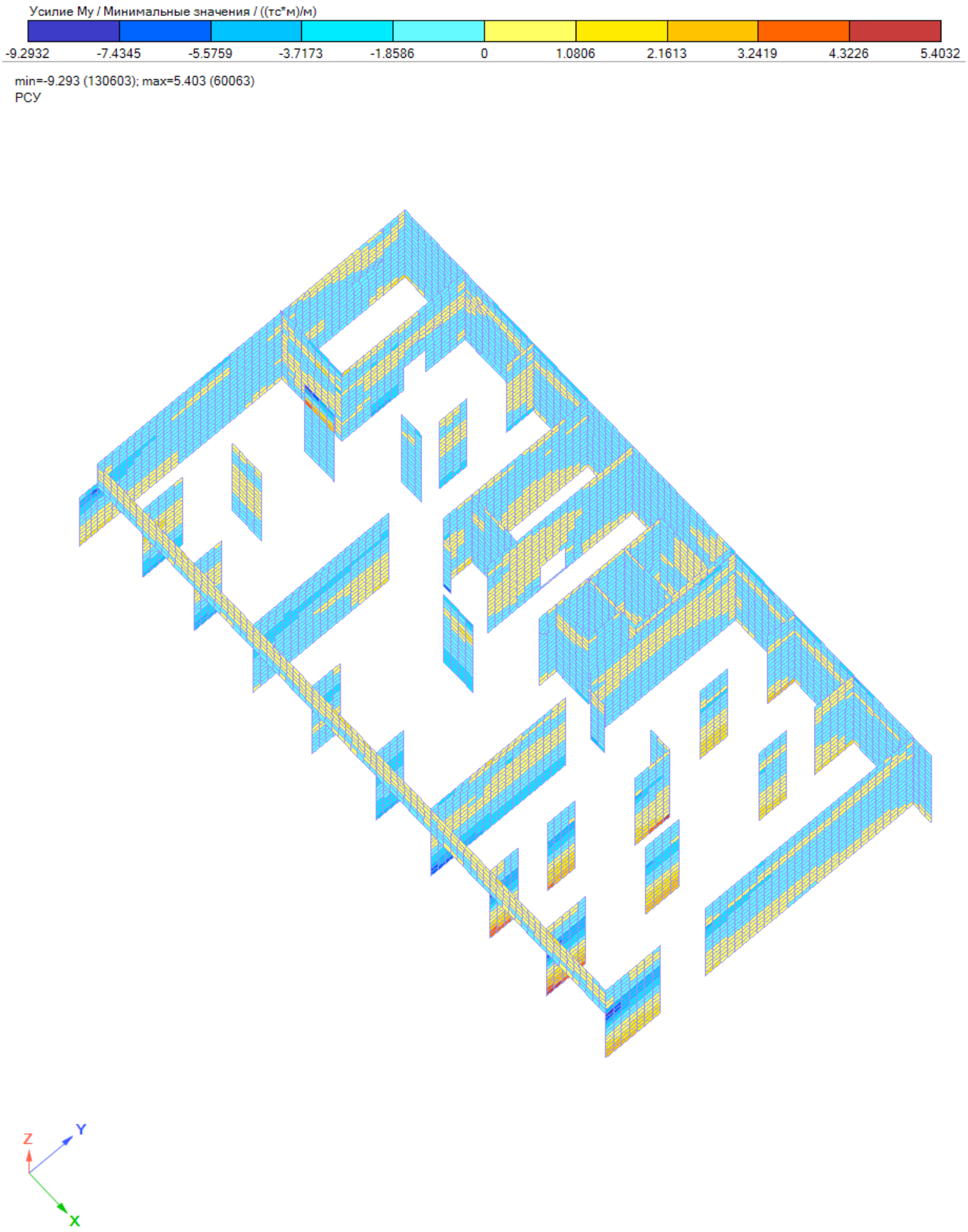
3. РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ОТМ. -7.200



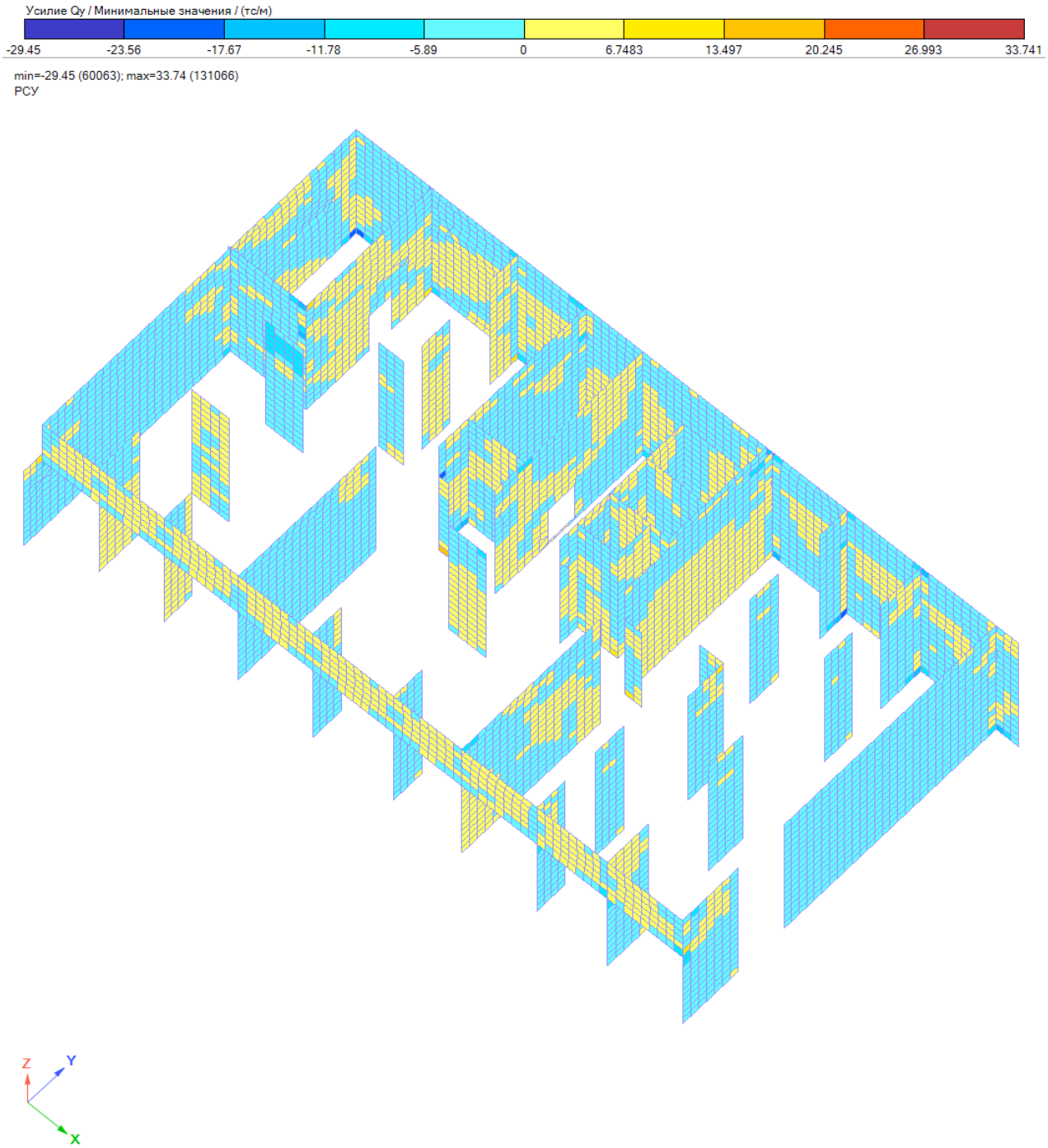




Изополя усилия Ny, тс*/м2



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qy, тс/м

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 300ММ В/О 2.5/2.А-2.Б НА ОТМ. -7.200 НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Методика расчета принята согласно СП 63.13330.2018. Учет влияния прогиба производится согласно п. 8.1.14 - 8.1.15. Расчет сечения на основе нелинейной деформационной модели производится согласно п. 8.1.20 - 8.1.30.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Продольная сила $N = -6191{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 63{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

- Бетон класса В30
- Суммарный коэффициент работы $\gamma_b = 0{,}85$
- Расчетное сопротивление сжатию $R_b = 17 \cdot 0{,}85 = 14{,}45$ МПа
- Начальный модуль упругости $E_b = 32500$ МПа
- Диаграмма $\sigma - \varepsilon$ трехлинейная
- Деформационные характеристики бетона $\varepsilon_{b0} = -0{,}002$, $\varepsilon_{b2} = -0{,}0035$

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

- Арматура класса А500
- Расчетное сопротивление растяжению $R_s = 435$ МПа
- Расчетное сопротивление сжатию $R_{sc} = 400$ МПа
- Модуль упругости $E_s = 200000$ МПа
- Предельное значение отн. деформации удлинения арматуры $\varepsilon_{s,ult} = 0{,}025$
- Арматура у верхней и нижней грани - 2хØ28, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 7хØ28, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}9$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}3$ м
- Высота сечения $h = 0{,}9$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}8$, $\mu_y = 0{,}8$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}9 = 3{,}92 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}9 = 3{,}92 \text{ м}$$

Радиусы инерции сечения:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}018225}{0{,}3 \cdot 0{,}9}} = 0{,}260 \text{ м};\ i_y = \sqrt{\frac{I_y}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}002025}{0{,}3 \cdot 0{,}9}} = 0{,}087 \text{ м}$$

Гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}92}{0{,}260} = 15{,}1 \leq 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}92}{0{,}087} = 45{,}3 \leq 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \geq \frac{L}{600} = \frac{4{,}9}{600} = 0{,}008 \text{ м}$$

$$e_{a,x} \geq \frac{h}{30} = \frac{0{,}9}{30} = 0{,}030 \text{ м};\ e_{a,y} \geq \frac{b}{30} = \frac{0{,}3}{30} = 0{,}010 \text{ м}$$

$$e_{a(x,y)} \geq 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-6191{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{63{,}0}{-6191{,}0}\right| = 0{,}010 \text{ м}$$

Т.к. конструкция является статически неопределимой, то значение эксцентриситета продольной силы принимается равным значению эксцентриситета, полученному из статического расчета, но не менее случайного. Окончательно принимается:

$$e_{0,x} = 0{,}030 \text{ м};\ e_{0,y} = 0{,}010 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

$$\varphi_l = 1 + \frac{M_l}{M} = 1 + 0{,}9 = 1{,}9$$

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

$$0{,}15 \leq \delta_{e,x} = \frac{e_{0,x}}{h} = \frac{0{,}030}{0{,}9} = 0{,}033 \leq 1{,}5$$

$$0{,}15 \leq \delta_{e,y} = \frac{e_{0,y}}{b} = \frac{0{,}010}{0{,}3} = 0{,}034 \leq 1{,}5$$

Окончательно принимается:

$$\delta_{e,x} = 0{,}150;\ \delta_{e,y} = 0{,}150$$

Коэффициенты k_b:

$$k_{b,x} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,x})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}175$$

$$k_{b,y} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,y})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}175$$

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}018225 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000707 = 198805{,}5 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}002025 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000092 = 23945{,}3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 198805{,}5}{3{,}92^2} = 127689{,}7 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 23945{,}3}{3{,}92^2} = 15379{,}7 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{6191{,}0}{127689{,}7}} = 1{,}051$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{6191{,}0}{15379{,}7}} = 1{,}674$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1{,}051 \cdot 0{,}0 = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1{,}674 \cdot 63{,}0 = 105{,}4 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Полученные значения $M_x^{\text{расч.}}$ и $M_y^{\text{расч.}}$ используются при расчете сечения колонны на основе нелинейной деформационной модели.

Деформации бетона $\varepsilon_{b,max}$ и арматуры $\varepsilon_{s,max}$ в нормальном сечении определяется из решения системы уравнений (8.39)-(8.41) с использованием уравнений (8.29) и (8.30).

Расчет ведется итерационным методом. В первом приближении принимается упругая работа материалов. Распределение отн. деформаций бетона и арматуры по высоте сечения элемента принимается по линейному закону. Сопротивление бетона растянутой зоны не учитывается. Переход

от эпюры напряжений в бетоне к обобщенным внутренним усилиям определяется с помощью процедуры численного интегрирования напряжений по нормальному сечению. Для этого нормальное сечение разделено на малые участки, напряжения в пределах этих участков приняты равномерно распределенными.

Результатом решения системы уравнений является нахождение жесткостных характеристик D_{ij}, кривизны элемента $\frac{1}{r_x}$ и $\frac{1}{r_y}$ и отн. деформации ε_0 в точке центра тяжести сечения:

$$D_{11} = 351443{,}4\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 42625{,}6\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

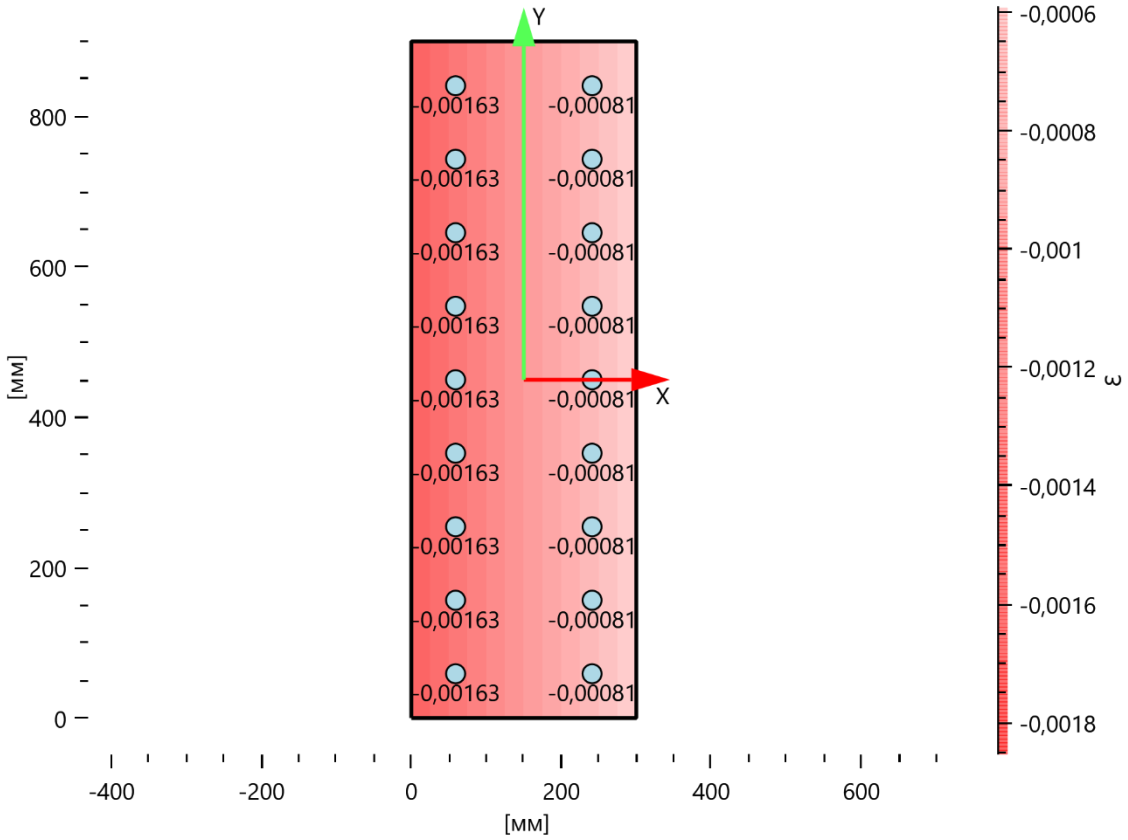
$$D_{12} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 70473{,}9\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 5326398{,}6\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

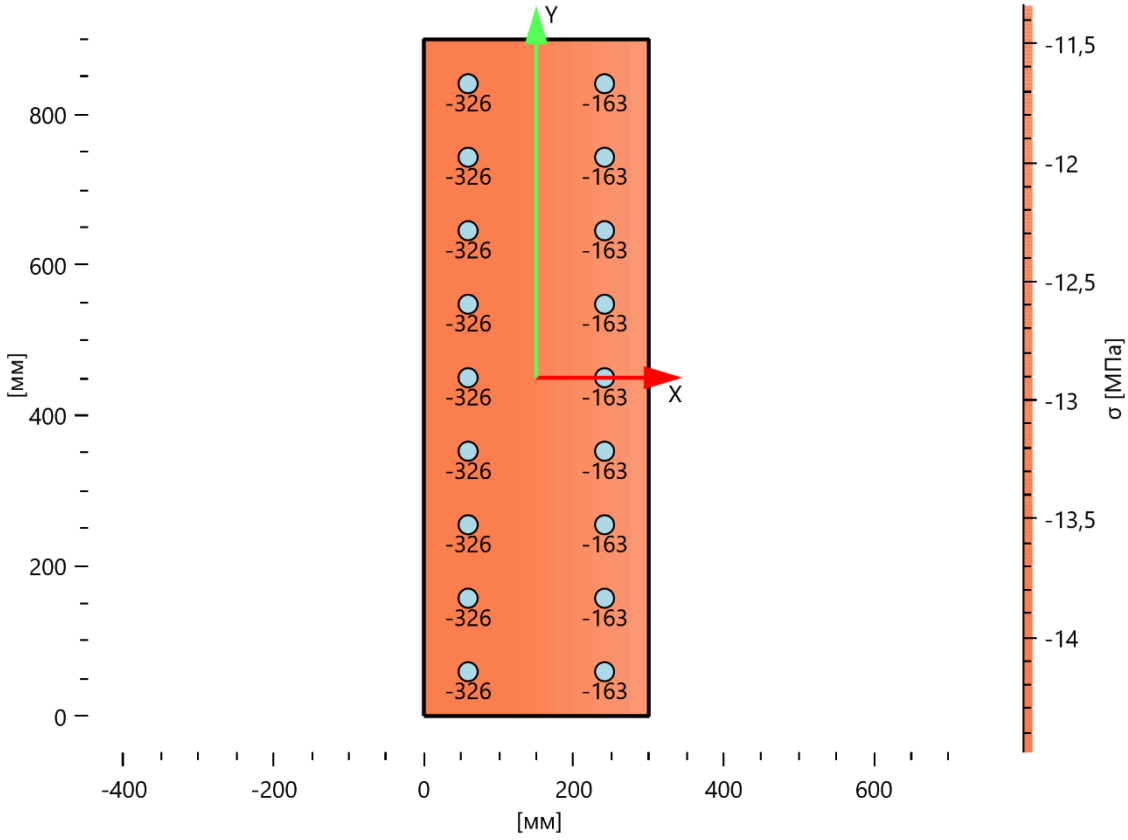
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00449346;\ \varepsilon_0 = -0{,}00122178$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}001840$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



Т.к. в сечении присутствуют деформации одного знака, то предельное значение относительной деформаций бетона определяется по формуле:

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000604}{-0{,}001840} = 0{,}003008$$

где ε_1 и ε_2 - минимальная и максимальная по модулю деформации в сечении.

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001840| = 0{,}001840 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003008$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	45.3	120	
Деформации сжатия в бетоне	-1.84‰	-3.01‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	89%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	56%		

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 250ММ В/О 2.9/2.А-2.Б НА ОТМ. -7.200 НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Методика расчета принята согласно СП 63.13330.2018. Учет влияния прогиба производится согласно п. 8.1.14 - 8.1.15. Расчет сечения на основе нелинейной деформационной модели производится согласно п. 8.1.20 - 8.1.30.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Продольная сила $N = -3671{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 46{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

- Бетон класса B30
- Суммарный коэффициент работы $\gamma_b = 0{,}85$
- Расчетное сопротивление сжатию $R_b = 17 \cdot 0{,}85 = 14{,}45$ МПа

- Начальный модуль упругости $E_b = 32500$ МПа
- Диаграмма $\sigma - \varepsilon$ трехлинейная
- Деформационные характеристики бетона $\varepsilon_{b0} = -0{,}002$, $\varepsilon_{b2} = -0{,}0035$

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

- Арматура класса А500
- Расчетное сопротивление растяжению $R_s = 435$ МПа
- Расчетное сопротивление сжатию $R_{sc} = 400$ МПа
- Модуль упругости $E_s = 200000$ МПа
- Предельное значение отн. деформации удлинения арматуры $\varepsilon_{s,ult} = 0{,}025$
- Арматура у верхней и нижней грани - 2xØ25, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 6xØ25, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}9$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}25$ м
- Высота сечения $h = 0{,}75$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}8$, $\mu_y = 0{,}8$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}9 = 3{,}92 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}9 = 3{,}92 \text{ м}$$

Радиусы инерции сечения:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}008789}{0{,}25 \cdot 0{,}75}} = 0{,}217 \text{ м};\ i_y = \sqrt{\frac{I_y}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}000977}{0{,}25 \cdot 0{,}75}} = 0{,}072 \text{ м}$$

Гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}92}{0{,}217} = 18{,}1 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}92}{0{,}072} = 54{,}3 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}9}{600} = 0{,}008 \text{ м}$$

$$e_{a,x} \ge \frac{h}{30} = \frac{0{,}75}{30} = 0{,}025 \text{ м};\ e_{a,y} \ge \frac{b}{30} = \frac{0{,}25}{30} = 0{,}008 \text{ м}$$

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-3671{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{46{,}0}{-3671{,}0}\right| = 0{,}013 \text{ м}$$

Т.к. конструкция является статически неопределимой, то значение эксцентриситета продольной силы принимается равным значению эксцентриситета, полученному из статического расчета, но не менее случайного. Окончательно принимается:

$$e_{0,x} = 0{,}025 \text{ м};\ e_{0,y} = \ 0{,}013 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

$$\varphi_l = 1 + \frac{M_l}{M} = 1 + 0{,}9 = 1{,}9$$

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

$$0{,}15 \le \delta_{e,x} = \frac{e_{0,x}}{h} = \frac{0{,}025}{0{,}75} = 0{,}033 \le 1{,}5$$

$$0{,}15 \le \delta_{e,y} = \frac{e_{0,y}}{b} = \frac{0{,}013}{0{,}25} = 0{,}050 \le 1{,}5$$

Окончательно принимается:

$$\delta_{e,x} = 0{,}150;\ \delta_{e,y} = 0{,}150$$

Коэффициенты k_b:

$$k_{b,x} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,x})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}175$$

$$k_{b,y} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,y})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}175$$

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}008789 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000340$$
$$= 95723{,}9 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000977 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000036$$
$$= 10415{,}1 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 95723{,}9}{3{,}92^2} = 61482{,}0 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 10415{,}1}{3{,}92^2} = 6689{,}5 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{3671,0}{61482,0}} = 1,064$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{3671,0}{6689,5}} = 2,216$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1,064 \cdot 0,0 = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 2,216 \cdot 46,0 = 101,9 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Полученные значения $M_x^{\text{расч.}}$ и $M_y^{\text{расч.}}$ используются при расчете сечения колонны на основе нелинейной деформационной модели.

Деформации бетона $\varepsilon_{b,max}$ и арматуры $\varepsilon_{s,max}$ в нормальном сечении определяется из решения системы уравнений (8.39)-(8.41) с использованием уравнений (8.29) и (8.30).

Расчет ведется итерационным методом. В первом приближении принимается упругая работа материалов. Распределение отн. деформаций бетона и арматуры по высоте сечения элемента принимается по линейному закону. Сопротивление бетона растянутой зоны не учитывается. Переход от эпюры напряжений в бетоне к обобщенным внутренним усилиям определяется с помощью процедуры численного интегрирования напряжений по нормальному сечению. Для этого нормальное сечение разделено на малые участки, напряжения в пределах этих участков приняты равномерно распределенными.

Результатом решения системы уравнений является нахождение жесткостных характеристик D_{ij}, кривизны элемента $\frac{1}{r_x}$ и $\frac{1}{r_y}$ и отн. деформации ε_0 в точке центра тяжести сечения:

$$D_{11} = 208343,9 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 25029,7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

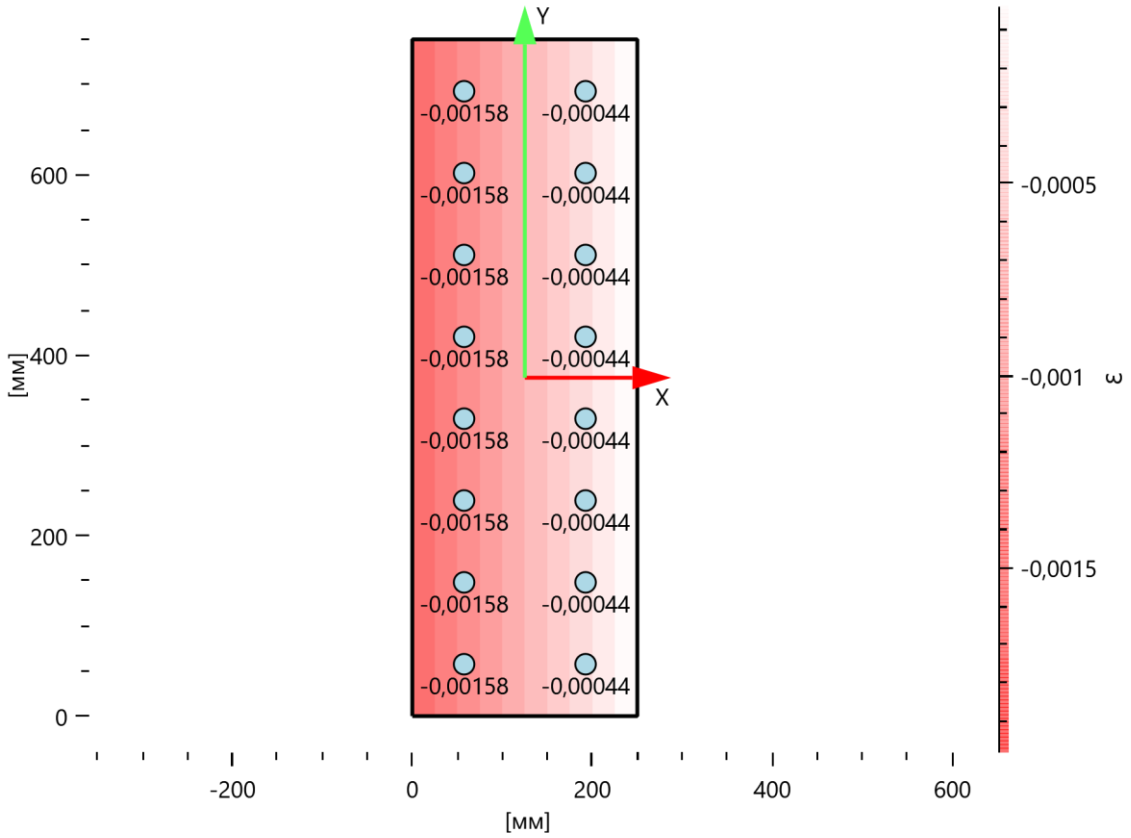
$$D_{12} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 109073,6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 4560825,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

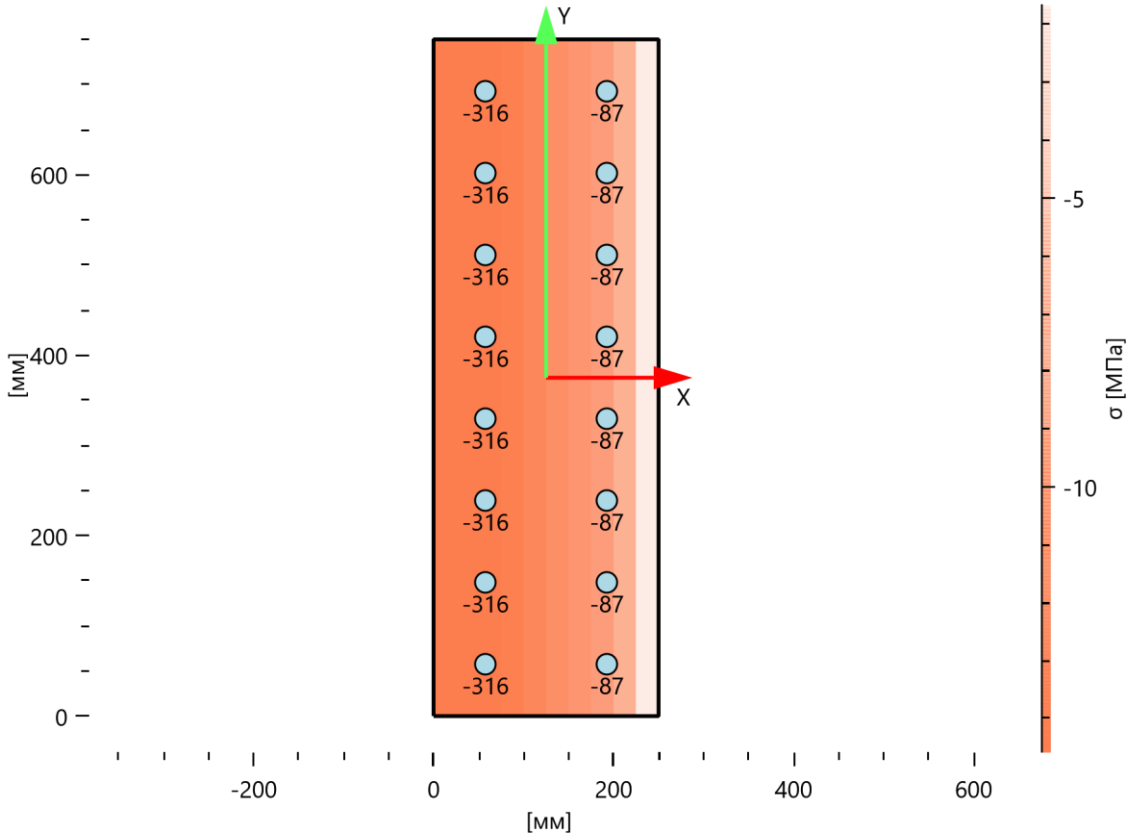
$$\frac{1}{r_x} = 0,00000000; \frac{1}{r_y} = 0,00846242;\ \varepsilon_0 = -0,00100728$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0,001959$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



Т.к. в сечении присутствуют деформации одного знака, то предельное значение относительной деформаций бетона определяется по формуле:

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000055}{-0{,}001959} = 0{,}003458$$

где ε_1 и ε_2 - минимальная и максимальная по модулю деформации в сечении.

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001959| = 0{,}001959 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003458$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость		54.3	120
Деформации сжатия в бетоне		-1.96‰	-3.46‰
Деформации растяжения в арматуре		0.00‰	25.00‰
Процент использования по N		89%	
Процент использования по Mx		0%	
Процент использования по My		67%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ ПОДВАЛА ТОЛЩИНОЙ 250ММ В/О 2.5-2.7/2.Е НА ОТМ. -7.200 НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Методика расчета принята согласно СП 63.13330.2018. Учет влияния прогиба производится согласно п. 8.1.14 - 8.1.15. Расчет сечения на основе нелинейной деформационной модели производится согласно п. 8.1.20 - 8.1.30.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Продольная сила $N = -1378{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 92{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

- Бетон класса В30
- Суммарный коэффициент работы $\gamma_b = 0{,}85$
- Расчетное сопротивление сжатию $R_b = 17 \cdot 0{,}85 = 14{,}45$ МПа

- Начальный модуль упругости $E_b = 32500$ МПа
- Диаграмма $\sigma - \varepsilon$ трехлинейная
- Деформационные характеристики бетона $\varepsilon_{b0} = -0{,}002$, $\varepsilon_{b2} = -0{,}0035$

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

- Арматура класса А500
- Расчетное сопротивление растяжению $R_s = 435$ МПа
- Расчетное сопротивление сжатию $R_{sc} = 400$ МПа
- Модуль упругости $E_s = 200000$ МПа
- Предельное значение отн. деформации удлинения арматуры $\varepsilon_{s,ult} = 0{,}025$
- Арматура у верхней и нижней грани - 2хØ16, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 3хØ16, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}9$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}25$ м
- Высота сечения $h = 1$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}8$, $\mu_y = 0{,}8$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}9 = 3{,}92 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}9 = 3{,}92 \text{ м}$$

Радиусы инерции сечения:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}020833}{0{,}25 \cdot 1}} = 0{,}289 \text{ м};\ i_y = \sqrt{\frac{I_y}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}001302}{0{,}25 \cdot 1}} = 0{,}072 \text{ м}$$

Гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}92}{0{,}289} = 13{,}6 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}92}{0{,}072} = 54{,}3 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}9}{600} = 0{,}008 \text{ м}$$

$$e_{a,x} \ge \frac{h}{30} = \frac{1}{30} = 0{,}033 \text{ м};\ e_{a,y} \ge \frac{b}{30} = \frac{0{,}25}{30} = 0{,}008 \text{ м}$$

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-1378{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{92{,}0}{-1378{,}0}\right| = 0{,}067 \text{ м}$$

Т.к. конструкция является статически неопределимой, то значение эксцентриситета продольной силы принимается равным значению эксцентриситета, полученному из статического расчета, но не менее случайного. Окончательно принимается:

$$e_{0,x} = 0{,}033 \text{ м};\ e_{0,y} = \ 0{,}067 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

$$\varphi_l = 1 + \frac{M_l}{M} = 1 + 0{,}9 = 1{,}9$$

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

$$0{,}15 \le \delta_{e,x} = \frac{e_{0,x}}{h} = \frac{0{,}033}{1} = 0{,}033 \le 1{,}5$$

$$0{,}15 \le \delta_{e,y} = \frac{e_{0,y}}{b} = \frac{0{,}067}{0{,}25} = 0{,}267 \le 1{,}5$$

Окончательно принимается:

$$\delta_{e,x} = 0{,}150;\ \delta_{e,y} = 0{,}267$$

Коэффициенты k_b:

$$k_{b,x} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,x})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}175$$

$$k_{b,y} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,y})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}267)} = 0{,}139$$

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}020833 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000201 = 145767{,}3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}139 \cdot 32500000 \cdot 0{,}001302 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000010 = 7308{,}1 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 145767{,}3}{3{,}92^2} = 93624{,}1 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 7308{,}1}{3{,}92^2} = 4693{,}9 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{1378,0}{93624,1}} = 1,015$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{1378,0}{4693,9}} = 1,416$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1,015 \cdot 0,0 = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1,416 \cdot 92,0 = 130,2 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Полученные значения $M_x^{\text{расч.}}$ и $M_y^{\text{расч.}}$ используются при расчете сечения колонны на основе нелинейной деформационной модели.

Деформации бетона $\varepsilon_{b,max}$ и арматуры $\varepsilon_{s,max}$ в нормальном сечении определяется из решения системы уравнений (8.39)-(8.41) с использованием уравнений (8.29) и (8.30).

Расчет ведется итерационным методом. В первом приближении принимается упругая работа материалов. Распределение отн. деформаций бетона и арматуры по высоте сечения элемента принимается по линейному закону. Сопротивление бетона растянутой зоны не учитывается. Переход от эпюры напряжений в бетоне к обобщенным внутренним усилиям определяется с помощью процедуры численного интегрирования напряжений по нормальному сечению. Для этого нормальное сечение разделено на малые участки, напряжения в пределах этих участков приняты равномерно распределенными.

Результатом решения системы уравнений является нахождение жесткостных характеристик D_{ij}, кривизны элемента $\frac{1}{r_x}$ и $\frac{1}{r_y}$ и отн. деформации ε_0 в точке центра тяжести сечения:

$$D_{11} = 226048,5 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 9482,3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{12} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

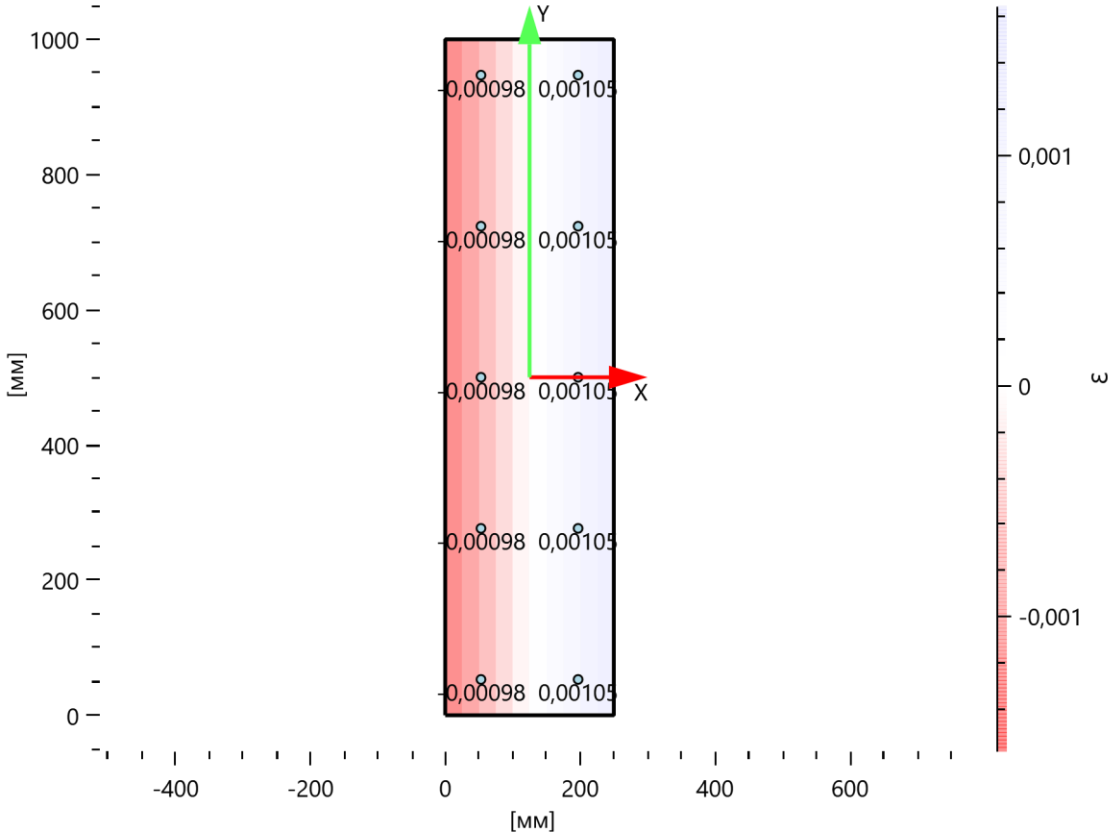
$$D_{23} = -103925,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 2636648,3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$\frac{1}{r_x} = 0,00000000; \frac{1}{r_y} = 0,01409542;\ \varepsilon_0 = 0,00003295$$

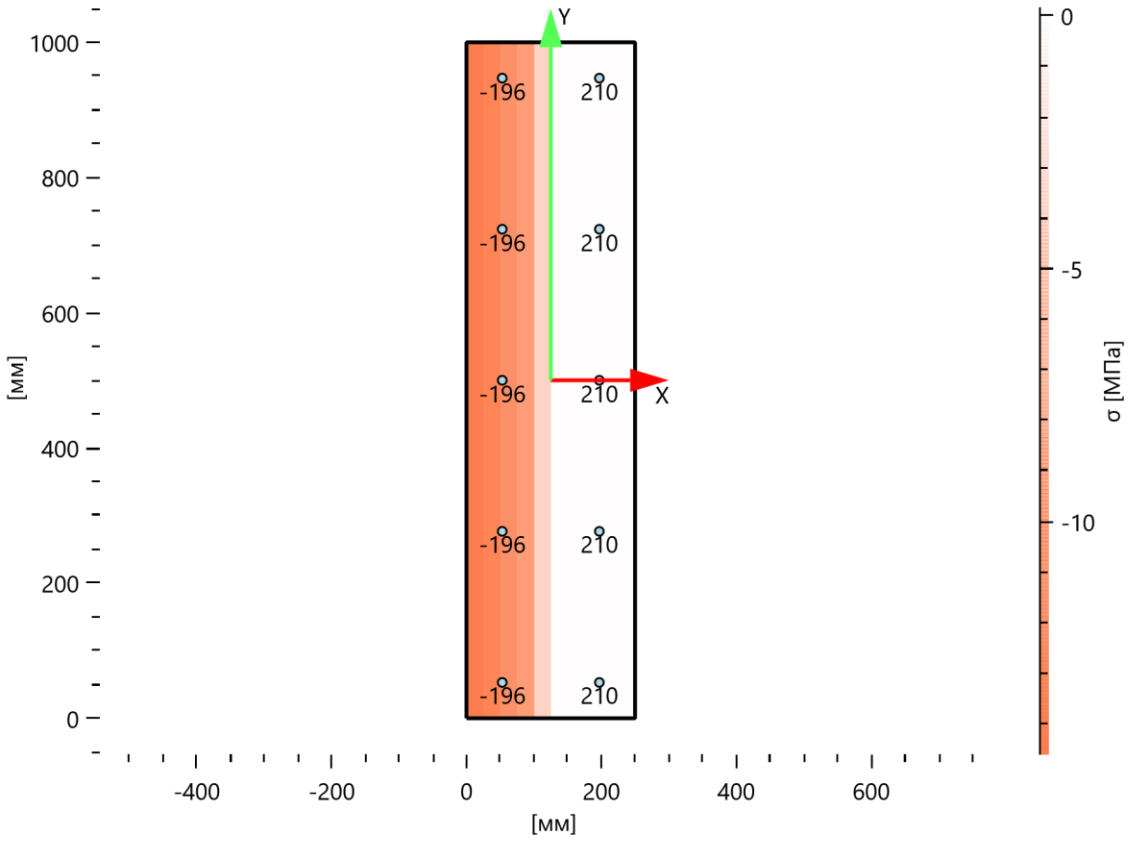
Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0,001553$

Максимальная отн. деформация наиболее растянутого стержня арматуры $\varepsilon_{s,max} = 0,001048$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



Т.к. в сечении присутствуют деформации разных знаков, то предельное значение относительной деформаций бетона равняется $\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} = -0{,}0035$

Т.к. условия:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001553| = 0{,}001553 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003500$$

$$\varepsilon_{s,max} = 0{,}001048 \leq \varepsilon_{s,ult} = 0{,}025$$

выполняются, то прочность сечения колонны обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	54.3	120
Деформации сжатия в бетоне	-1.55‰	-3.50‰
Деформации растяжения в арматуре	1.05‰	25.00‰
Процент использования по N	63%	
Процент использования по Mx	0%	
Процент использования по My	81%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 200ММ В/О 2.6/2.Г НА ОТМ. -7.200 НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Методика расчета принята согласно СП 63.13330.2018. Учет влияния прогиба производится согласно п. 8.1.14 - 8.1.15. Расчет сечения на основе нелинейной деформационной модели производится согласно п. 8.1.20 - 8.1.30.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Продольная сила $N = -1780{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 12{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

- Бетон класса B30
- Суммарный коэффициент работы $\gamma_b = 0{,}85$
- Расчетное сопротивление сжатию $R_b = 17 \cdot 0{,}85 = 14{,}45$ МПа
- Начальный модуль упругости $E_b = 32500$ МПа

- Диаграмма $\sigma - \varepsilon$ трехлинейная
- Деформационные характеристики бетона $\varepsilon_{b0} = -0{,}002$, $\varepsilon_{b2} = -0{,}0035$

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

- Арматура класса А500
- Расчетное сопротивление растяжению $R_s = 435$ МПа
- Расчетное сопротивление сжатию $R_{sc} = 400$ МПа
- Модуль упругости $E_s = 200000$ МПа
- Предельное значение отн. деформации удлинения арматуры $\varepsilon_{s,ult} = 0{,}025$
- Арматура у верхней и нижней грани - 2xØ20, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 4xØ20, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}9$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}2$ м
- Высота сечения $h = 0{,}6$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}7$, $\mu_y = 0{,}7$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}7 \cdot 4{,}9 = 3{,}43 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}7 \cdot 4{,}9 = 3{,}43 \text{ м}$$

Радиусы инерции сечения:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}003600}{0{,}2 \cdot 0{,}6}} = 0{,}173 \text{ м};\ i_y = \sqrt{\frac{I_y}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}000400}{0{,}2 \cdot 0{,}6}} = 0{,}058 \text{ м}$$

Гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}43}{0{,}173} = 19{,}8 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}43}{0{,}058} = 59{,}4 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}9}{600} = 0{,}008 \text{ м}$$

$$e_{a,x} \ge \frac{h}{30} = \frac{0{,}6}{30} = 0{,}020 \text{ м};\ e_{a,y} \ge \frac{b}{30} = \frac{0{,}2}{30} = 0{,}007 \text{ м}$$

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-1780{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{12{,}0}{-1780{,}0}\right| = 0{,}007 \text{ м}$$

Т.к. конструкция является статически неопределимой, то значение эксцентриситета продольной силы принимается равным значению эксцентриситета, полученному из статического расчета, но не менее случайного. Окончательно принимается:

$$e_{0,x} = 0{,}020 \text{ м};\ e_{0,y} = \ 0{,}010 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

$$\varphi_l = 1 + \frac{M_l}{M} = 1 + 0{,}9 = 1{,}9$$

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

$$0{,}15 \le \delta_{e,x} = \frac{e_{0,x}}{h} = \frac{0{,}020}{0{,}6} = 0{,}033 \le 1{,}5$$

$$0{,}15 \le \delta_{e,y} = \frac{e_{0,y}}{b} = \frac{0{,}010}{0{,}2} = 0{,}050 \le 1{,}5$$

Окончательно принимается:

$$\delta_{e,x} = 0{,}150;\ \delta_{e,y} = 0{,}150$$

Коэффициенты k_b:

$$k_{b,x} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,x})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}175$$

$$k_{b,y} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,y})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}175$$

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}003600 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000106 = 34721{,}1 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000400 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000008 = 3318{,}6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 34721{,}1}{3{,}43^2} = 29127{,}6 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 3318{,}6}{3{,}43^2} = 2784{,}0 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{1780,0}{29127,6}} = 1,065$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{1780,0}{2784,0}} = 2,773$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1,065 \cdot 0,0 = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 2,773 \cdot 12,0 = 33,3 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Полученные значения $M_x^{\text{расч.}}$ и $M_y^{\text{расч.}}$ используются при расчете сечения колонны на основе нелинейной деформационной модели.

Деформации бетона $\varepsilon_{b,max}$ и арматуры $\varepsilon_{s,max}$ в нормальном сечении определяется из решения системы уравнений (8.39)-(8.41) с использованием уравнений (8.29) и (8.30).

Расчет ведется итерационным методом. В первом приближении принимается упругая работа материалов. Распределение отн. деформаций бетона и арматуры по высоте сечения элемента принимается по линейному закону. Сопротивление бетона растянутой зоны не учитывается. Переход от эпюры напряжений в бетоне к обобщенным внутренним усилиям определяется с помощью процедуры численного интегрирования напряжений по нормальному сечению. Для этого нормальное сечение разделено на малые участки, напряжения в пределах этих участков приняты равномерно распределенными.

Результатом решения системы уравнений является нахождение жесткостных характеристик D_{ij}, кривизны элемента $\frac{1}{r_x}$ и $\frac{1}{r_y}$ и отн. деформации ε_0 в точке центра тяжести сечения:

$$D_{11} = 88881,3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 9358,8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

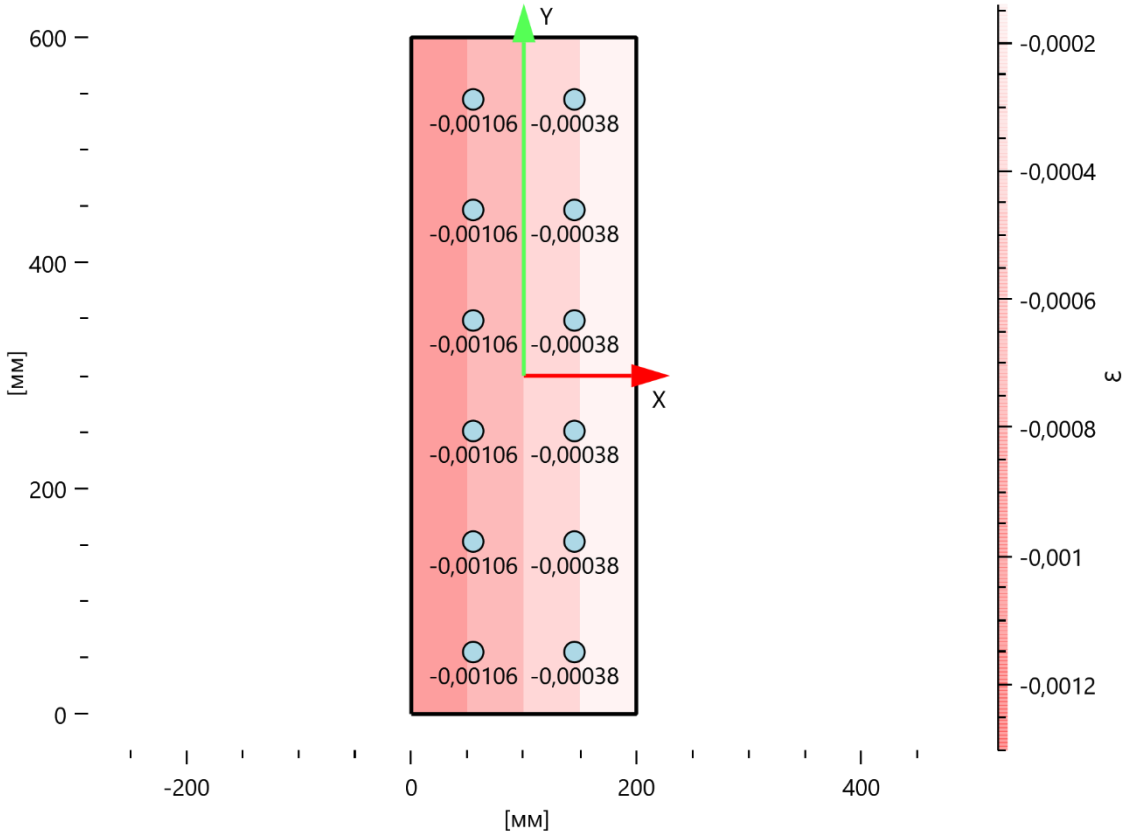
$$D_{12} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 52444,8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 3023965,6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

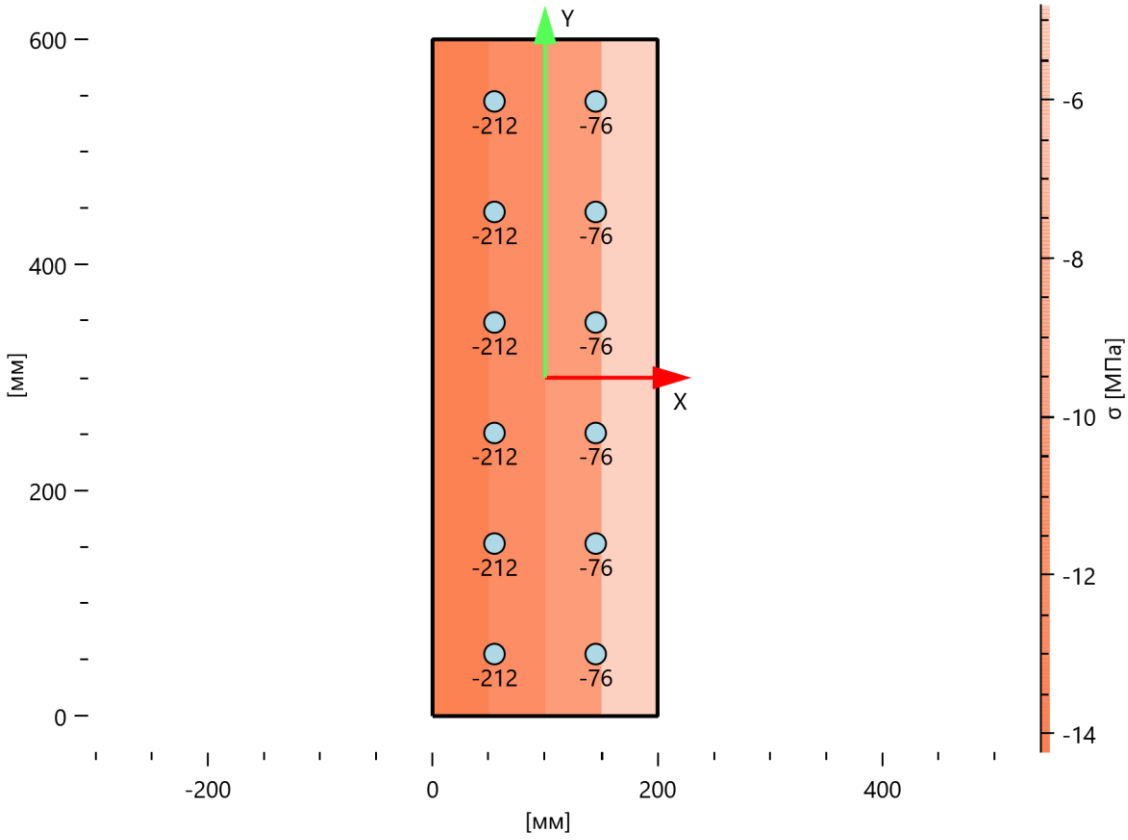
$$\frac{1}{r_x} = 0,00000000; \frac{1}{r_y} = 0,00759189;\ \varepsilon_0 = -0,00072030$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0,001290$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



Т.к. в сечении присутствуют деформации одного знака, то предельное значение относительной деформаций бетона определяется по формуле:

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000151}{-0{,}001290} = 0{,}003324$$

где ε_1 и ε_2 - минимальная и максимальная по модулю деформации в сечении.

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001290| = 0{,}001290 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003324$$

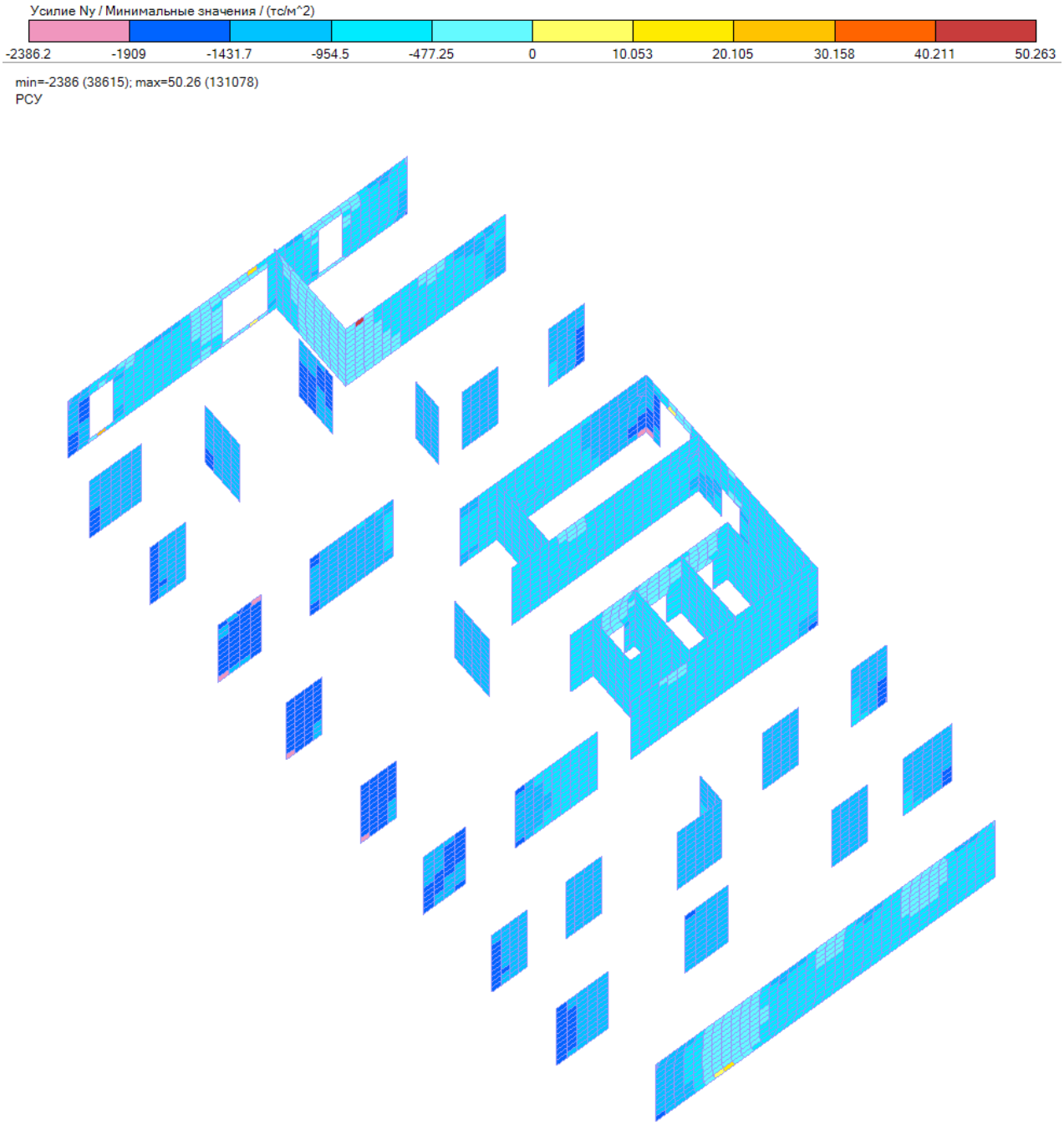
выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

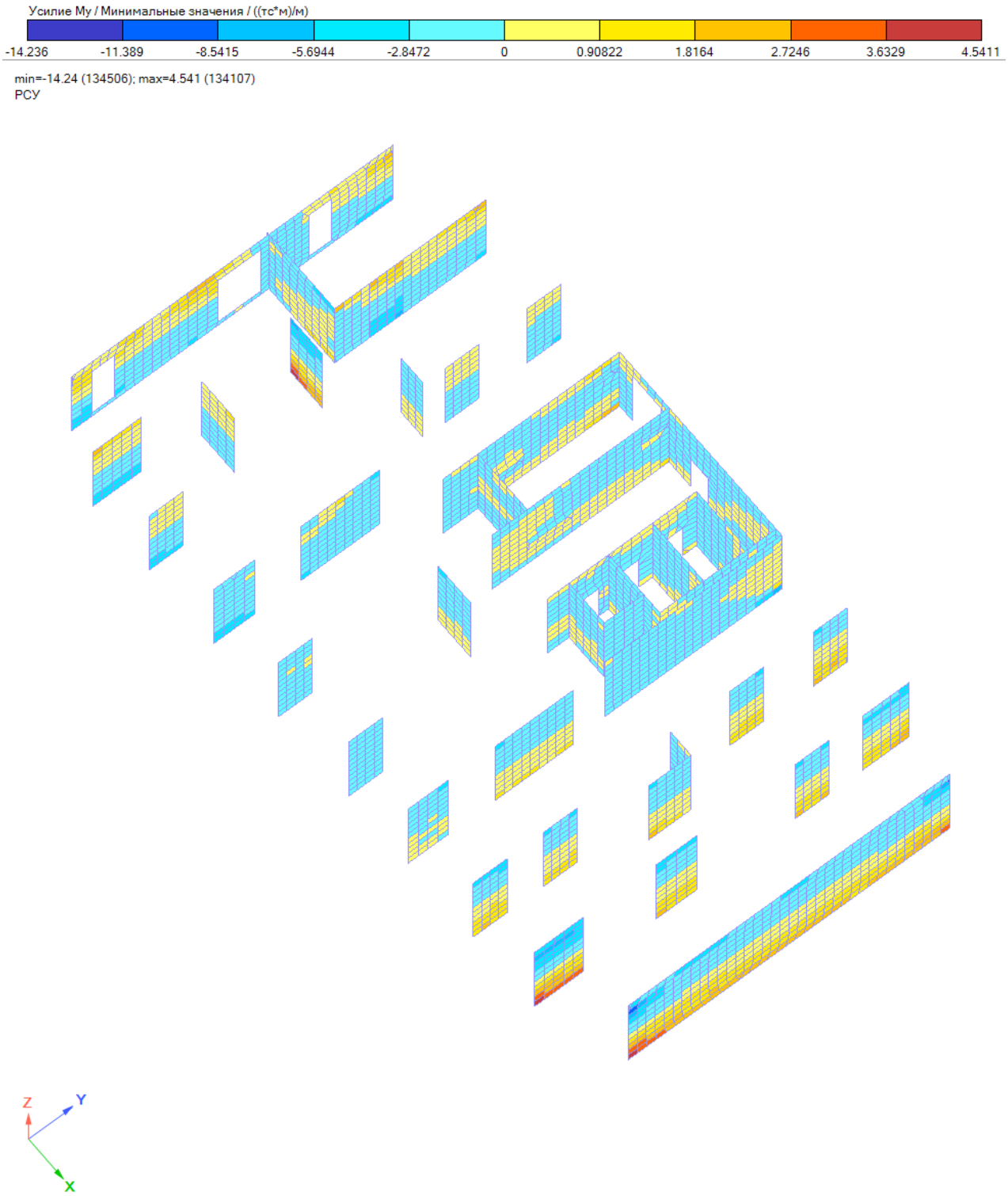
Гибкость	59.4	120	
Деформации сжатия в бетоне	-1.29‰	-3.32‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	81%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	44%		

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

3.1. РАСЧЕТ СТЕН С ОТМ. -0.100

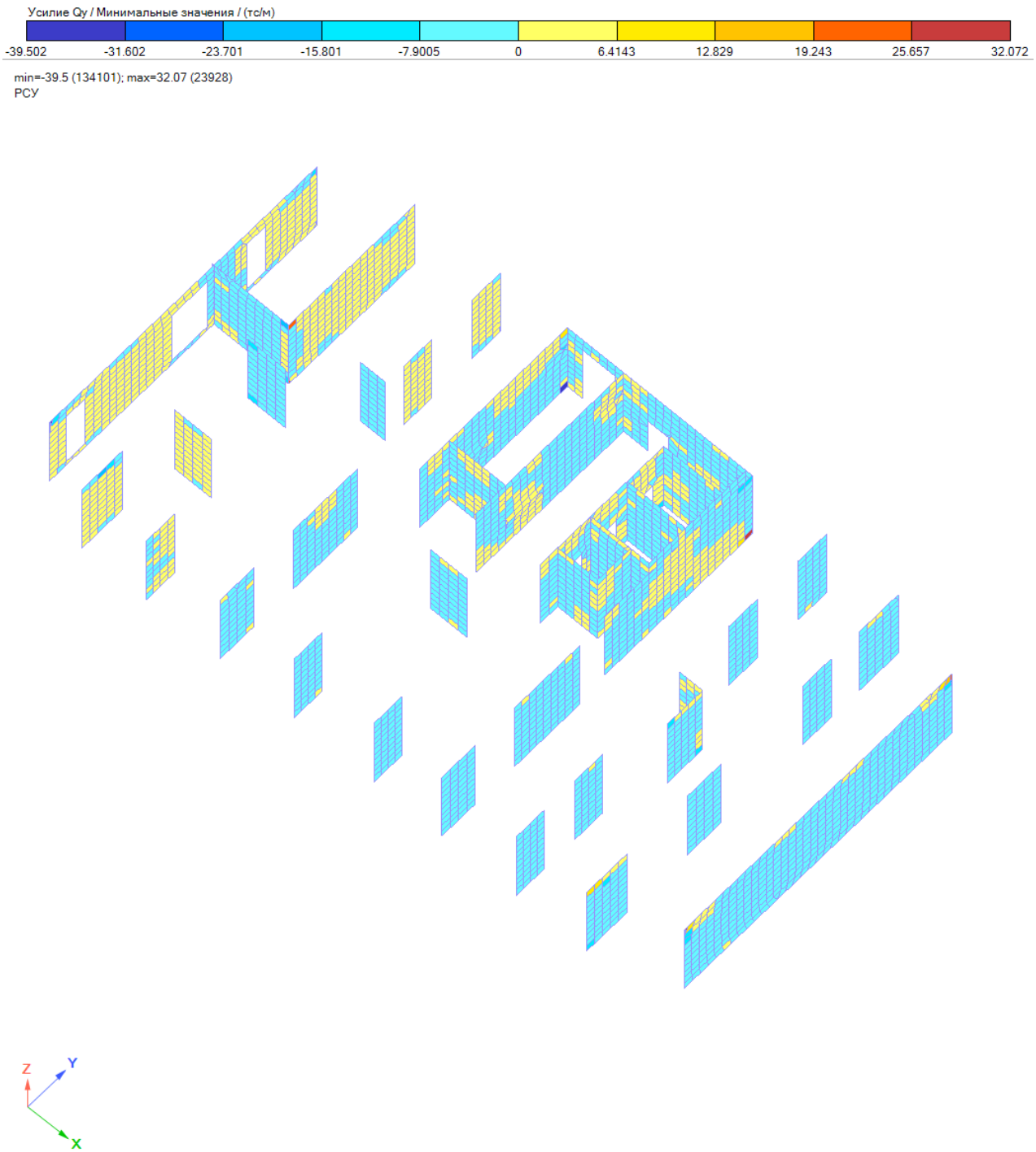


Изополя усилия Ny, тс*/м2



Изополя усилия My, тс*м/м

						17-0121-ОК-1-П-КР4.5	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		110



Изополя усилия Qy, тс/м

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 300ММ В/О 2.4/2.А-2.Б НА ОТМ. -0.100 НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Методика расчета принята согласно СП 63.13330.2018. Учет влияния прогиба производится согласно п. 8.1.14 - 8.1.15. Расчет сечения на основе нелинейной деформационной модели производится согласно п. 8.1.20 - 8.1.30.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Продольная сила $N = -5504{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 32{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

- Бетон класса В30
- Суммарный коэффициент работы $\gamma_b = 0{,}85$
- Расчетное сопротивление сжатию $R_b = 17 \cdot 0{,}85 = 14{,}45$ МПа
- Начальный модуль упругости $E_b = 32500$ МПа
- Диаграмма $\sigma - \varepsilon$ трехлинейная
- Деформационные характеристики бетона $\varepsilon_{b0} = -0{,}002$, $\varepsilon_{b2} = -0{,}0035$

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

- Арматура класса А500
- Расчетное сопротивление растяжению $R_s = 435$ МПа
- Расчетное сопротивление сжатию $R_{sc} = 400$ МПа
- Модуль упругости $E_s = 200000$ МПа
- Предельное значение отн. деформации удлинения арматуры $\varepsilon_{s,ult} = 0{,}025$
- Арматура у верхней и нижней грани - 2хØ25, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 7хØ25, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}17$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}3$ м
- Высота сечения $h = 0{,}9$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}8$, $\mu_y = 0{,}8$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}17 = 3{,}336 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}17 = 3{,}336 \text{ м}$$

Радиусы инерции сечения:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}018225}{0{,}3 \cdot 0{,}9}} = 0{,}260 \text{ м};\ i_y = \sqrt{\frac{I_y}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}002025}{0{,}3 \cdot 0{,}9}} = 0{,}087 \text{ м}$$

Гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}336}{0{,}260} = 12{,}8 \leq 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}336}{0{,}087} = 38{,}5 \leq 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \geq \frac{L}{600} = \frac{4{,}17}{600} = 0{,}007 \text{ м}$$

$$e_{a,x} \geq \frac{h}{30} = \frac{0{,}9}{30} = 0{,}030 \text{ м};\ e_{a,y} \geq \frac{b}{30} = \frac{0{,}3}{30} = 0{,}010 \text{ м}$$

$$e_{a(x,y)} \geq 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-5504{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{32{,}0}{-5504{,}0}\right| = 0{,}006 \text{ м}$$

Т.к. конструкция является статически неопределимой, то значение эксцентриситета продольной силы принимается равным значению эксцентриситета, полученному из статического расчета, но не менее случайного. Окончательно принимается:

$$e_{0,x} = 0{,}030 \text{ м};\ e_{0,y} = 0{,}010 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

$$\varphi_l = 1 + \frac{M_l}{M} = 1 + 0{,}9 = 1{,}9$$

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

$$0{,}15 \leq \delta_{e,x} = \frac{e_{0,x}}{h} = \frac{0{,}030}{0{,}9} = 0{,}033 \leq 1{,}5$$

$$0{,}15 \leq \delta_{e,y} = \frac{e_{0,y}}{b} = \frac{0{,}010}{0{,}3} = 0{,}033 \leq 1{,}5$$

Окончательно принимается:

$$\delta_{e,x} = 0{,}150;\ \delta_{e,y} = 0{,}150$$

Коэффициенты k_b:

$$k_{b,x} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,x})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}175$$

$$k_{b,y} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,y})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}175$$

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}018225 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000568 = 180130{,}3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}002025 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000076 = 21745{,}4 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 180130{,}3}{3{,}336^2} = 159747{,}6 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21745{,}4}{3{,}336^2} = 19284{,}8 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{5504{,}0}{159747{,}6}} = 1{,}036$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{5504{,}0}{19284{,}8}} = 1{,}399$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1{,}036 \cdot 0{,}0 = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1{,}399 \cdot 32{,}0 = 44{,}8 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Полученные значения $M_x^{\text{расч.}}$ и $M_y^{\text{расч.}}$ используются при расчете сечения колонны на основе нелинейной деформационной модели.

Деформации бетона $\varepsilon_{b,max}$ и арматуры $\varepsilon_{s,max}$ в нормальном сечении определяется из решения системы уравнений (8.39)-(8.41) с использованием уравнений (8.29) и (8.30).

Расчет ведется итерационным методом. В первом приближении принимается упругая работа материалов. Распределение отн. деформаций бетона и арматуры по высоте сечения элемента принимается по линейному закону. Сопротивление бетона растянутой зоны не учитывается. Переход

от эпюры напряжений в бетоне к обобщенным внутренним усилиям определяется с помощью процедуры численного интегрирования напряжений по нормальному сечению. Для этого нормальное сечение разделено на малые участки, напряжения в пределах этих участков приняты равномерно распределенными.

Результатом решения системы уравнений является нахождение жесткостных характеристик D_{ij}, кривизны элемента $\frac{1}{r_x}$ и $\frac{1}{r_y}$ и отн. деформации ε_0 в точке центра тяжести сечения:

$$D_{11} = 327887{,}1\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 38924{,}6\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

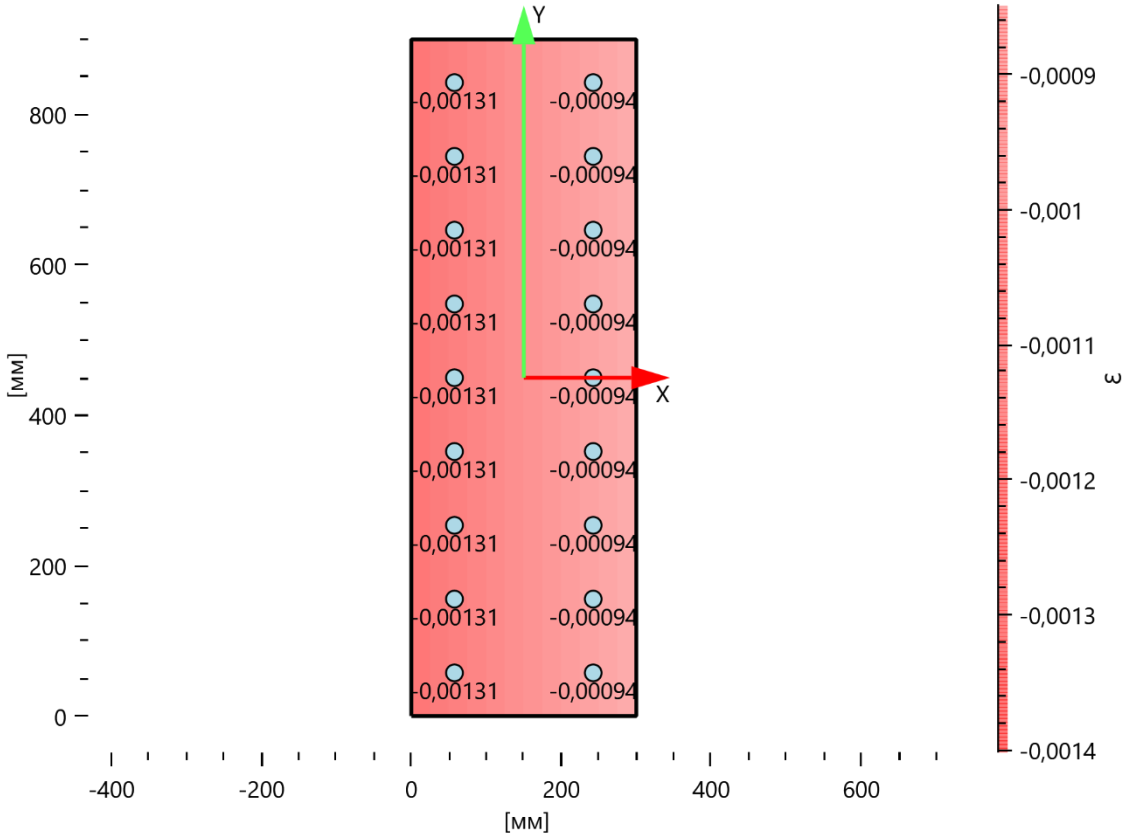
$$D_{12} = -0{,}1\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = -6{,}9\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 28305{,}9\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 4941491{,}6\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

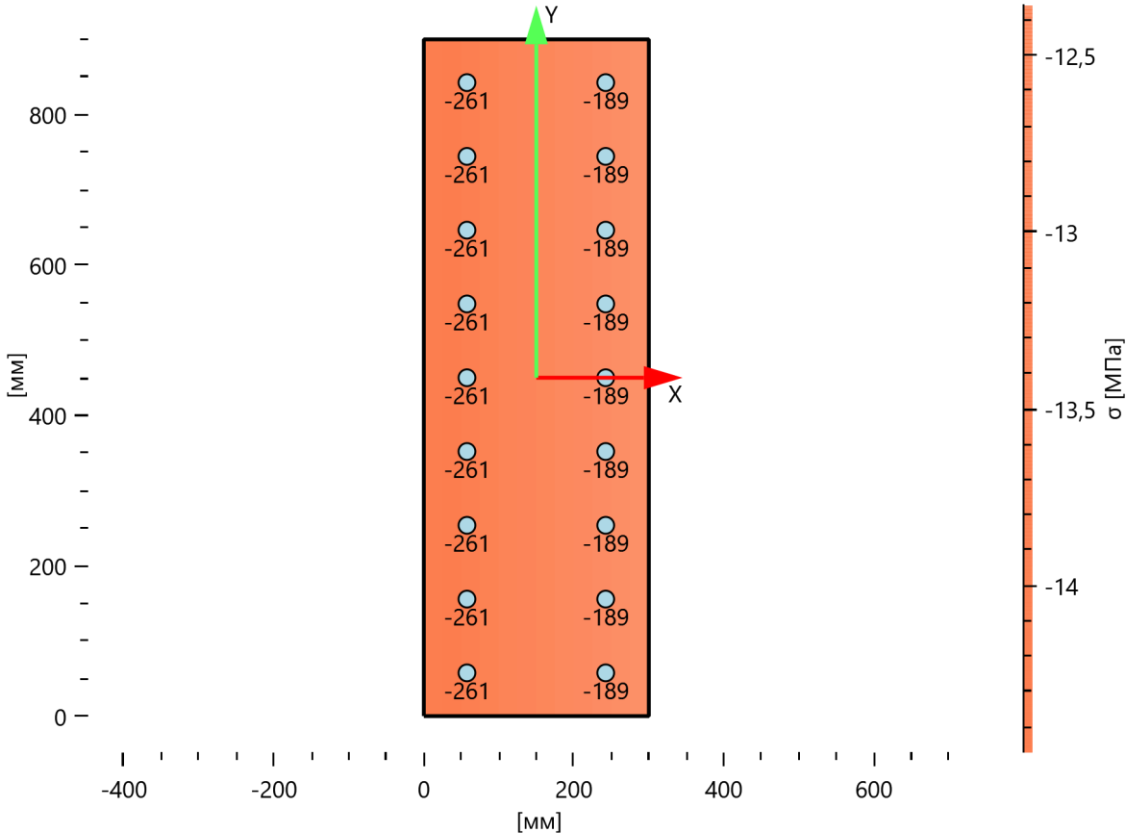
$$\frac{1}{r_x} = -0{,}00000002; \frac{1}{r_y} = 0{,}00196861;\ \varepsilon_0 = -0{,}00112512$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}001396$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



						17-0121-ОК-1-П-КР4.5	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		116

Т.к. в сечении присутствуют деформации одного знака, то предельное значение относительной деформаций бетона определяется по формуле:

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000854}{-0{,}001396} = 0{,}002582$$

где ε_1 и ε_2 - минимальная и максимальная по модулю деформации в сечении.

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001396| = 0{,}001396 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}002582$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	38.5	120	
Деформации сжатия в бетоне	-1.40‰	-2.58‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	81%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	25%		

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 250ММ В/О 2.5/2.А-2.Б НА ОТМ. -0.100 НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Методика расчета принята согласно СП 63.13330.2018. Учет влияния прогиба производится согласно п. 8.1.14 - 8.1.15. Расчет сечения на основе нелинейной деформационной модели производится согласно п. 8.1.20 - 8.1.30.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Продольная сила $N = -3367{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 72{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

- Бетон класса В30
- Суммарный коэффициент работы $\gamma_b = 0{,}85$
- Расчетное сопротивление сжатию $R_b = 17 \cdot 0{,}85 = 14{,}45$ МПа

- Начальный модуль упругости $E_b = 32500$ МПа
- Диаграмма $\sigma - \varepsilon$ трехлинейная
- Деформационные характеристики бетона $\varepsilon_{b0} = -0{,}002$, $\varepsilon_{b2} = -0{,}0035$

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

- Арматура класса А500
- Расчетное сопротивление растяжению $R_s = 435$ МПа
- Расчетное сопротивление сжатию $R_{sc} = 400$ МПа
- Модуль упругости $E_s = 200000$ МПа
- Предельное значение отн. деформации удлинения арматуры $\varepsilon_{s,ult} = 0{,}025$
- Арматура у верхней и нижней грани - 2xØ25, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 6xØ25, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}17$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}25$ м
- Высота сечения $h = 0{,}75$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}8$, $\mu_y = 0{,}8$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}17 = 3{,}336 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}17 = 3{,}336 \text{ м}$$

Радиусы инерции сечения:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}008789}{0{,}25 \cdot 0{,}75}} = 0{,}217 \text{ м};\ i_y = \sqrt{\frac{I_y}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}000977}{0{,}25 \cdot 0{,}75}} = 0{,}072 \text{ м}$$

Гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}336}{0{,}217} = 15{,}4 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}336}{0{,}072} = 46{,}2 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}17}{600} = 0{,}007 \text{ м}$$

$$e_{a,x} \ge \frac{h}{30} = \frac{0{,}75}{30} = 0{,}025 \text{ м};\ e_{a,y} \ge \frac{b}{30} = \frac{0{,}25}{30} = 0{,}008 \text{ м}$$

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-3367{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{72{,}0}{-3367{,}0}\right| = 0{,}021 \text{ м}$$

Т.к. конструкция является статически неопределимой, то значение эксцентриситета продольной силы принимается равным значению эксцентриситета, полученному из статического расчета, но не менее случайного. Окончательно принимается:

$$e_{0,x} = 0{,}025 \text{ м};\ e_{0,y} = \ 0{,}021 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

$$\varphi_l = 1 + \frac{M_l}{M} = 1 + 0{,}9 = 1{,}9$$

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

$$0{,}15 \le \delta_{e,x} = \frac{e_{0,x}}{h} = \frac{0{,}025}{0{,}75} = 0{,}033 \le 1{,}5$$

$$0{,}15 \le \delta_{e,y} = \frac{e_{0,y}}{b} = \frac{0{,}021}{0{,}25} = 0{,}086 \le 1{,}5$$

Окончательно принимается:

$$\delta_{e,x} = 0{,}150;\ \delta_{e,y} = 0{,}150$$

Коэффициенты k_b:

$$k_{b,x} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,x})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}175$$

$$k_{b,y} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,y})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}175$$

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}008789 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000340 = 95723{,}9 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000977 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000036 = 10415{,}1 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 95723{,}9}{3{,}336^2} = 84892{,}3 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 10415{,}1}{3{,}336^2} = 9236{,}6 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{3367,0}{84892,3}} = 1,041$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{3367,0}{9236,6}} = 1,574$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1,041 \cdot 0,0 = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1,574 \cdot 72,0 = 113,3 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Полученные значения $M_x^{\text{расч.}}$ и $M_y^{\text{расч.}}$ используются при расчете сечения колонны на основе нелинейной деформационной модели.

Деформации бетона $\varepsilon_{b,max}$ и арматуры $\varepsilon_{s,max}$ в нормальном сечении определяется из решения системы уравнений (8.39)-(8.41) с использованием уравнений (8.29) и (8.30).

Расчет ведется итерационным методом. В первом приближении принимается упругая работа материалов. Распределение отн. деформаций бетона и арматуры по высоте сечения элемента принимается по линейному закону. Сопротивление бетона растянутой зоны не учитывается. Переход от эпюры напряжений в бетоне к обобщенным внутренним усилиям определяется с помощью процедуры численного интегрирования напряжений по нормальному сечению. Для этого нормальное сечение разделено на малые участки, напряжения в пределах этих участков приняты равномерно распределенными.

Результатом решения системы уравнений является нахождение жесткостных характеристик D_{ij}, кривизны элемента $\frac{1}{r_x}$ и $\frac{1}{r_y}$ и отн. деформации ε_0 в точке центра тяжести сечения:

$$D_{11} = 189199,1 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 17873,6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

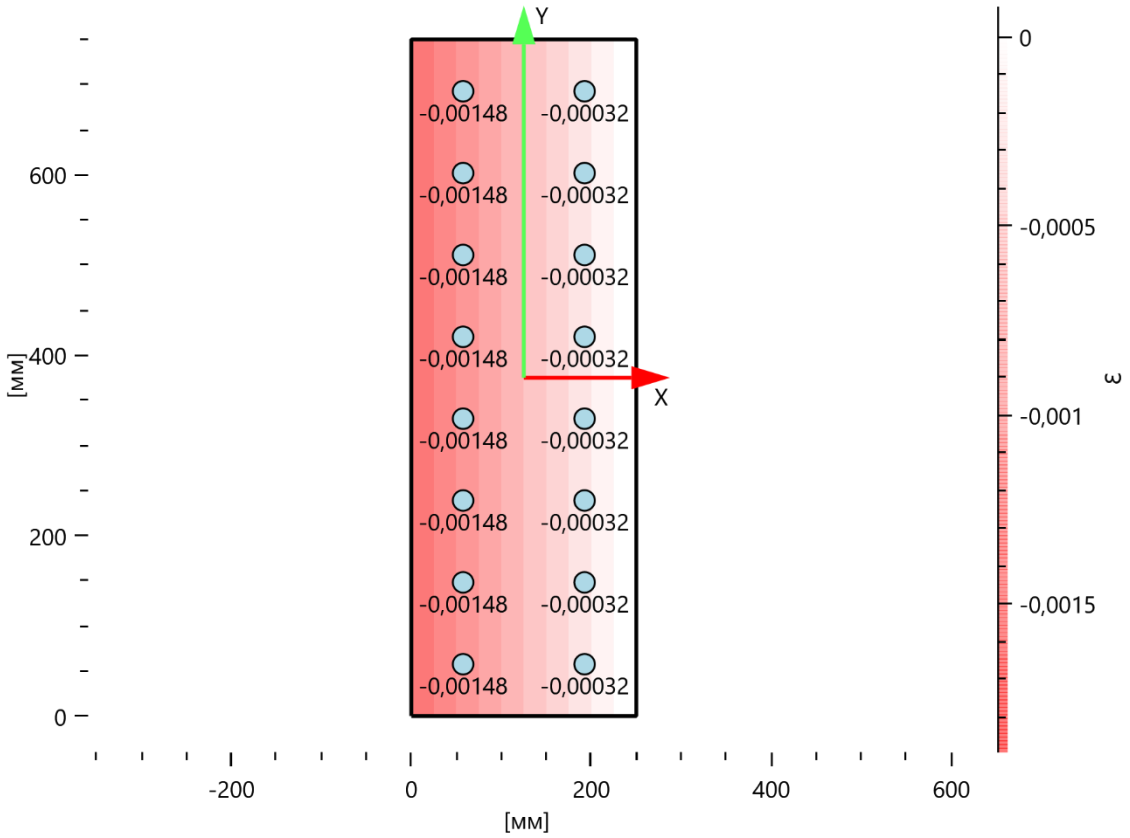
$$D_{12} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 44695,6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 4149609,7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

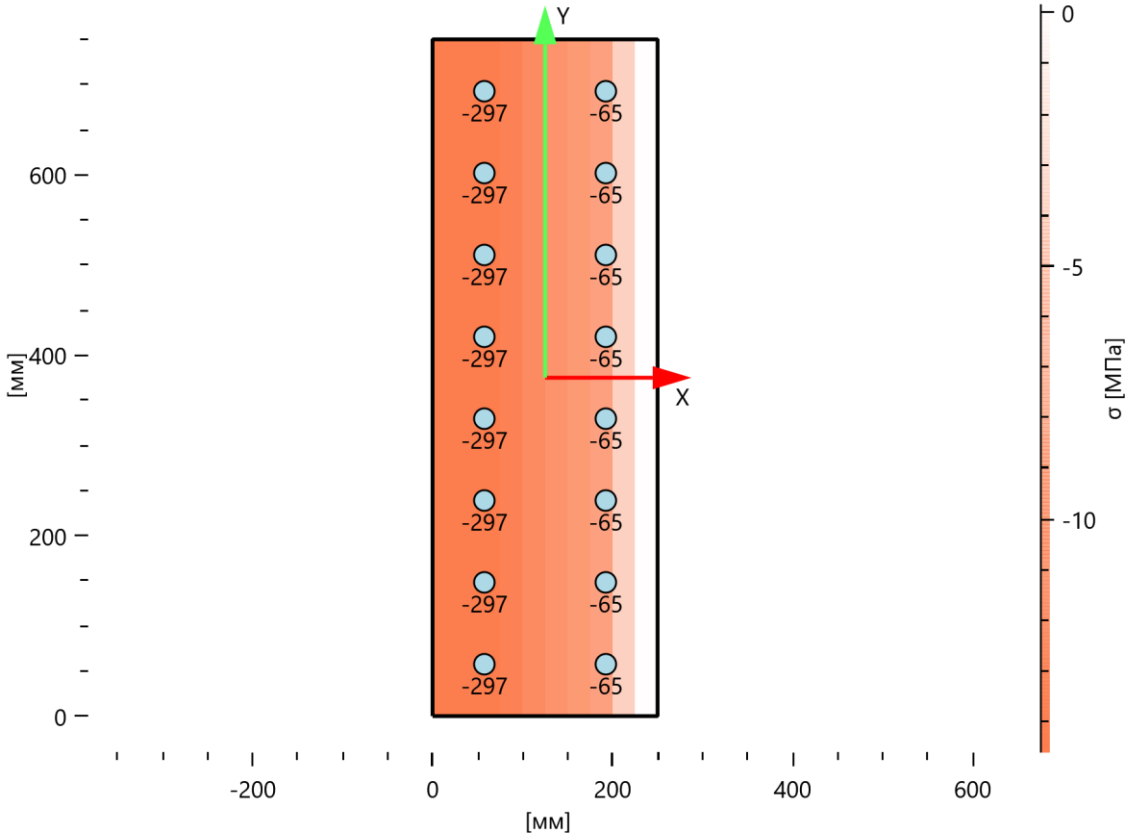
$$\frac{1}{r_x} = 0,00000000; \frac{1}{r_y} = 0,00859976;\ \varepsilon_0 = -0,00090403$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0,001872$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



Т.к. в сечении присутствуют деформации разных знаков, то предельное значение относительной деформаций бетона равняется $\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} = -0{,}0035$

Т.к. условия:

$$|\varepsilon_{b,max}| = |-0{,}001872| = 0{,}001872 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003500$$

$$\varepsilon_{s,max} = 0{,}000000 \leq \varepsilon_{s,ult} = 0{,}025$$

выполняются, то прочность сечения колонны обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость		46.2	120
Деформации сжатия в бетоне		-1.87‰	-3.50‰
Деформации растяжения в арматуре		0.00‰	25.00‰
Процент использования по N		84%	
Процент использования по Mx		0%	
Процент использования по My		66%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 200ММ В/О 2.4-2.5/2.Д-2.Е НА ОТМ. -0.100 НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Методика расчета принята согласно СП 63.13330.2018. Учет влияния прогиба производится согласно п. 8.1.14 - 8.1.15. Расчет сечения на основе нелинейной деформационной модели производится согласно п. 8.1.20 - 8.1.30.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Продольная сила $N = -2160{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 11{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

- Бетон класса B30
- Суммарный коэффициент работы $\gamma_b = 0{,}85$
- Расчетное сопротивление сжатию $R_b = 17 \cdot 0{,}85 = 14{,}45$ МПа
- Начальный модуль упругости $E_b = 32500$ МПа
- Диаграмма $\sigma - \varepsilon$ трехлинейная
- Деформационные характеристики бетона $\varepsilon_{b0} = -0{,}002$, $\varepsilon_{b2} = -0{,}0035$

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

- Арматура класса A500
- Расчетное сопротивление растяжению $R_s = 435$ МПа
- Расчетное сопротивление сжатию $R_{sc} = 400$ МПа
- Модуль упругости $E_s = 200000$ МПа
- Предельное значение отн. деформации удлинения арматуры $\varepsilon_{s,ult} = 0{,}025$
- Арматура у верхней и нижней грани - 2xØ20, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 4xØ20, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}17$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}2$ м
- Высота сечения $h = 0{,}6$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}7$, $\mu_y = 0{,}7$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}7 \cdot 4{,}17 = 2{,}919 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}7 \cdot 4{,}17 = 2{,}919 \text{ м}$$

Радиусы инерции сечения:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}003600}{0{,}2 \cdot 0{,}6}} = 0{,}173 \text{ м};\ i_y = \sqrt{\frac{I_y}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}000400}{0{,}2 \cdot 0{,}6}} = 0{,}058 \text{ м}$$

Гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{2{,}919}{0{,}173} = 16{,}9 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{2{,}919}{0{,}058} = 50{,}6 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}17}{600} = 0{,}007 \text{ м}$$

$$e_{a,x} \ge \frac{h}{30} = \frac{0{,}6}{30} = 0{,}020 \text{ м};\ e_{a,y} \ge \frac{b}{30} = \frac{0{,}2}{30} = 0{,}007 \text{ м}$$

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-2160{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{11{,}0}{-2160{,}0}\right| = 0{,}005 \text{ м}$$

Т.к. конструкция является статически неопределимой, то значение эксцентриситета продольной силы принимается равным значению эксцентриситета, полученному из статического расчета, но не менее случайного. Окончательно принимается:

$$e_{0,x} = 0{,}020 \text{ м};\ e_{0,y} = 0{,}010 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

$$\varphi_l = 1 + \frac{M_l}{M} = 1 + 0{,}9 = 1{,}9$$

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

$$0{,}15 \le \delta_{e,x} = \frac{e_{0,x}}{h} = \frac{0{,}020}{0{,}6} = 0{,}033 \le 1{,}5$$

$$0{,}15 \le \delta_{e,y} = \frac{e_{0,y}}{b} = \frac{0{,}010}{0{,}2} = 0{,}050 \le 1{,}5$$

Окончательно принимается:

$$\delta_{e,x} = 0{,}150;\ \delta_{e,y} = 0{,}150$$

Коэффициенты k_b:

$$k_{b,x} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,x})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}175$$

$$k_{b,y} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,y})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}175$$

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}003600 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000106 = 34721{,}1 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000400 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000008 = 3318{,}6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 34721{,}1}{2{,}919^2} = 40218{,}4 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 3318{,}6}{2{,}919^2} = 3844{,}0 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{2160{,}0}{40218{,}4}} = 1{,}057$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{2160{,}0}{3844{,}0}} = 2{,}283$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1{,}057 \cdot 0{,}0 = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 2{,}283 \cdot 11{,}0 = 25{,}1 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Полученные значения $M_x^{\text{расч.}}$ и $M_y^{\text{расч.}}$ используются при расчете сечения колонны на основе нелинейной деформационной модели.

Деформации бетона $\varepsilon_{b,max}$ и арматуры $\varepsilon_{s,max}$ в нормальном сечении определяется из решения системы уравнений (8.39)-(8.41) с использованием уравнений (8.29) и (8.30).

Расчет ведется итерационным методом. В первом приближении принимается упругая работа материалов. Распределение отн. деформаций бетона и арматуры по высоте сечения элемента принимается по линейному закону. Сопротивление бетона растянутой зоны не учитывается. Переход от эпюры напряжений в бетоне к обобщенным внутренним усилиям определяется с помощью процедуры численного интегрирования напряжений по нормальному сечению. Для этого нормальное сечение разделено на малые участки, напряжения в пределах этих участков приняты равномерно распределенными.

Результатом решения системы уравнений является нахождение жесткостных характеристик D_{ij}, кривизны элемента $\frac{1}{r_x}$ и $\frac{1}{r_y}$ и отн. деформации ε_0 в точке центра тяжести сечения:

$$D_{11} = 81498{,}1 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 8934{,}6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

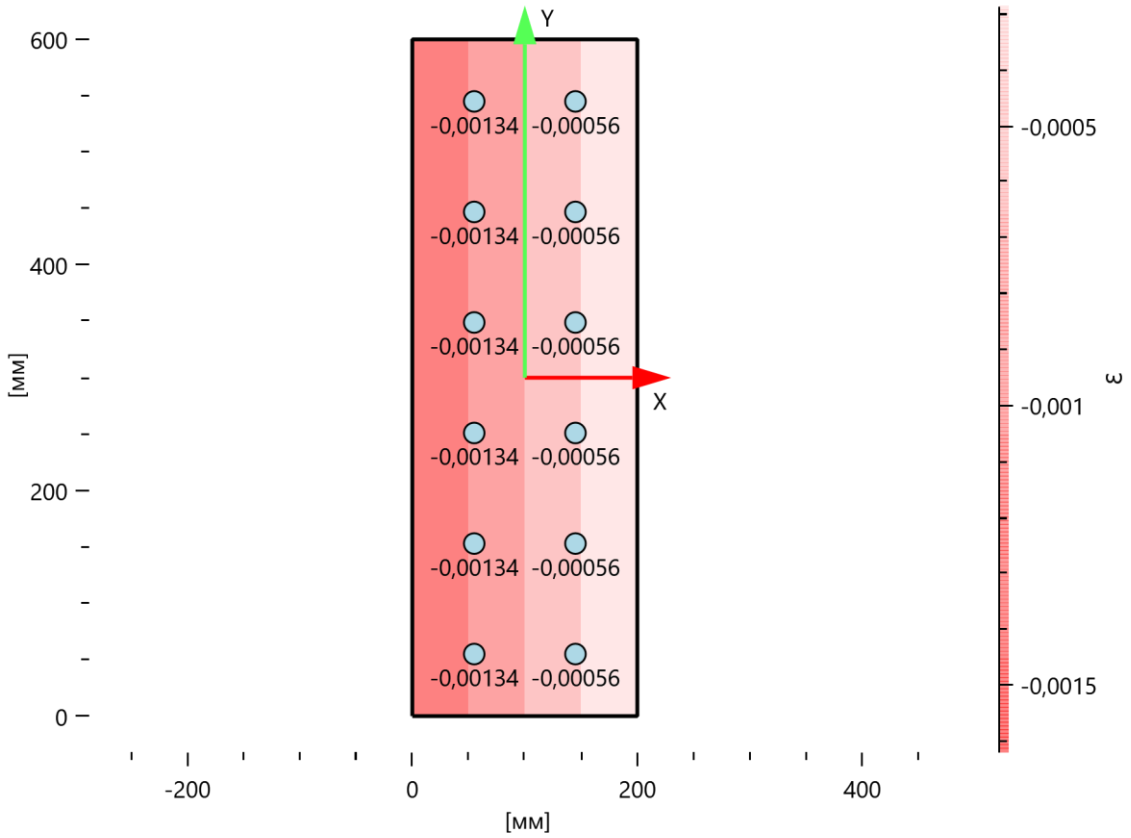
$$D_{12} = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 55498{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 2777195{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

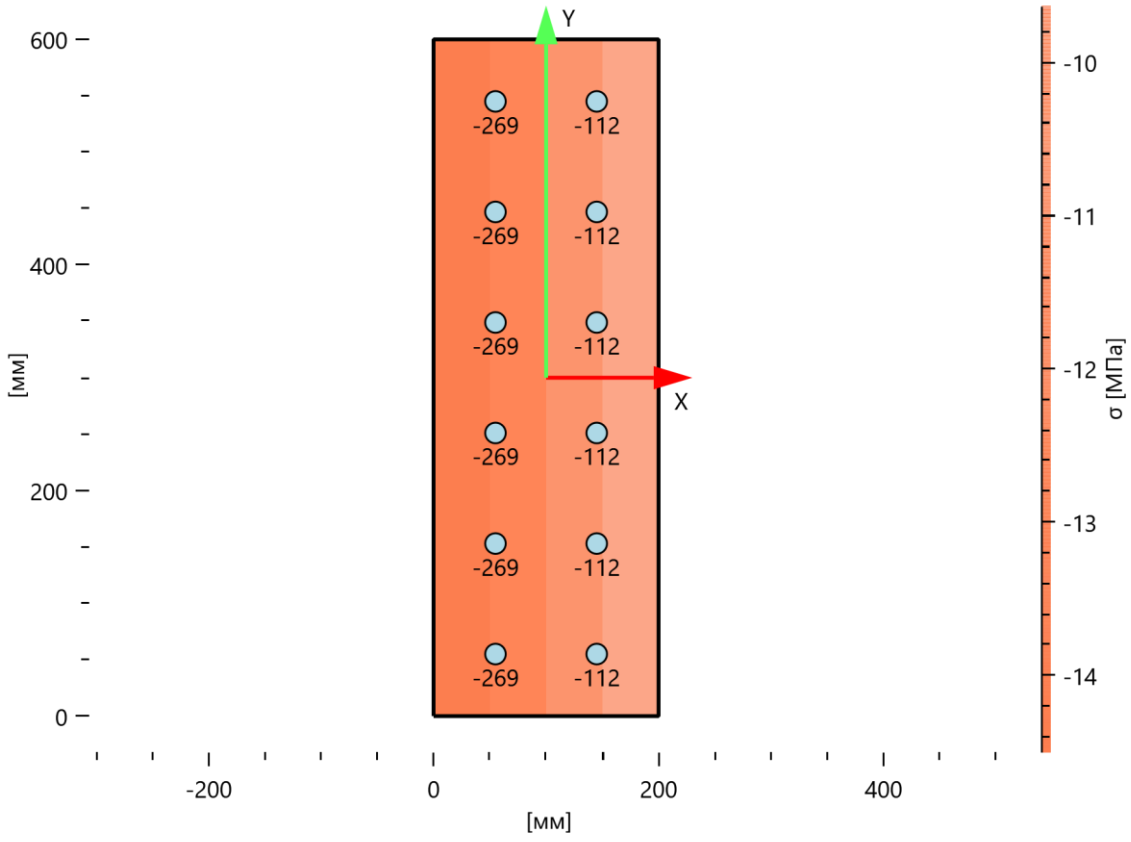
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00872427;\ \varepsilon_0 = -0{,}00095210$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}001606$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



Т.к. в сечении присутствуют деформации одного знака, то предельное значение относительной деформаций бетона определяется по формуле:

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000298}{-0{,}001606} = 0{,}003222$$

где ε_1 и ε_2 - минимальная и максимальная по модулю деформации в сечении.

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001606| = 0{,}001606 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003222$$

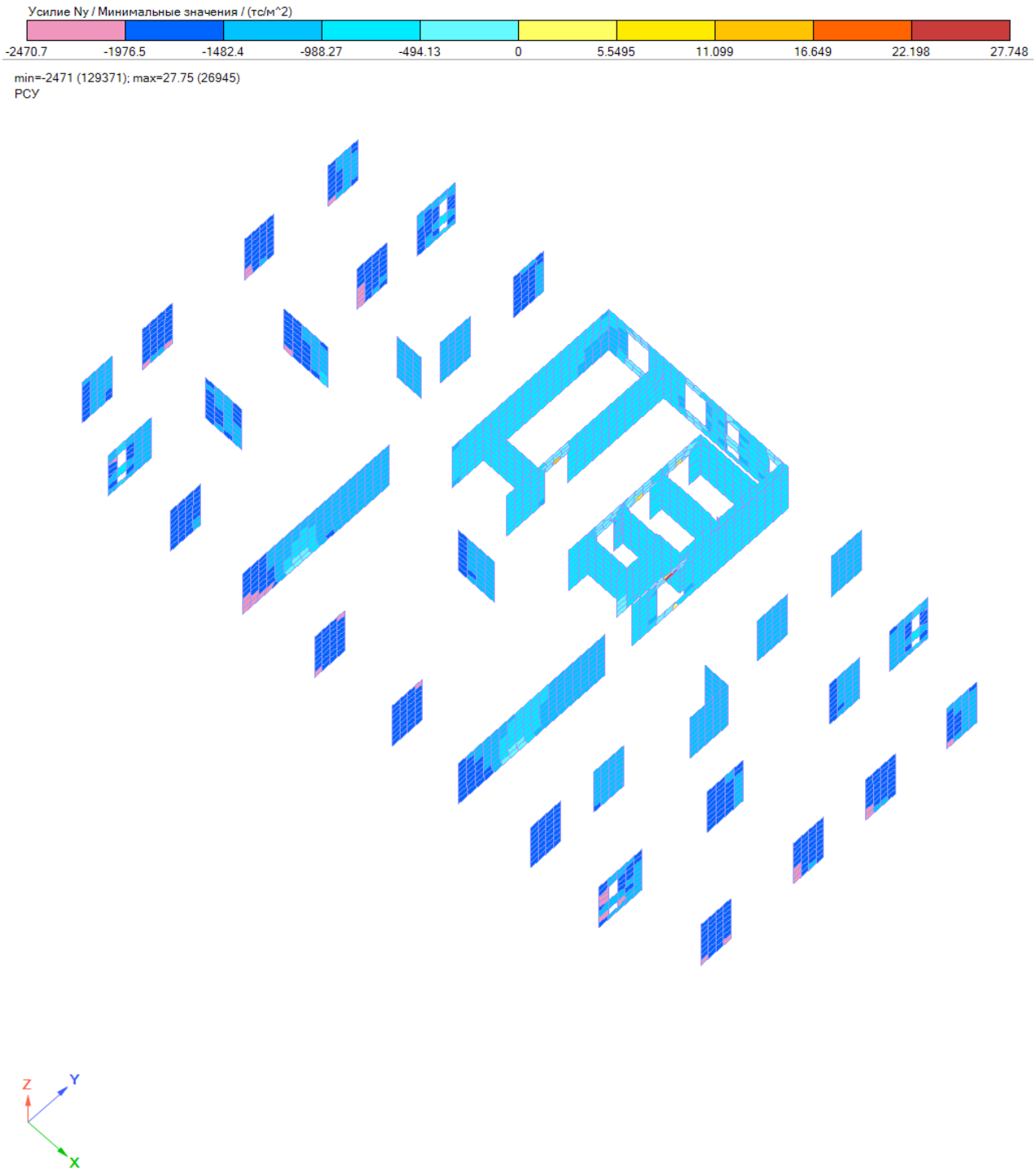
выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

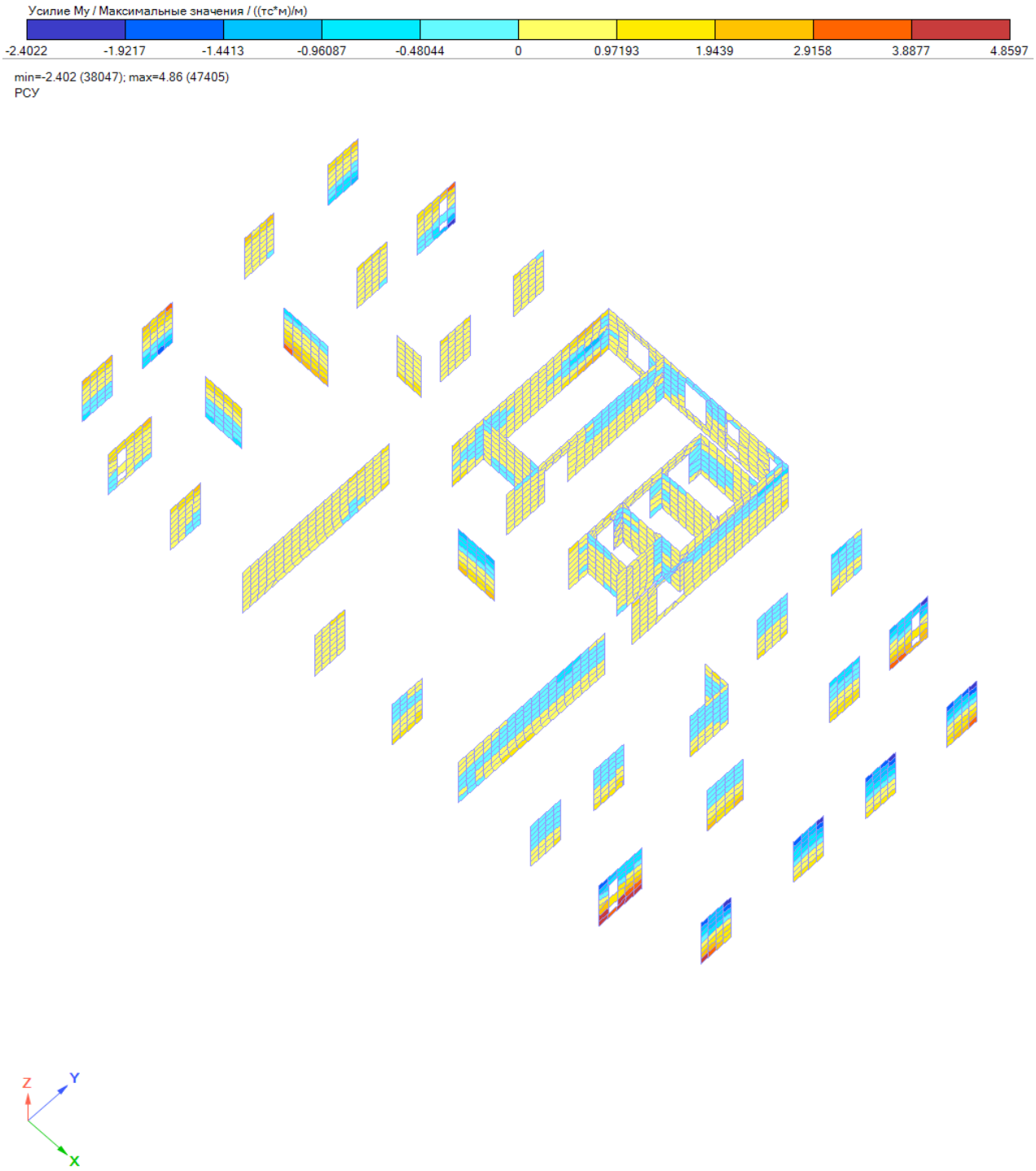
Гибкость	50.6	120	
Деформации сжатия в бетоне	-1.61‰	-3.22‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	85%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	42%		

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

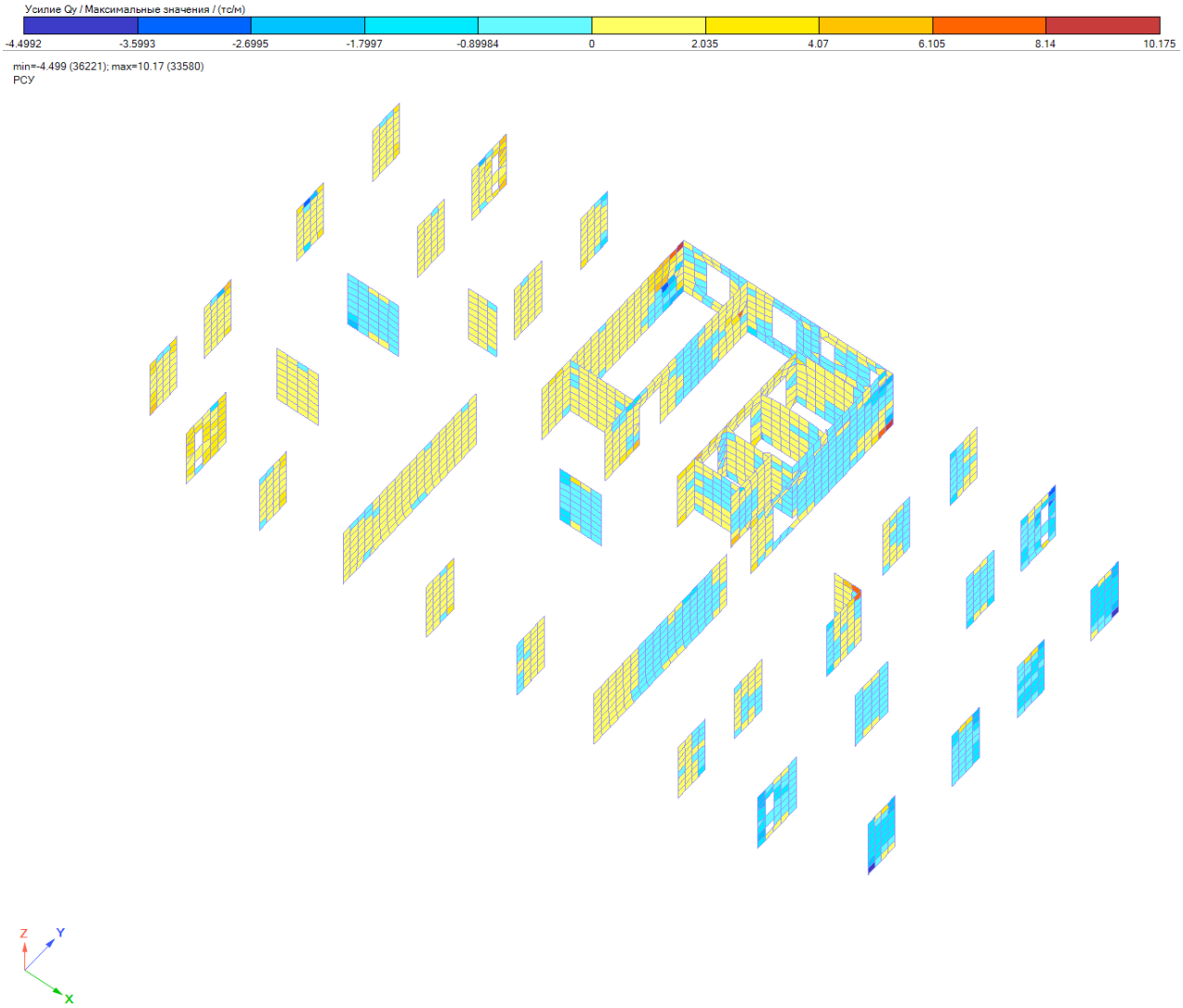
3.2. РАСЧЕТ СТЕН С ОТМ. +4.250



Изополя усилия Ny, тс*/м2



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qy, тс/м

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 250ММ В/О 2.9/2.А-2.Б С ОТМ. +4.250...+73.250 НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Методика расчета принята согласно СП 63.13330.2018. Учет влияния прогиба производится согласно п. 8.1.14 - 8.1.15. Расчет сечения на основе нелинейной деформационной модели производится согласно п. 8.1.20 - 8.1.30.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Продольная сила $N = -2287{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 19{,}7$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

- Бетон класса В30
- Суммарный коэффициент работы $\gamma_b = 0{,}85$
- Расчетное сопротивление сжатию $R_b = 17 \cdot 0{,}85 = 14{,}45$ МПа
- Начальный модуль упругости $E_b = 32500$ МПа
- Диаграмма $\sigma - \varepsilon$ трехлинейная
- Деформационные характеристики бетона $\varepsilon_{b0} = -0{,}002$, $\varepsilon_{b2} = -0{,}0035$

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

- Арматура класса А500
- Расчетное сопротивление растяжению $R_s = 435$ МПа
- Расчетное сопротивление сжатию $R_{sc} = 400$ МПа
- Модуль упругости $E_s = 200000$ МПа
- Предельное значение отн. деформации удлинения арматуры $\varepsilon_{s,ult} = 0{,}025$
- Арматура у верхней и нижней грани - 2хØ25, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 2хØ25, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 2{,}82$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}25$ м
- Высота сечения $h = 0{,}4$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}8$, $\mu_y = 0{,}8$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 2{,}82 = 2{,}256 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 2{,}82 = 2{,}256 \text{ м}$$

Радиусы инерции сечения:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}001333}{0{,}25 \cdot 0{,}4}} = 0{,}115 \text{ м};\ i_y = \sqrt{\frac{I_y}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}000521}{0{,}25 \cdot 0{,}4}} = 0{,}072 \text{ м}$$

Гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{2{,}256}{0{,}115} = 19{,}5 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{2{,}256}{0{,}072} = 31{,}3 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{2{,}82}{600} = 0{,}005 \text{ м}$$

$$e_{a,x} \ge \frac{h}{30} = \frac{0{,}4}{30} = 0{,}013 \text{ м};\ e_{a,y} \ge \frac{b}{30} = \frac{0{,}25}{30} = 0{,}008 \text{ м}$$

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-2287{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{19{,}7}{-2287{,}0}\right| = 0{,}009 \text{ м}$$

Т.к. конструкция является статически неопределимой, то значение эксцентриситета продольной силы принимается равным значению эксцентриситета, полученному из статического расчета, но не менее случайного. Окончательно принимается:

$$e_{0,x} = 0{,}013 \text{ м};\ e_{0,y} = 0{,}010 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

$$\varphi_l = 1 + \frac{M_l}{M} = 1 + 0{,}9 = 1{,}9$$

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

$$0{,}15 \le \delta_{e,x} = \frac{e_{0,x}}{h} = \frac{0{,}013}{0{,}4} = 0{,}033 \le 1{,}5$$

$$0{,}15 \le \delta_{e,y} = \frac{e_{0,y}}{b} = \frac{0{,}010}{0{,}25} = 0{,}040 \le 1{,}5$$

Окончательно принимается:

$$\delta_{e,x} = 0{,}150;\ \delta_{e,y} = 0{,}150$$

Коэффициенты k_b:

$$k_{b,x} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,x})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}175$$

$$k_{b,y} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,y})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}175$$

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}001333 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000044 = 13572{,}5 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000521 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000018 = 5393{,}2 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 13572{,}5}{2{,}256^2} = 26319{,}8 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 5393{,}2}{2{,}256^2} = 10458{,}4 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{2287{,}0}{26319{,}8}} = 1{,}095$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{2287{,}0}{10458{,}4}} = 1{,}280$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1{,}095 \cdot 0{,}0 = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1{,}280 \cdot 19{,}7 = 25{,}2 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Полученные значения $M_x^{\text{расч.}}$ и $M_y^{\text{расч.}}$ используются при расчете сечения колонны на основе нелинейной деформационной модели.

Деформации бетона $\varepsilon_{b,max}$ и арматуры $\varepsilon_{s,max}$ в нормальном сечении определяется из решения системы уравнений (8.39)-(8.41) с использованием уравнений (8.29) и (8.30).

Расчет ведется итерационным методом. В первом приближении принимается упругая работа материалов. Распределение отн. деформаций бетона и арматуры по высоте сечения элемента принимается по линейному закону. Сопротивление бетона растянутой зоны не учитывается. Переход

от эпюры напряжений в бетоне к обобщенным внутренним усилиям определяется с помощью процедуры численного интегрирования напряжений по нормальному сечению. Для этого нормальное сечение разделено на малые участки, напряжения в пределах этих участков приняты равномерно распределенными.

Результатом решения системы уравнений является нахождение жесткостных характеристик D_{ij}, кривизны элемента $\frac{1}{r_x}$ и $\frac{1}{r_y}$ и отн. деформации ε_0 в точке центра тяжести сечения:

$$D_{11} = 23602{,}8\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 9379{,}2\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

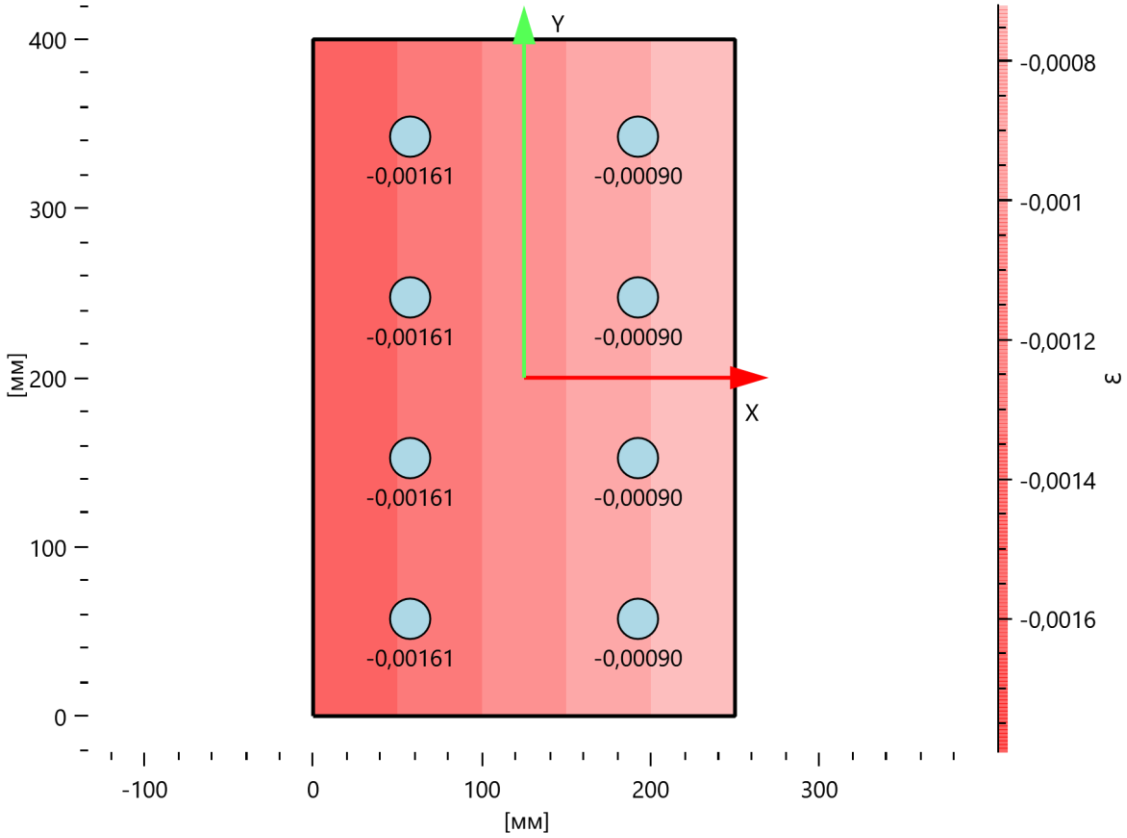
$$D_{12} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 19174{,}1\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 1902311{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

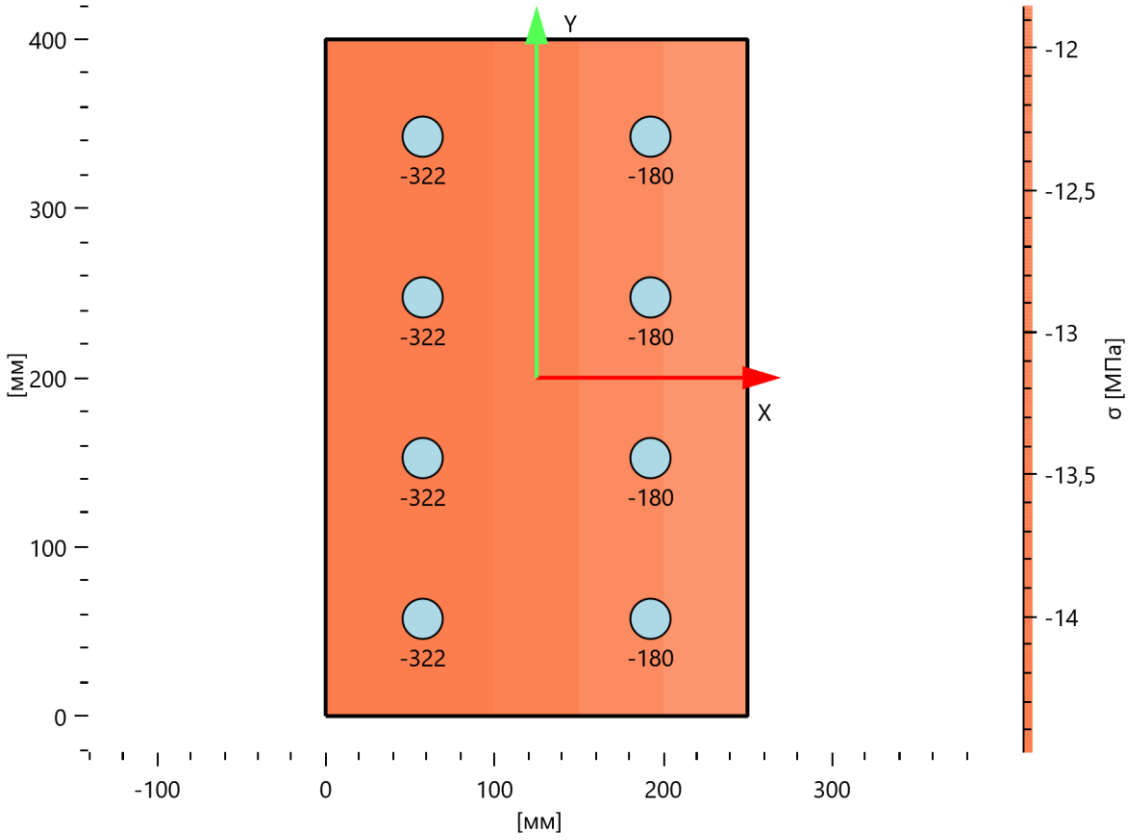
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00525362;\ \varepsilon_0 = -0{,}00125515$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}001781$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



Т.к. в сечении присутствуют деформации одного знака, то предельное значение относительной деформаций бетона определяется по формуле:

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000730}{-0{,}001781} = 0{,}002885$$

где ε_1 и ε_2 - минимальная и максимальная по модулю деформации в сечении.

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001781| = 0{,}001781 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}002885$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	31.3	120	
Деформации сжатия в бетоне	-1.78‰	-2.89‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	89%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	52%		

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 200ММ В/О 2.4/2.А-2.Б С ОТМ. +4.250...+73.250 НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Методика расчета принята согласно СП 63.13330.2018. Учет влияния прогиба производится согласно п. 8.1.14 - 8.1.15. Расчет сечения на основе нелинейной деформационной модели производится согласно п. 8.1.20 - 8.1.30.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Продольная сила $N = -2520{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 7{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

- Бетон класса В30
- Суммарный коэффициент работы $\gamma_b = 0{,}85$
- Расчетное сопротивление сжатию $R_b = 17 \cdot 0{,}85 = 14{,}45$ МПа

- Начальный модуль упругости $E_b = 32500$ МПа
- Диаграмма $\sigma - \varepsilon$ трехлинейная
- Деформационные характеристики бетона $\varepsilon_{b0} = -0{,}002$, $\varepsilon_{b2} = -0{,}0035$

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

- Арматура класса А500
- Расчетное сопротивление растяжению $R_s = 435$ МПа
- Расчетное сопротивление сжатию $R_{sc} = 400$ МПа
- Модуль упругости $E_s = 200000$ МПа
- Предельное значение отн. деформации удлинения арматуры $\varepsilon_{s,ult} = 0{,}025$
- Арматура у верхней и нижней грани - 2xØ20, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 4xØ20, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 2{,}82$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}2$ м
- Высота сечения $h = 0{,}6$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}8$, $\mu_y = 0{,}8$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 2{,}82 = 2{,}256 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 2{,}82 = 2{,}256 \text{ м}$$

Радиусы инерции сечения:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}003600}{0{,}2 \cdot 0{,}6}} = 0{,}173 \text{ м};\ i_y = \sqrt{\frac{I_y}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}000400}{0{,}2 \cdot 0{,}6}} = 0{,}058 \text{ м}$$

Гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{2{,}256}{0{,}173} = 13{,}0 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{2{,}256}{0{,}058} = 39{,}1 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{2{,}82}{600} = 0{,}005 \text{ м}$$

$$e_{a,x} \ge \frac{h}{30} = \frac{0{,}6}{30} = 0{,}020 \text{ м};\ e_{a,y} \ge \frac{b}{30} = \frac{0{,}2}{30} = 0{,}007 \text{ м}$$

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-2520{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{7{,}0}{-2520{,}0}\right| = 0{,}003 \text{ м}$$

Т.к. конструкция является статически неопределимой, то значение эксцентриситета продольной силы принимается равным значению эксцентриситета, полученному из статического расчета, но не менее случайного. Окончательно принимается:

$$e_{0,x} = 0{,}020 \text{ м};\ e_{0,y} = \ 0{,}010 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

$$\varphi_l = 1 + \frac{M_l}{M} = 1 + 0{,}9 = 1{,}9$$

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

$$0{,}15 \le \delta_{e,x} = \frac{e_{0,x}}{h} = \frac{0{,}020}{0{,}6} = 0{,}033 \le 1{,}5$$

$$0{,}15 \le \delta_{e,y} = \frac{e_{0,y}}{b} = \frac{0{,}010}{0{,}2} = 0{,}050 \le 1{,}5$$

Окончательно принимается:

$$\delta_{e,x} = 0{,}150;\ \delta_{e,y} = 0{,}150$$

Коэффициенты k_b:

$$k_{b,x} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,x})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}175$$

$$k_{b,y} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,y})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}175$$

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}003600 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000106 = 34721{,}1 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000400 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000008 = 3318{,}6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 34721{,}1}{2{,}256^2} = 67330{,}9 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 3318{,}6}{2{,}256^2} = 6435{,}4 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{2520,0}{67330,9}} = 1,039$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{2520,0}{6435,4}} = 1,644$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1,039 \cdot 0,0 = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1,644 \cdot 7,0 = 11,5 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Полученные значения $M_x^{\text{расч.}}$ и $M_y^{\text{расч.}}$ используются при расчете сечения колонны на основе нелинейной деформационной модели.

Деформации бетона $\varepsilon_{b,max}$ и арматуры $\varepsilon_{s,max}$ в нормальном сечении определяется из решения системы уравнений (8.39)-(8.41) с использованием уравнений (8.29) и (8.30).

Расчет ведется итерационным методом. В первом приближении принимается упругая работа материалов. Распределение отн. деформаций бетона и арматуры по высоте сечения элемента принимается по линейному закону. Сопротивление бетона растянутой зоны не учитывается. Переход от эпюры напряжений в бетоне к обобщенным внутренним усилиям определяется с помощью процедуры численного интегрирования напряжений по нормальному сечению. Для этого нормальное сечение разделено на малые участки, напряжения в пределах этих участков приняты равномерно распределенными.

Результатом решения системы уравнений является нахождение жесткостных характеристик D_{ij}, кривизны элемента $\frac{1}{r_x}$ и $\frac{1}{r_y}$ и отн. деформации ε_0 в точке центра тяжести сечения:

$$D_{11} = 60958,7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 5783,2 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

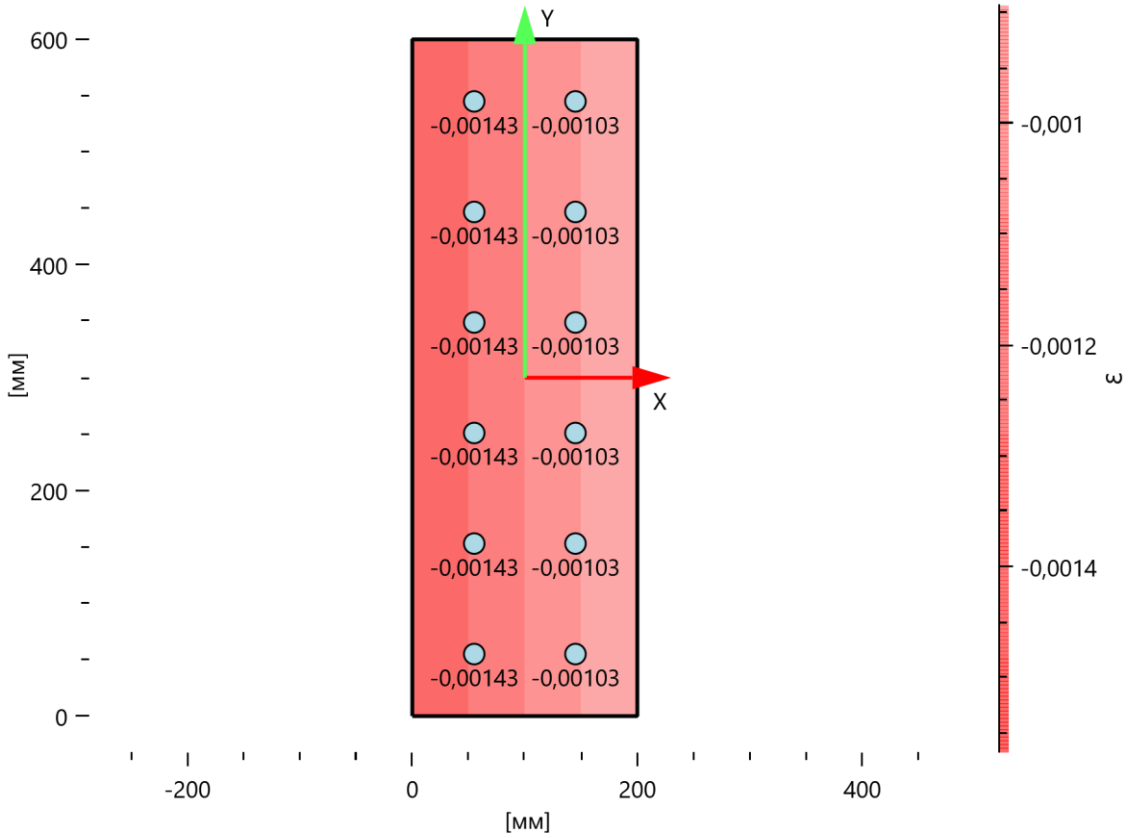
$$D_{12} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 11320,8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 2088646,7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

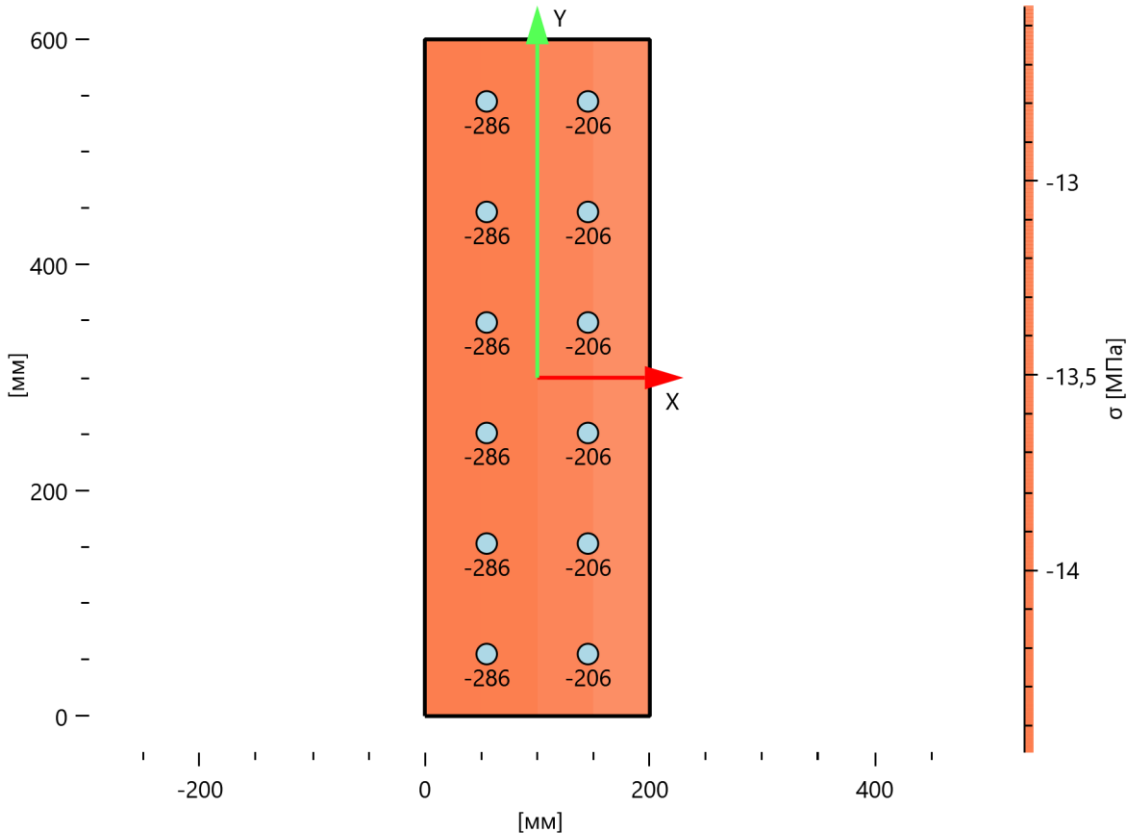
$$\frac{1}{r_x} = 0,00000000; \frac{1}{r_y} = 0,00439764;\ \varepsilon_0 = -0,00123035$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0,001560$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



Т.к. в сечении присутствуют деформации одного знака, то предельное значение относительной деформаций бетона определяется по формуле:

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000901}{-0{,}001560} = 0{,}002634$$

где ε_1 и ε_2 - минимальная и максимальная по модулю деформации в сечении.

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001560| = 0{,}001560 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}002634$$

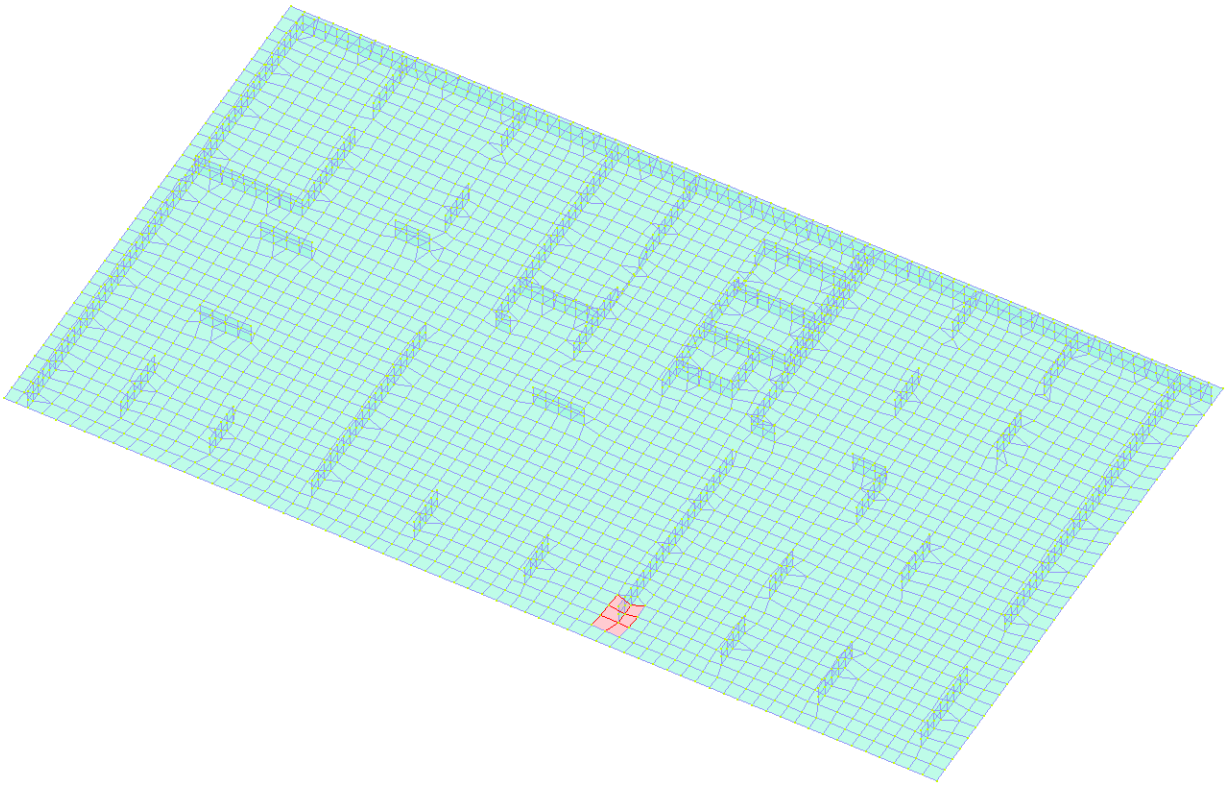
выполняется, то прочность сечения обеспечена.

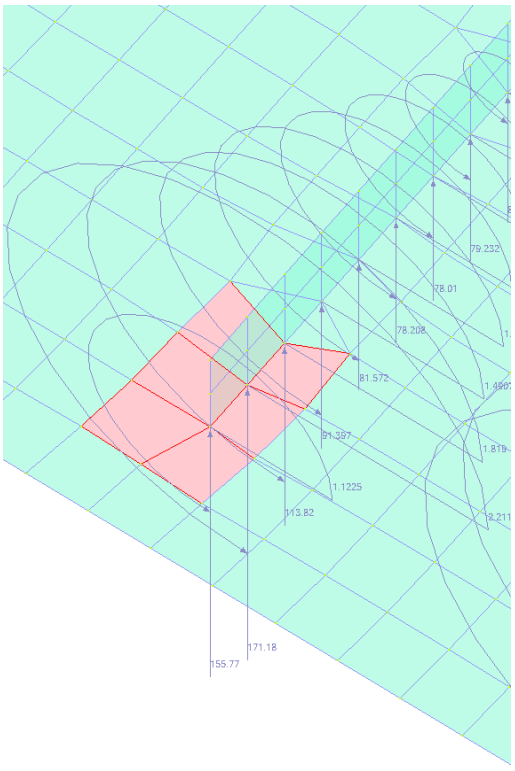
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	39.1	120	
Деформации сжатия в бетоне	-1.56‰	-2.63‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	86%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	32%		

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

4. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ФУНДАМЕНТНОЙ ПЛИТЫ ОТМ. -7.200





Расчет на продавливание согласно СП 63.13330.2018.

Конструкция - фундамент, рядовая стена в/о 2.7/2.А-2.Б на отм. -7.200

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Ширина сечения $b_1 = 30$ см $= 0.3$ м
- Толщина плиты $h = 90$ см $= 0.9$ м
- Защитный слой арматуры по направлению X $a_x = 5$ см $= 0.05$ м
- Защитный слой арматуры по направлению Y $a_y = 5$ см $= 0.05$ м
- Класс бетона B30 $R_{bt} = 1150$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы бетона $\gamma_b = 1$
- Класс арматуры A500 $R_{sw} = 300000$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы арматуры $\gamma_s = 1.0$
- Диаметр поперечной арматуры $d_s = 10$ мм $= 0.01$ м
- Количество стержней поперечной арматуры $n_s = 18$
- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 100$ мм $= 0.1$ м
- Продольная сила $N_{sup} = 4410$ кН;
- Изгибающий момент , $M_{y,sup} = 51$ кНм
- Нагрузка на перекрытие $q_{int} = 350$ кН/м^2

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

$$h_{0x} = h - a_x = 0.9 - 0.05 = 0.85 \text{ м}$$

$$h_{0y} = h - a_y = 0.9 - 0.05 = 0.85 \text{ м}$$

$$h_0 = 0.5\left(h_{0x} + h_{0y}\right) = 0.5(0.85 + 0.85) = 0.85 \text{ м}$$

$$F = N_{sup} - F_q$$

$$F_q = q_{int} A_q$$

$$A_q = (b_1 + h_0)\left(b_1 + \frac{h_0}{2}\right) = (0.3 + h_0)\left(0.3 + \frac{h_0}{2}\right) = 0.8338 \text{ м}^2$$

$$F_q = q_{int} A_q = 350 \cdot 0.8338 = 291.81 \text{ кН}$$

$$F = N_{sup} - F_q = 4410 - 291.81 = 4118.19 \text{ кН}$$

$$M_y = \frac{M_{y,sup}}{2} = \frac{51}{2} = 25.5 \text{ кНм}$$

$$b = b_1 + h_0 = 0.3 + 0.85 = 1.15 \text{ м}$$

$$a = b_1 + h_0 = 0.3 + 0.85 = 1.15 \text{ м}$$

$$U_b = b + 2a = 1.15 + 2 \cdot 1.15 = 3.45 \text{ м}$$

$$F_{b,ult} = R_{bt}\gamma_b U_b h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 3.45 \cdot 0.85 = 3372.38 \text{ кН}$$

$$M_{b,y,ult} = R_{bt}\gamma_b W_{by} h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 6.6125E-001 \cdot 0.85 = 646.37 \text{ кНм}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} = \frac{4118.19}{3372.38} = 1.221$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = \frac{25.5}{646.37} = 0.039$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 1.221 + 0.039 = 1.261$$

Коэффициент использования $1.261 > 1$, установка поперечной арматуры требуется

$$U_s = U_b = 3.45 \text{ м}$$

$$q_{sw} = \frac{R_{sw}A_{sw}}{s_w} = \frac{300000 \cdot 1.4137E-003}{0.1} = 4241.15 \text{ кН/м}$$

$$F_{sw,ult} = 0.8q_{sw}U_s = 0.8 \cdot 4241.15 \cdot 3.45 = 11705.57 \text{ кН}$$

Условие $F_{sw,ult} = 11705.6\text{кН} \geq 0.25F_{b,ult} = 843.1\text{кН}$ выполняется.

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 3372.38 + 11705.57 = 15077.95 \text{ кН}$$

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 15077.95 > 2F_{b,ult} = 2 \cdot 3372.38 = 6744.75 \Rightarrow F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 6744.75 \text{ кН}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{4118.19}{6744.75} = 0.611$$

$$W_{sw,y} = W_{by} = 6.6125E-001 \text{ м}^2$$

$$M_{sw,y,ult} = 0.8q_{sw}W_{sw,y} = 0.8 \cdot 4241.15 \cdot 6.6125E-001 = 2243.57 \text{ кНм}$$

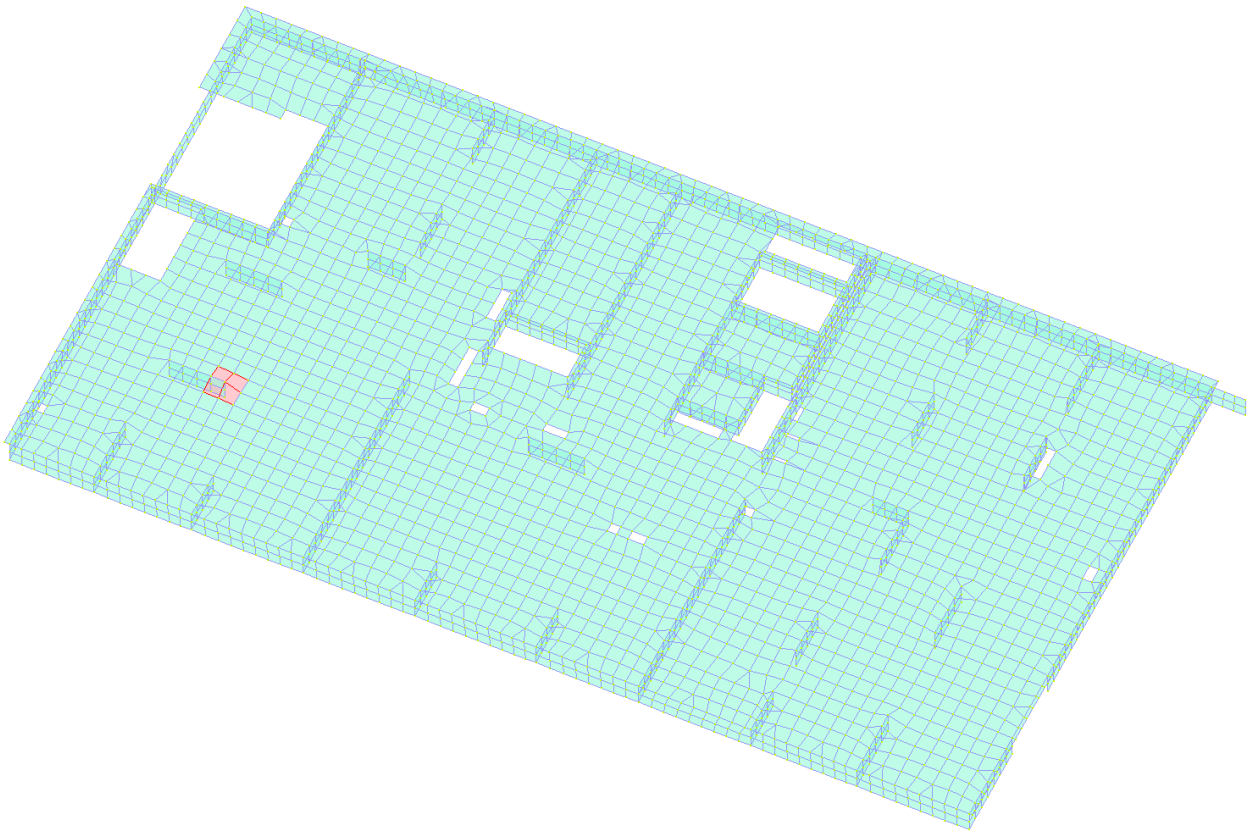
$$M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult} = 646.37 + 2243.57 = 2889.94 \text{ кНм}$$

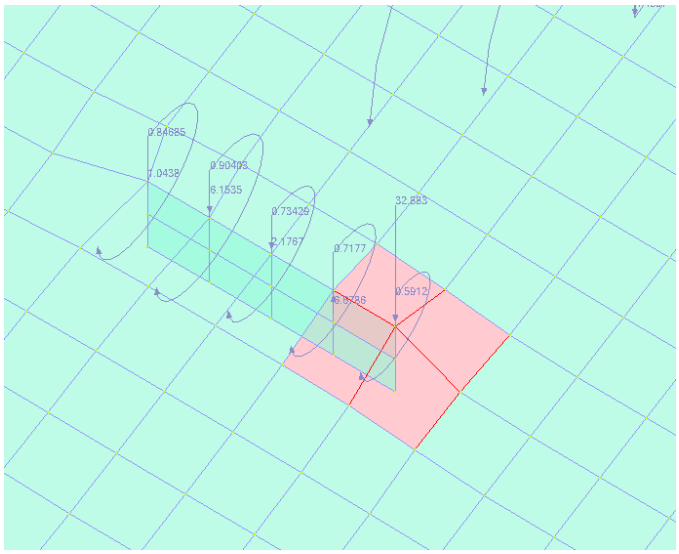
$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{25.5}{1292.74} = 0.02$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.611 + 0.02 = 0.63$$

Коэффициент использования составляет $K = 0.63$. Условие прочности выполняется

4.1. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПЛИТЫ НА ОТМ. -0.100





Расчет на продавливание согласно СП 63.13330.2018.

Конструкция - плита, рядовая стена в/о 2.2.-2.3/2.Б-2.В на отм. -0.100

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Ширина сечения $b_1 = 25$ см $= 0.25$ м
- Толщина плиты $h = 20$ см $= 0.2$ м
- Защитный слой арматуры по направлению X $a_x = 3$ см $= 0.03$ м
- Защитный слой арматуры по направлению Y $a_y = 4$ см $= 0.04$ м
- Класс бетона B30 $R_{bt} = 1150$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы бетона $\gamma_b = 1$
- Класс арматуры A500 $R_{sw} = 300000$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы арматуры $\gamma_s = 1.0$
- Диаметр поперечной арматуры $d_s = 8$ мм $= 0.008$ м
- Количество стержней поперечной арматуры $n_s = 18$
- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 50$ мм $= 0.05$ м
- Продольная сила $N_{sup} = 267$ кН;
- Изгибающий момент , $M_{y,sup} = 15$ кНм

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

$$h_{0x} = h - a_x = 0.2 - 0.03 = 0.17 \text{ м}$$

$$h_{0y} = h - a_y = 0.2 - 0.04 = 0.16 \text{ м}$$

$$h_0 = 0.5\left(h_{0x} + h_{0y}\right) = 0.5(0.17 + 0.16) = 0.165 \text{ м}$$

$$F = N_{sup} = 267 \text{ кН}$$

$$M_y = \frac{M_{y,sup}}{2} = \frac{15}{2} = 7.5 \text{ кНм}$$

$$b = b_1 + h_0 = 0.25 + 0.165 = 0.415 \text{ м}$$

$$a = b_1 + h_0 = 0.25 + 0.165 = 0.415 \text{ м}$$

$$U_b = b + 2a = 0.415 + 2 \cdot 0.415 = 1.245 \text{ м}$$

$$F_{b,ult} = R_{bt}\gamma_b U_b h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 1.245 \cdot 0.165 = 236.24 \text{ кН}$$

$$M_{b,y,ult} = R_{bt}\gamma_b W_{by} h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 8.6113E-002 \cdot 0.165 = 16.34 \text{ кНм}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} = \frac{267}{236.24} = 1.13$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = \frac{7.5}{16.34} = 0.459$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 1.13 + 0.459 = 1.589$$

Коэффициент использования $1.589 > 1$, установка поперечной арматуры требуется

$$U_s = U_b = 1.245 \text{ м}$$

$$q_{sw} = \frac{R_{sw}A_{sw}}{s_w} = \frac{300000 \cdot 9.0478E-004}{0.05} = 5428.67 \text{ кН/м}$$

$$F_{sw,ult} = 0.8 q_{sw} U_s = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 1.245 = 5406.96 \text{ кН}$$

Условие $F_{sw,ult} = 5407\text{кН} \geq 0.25F_{b,ult} = 59.1\text{кН}$ выполняется.

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 236.24 + 5406.96 = 5643.2 \text{ кН}$$

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 5643.2 > 2F_{b,ult} = 2 \cdot 236.24 = 472.48 \Rightarrow F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 472.48 \text{ кН}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{267}{472.48} = 0.565$$

$$W_{sw,y} = W_{by} = 8.6113E-002 \text{ м}^2$$

$$M_{sw,y,ult} = 0.8 q_{sw} W_{sw,y} = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 8.6113E-002 = 373.98 \text{ кНм}$$

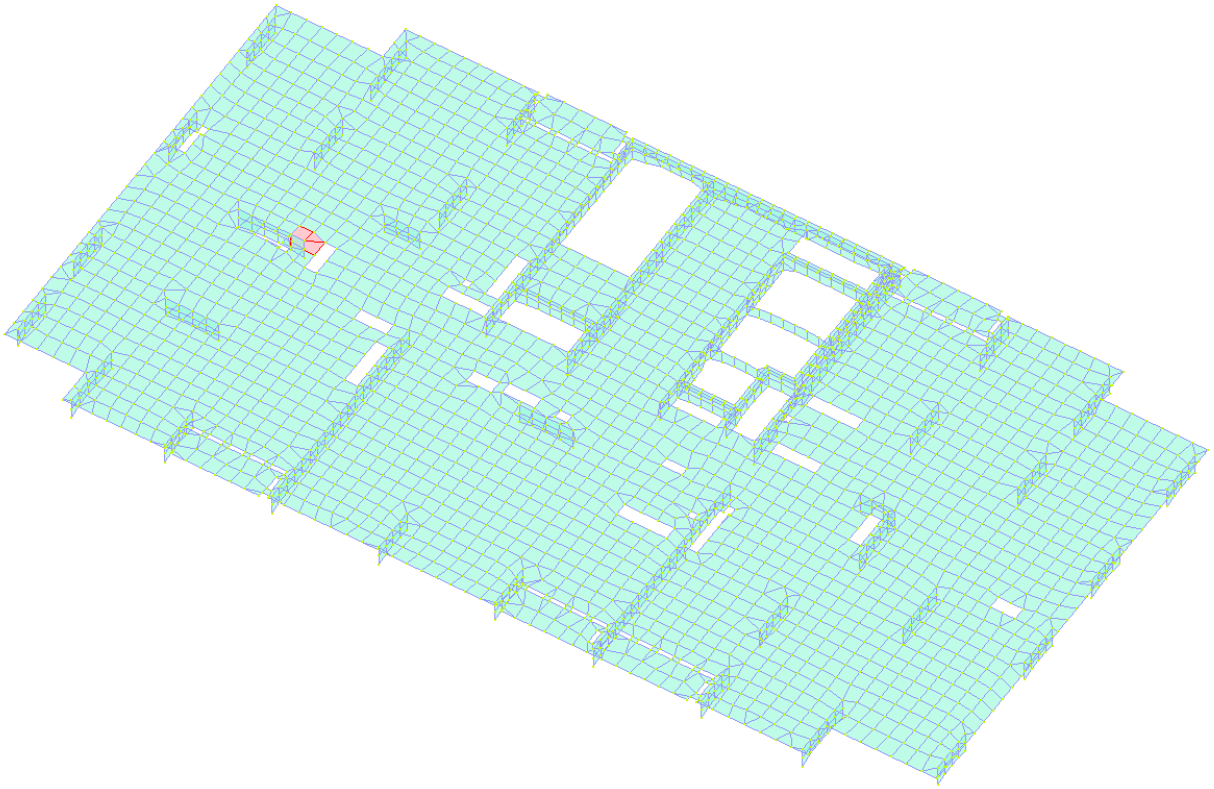
$$M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult} = 16.34 + 373.98 = 390.32 \text{ кНм}$$

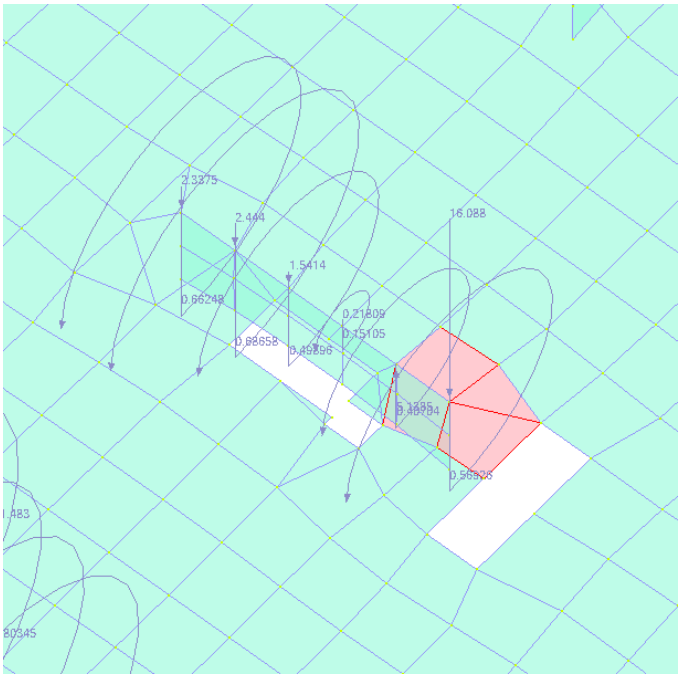
$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{7.5}{32.68} = 0.23$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.565 + 0.23 = 0.795$$

Коэффициент использования составляет $K = 0.795$. Условие прочности выполняется

4.2. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ТИПОВОЙ ПЛИТЫ С ОТМ. +4.250...+73.250





Расчет на продавливание согласно СП 63.13330.2018.

Конструкция - плита, крайняя стена в/о 2.1-2.3/2.В-2.Г на отм. +4.250...+73.250

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Ширина сечения $b_1 = 20$ см $= 0.2$ м
- Расстояние от края плиты до грани $c_x = 3.5$ см $= 0.035$ м
- Толщина плиты $h = 18$ см $= 0.18$ м
- Защитный слой арматуры по направлению X $a_x = 3$ см $= 0.03$ м
- Защитный слой арматуры по направлению Y $a_y = 4$ см $= 0.04$ м
- Класс бетона В30 $R_{bt} = 1150$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы бетона $\gamma_b = 1$
- Класс арматуры А500 $R_{sw} = 300000$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы арматуры $\gamma_s = 1.0$
- Диаметр поперечной арматуры $d_s = 8$ мм $= 0.008$ м
- Количество стержней поперечной арматуры $n_s = 18$
- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 50$ мм $= 0.05$ м
- Продольная сила $N_{sup} = 110$ кН;
- Изгибающий момент , $M_{y,sup} = 11$ кНм

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

$$h_{0x} = h - a_x = 0.18 - 0.03 = 0.15 \text{ м}$$

$$h_{0y} = h - a_y = 0.18 - 0.04 = 0.14 \text{ м}$$

$$h_0 = 0.5\left(h_{0x} + h_{0y}\right) = 0.5(0.15 + 0.14) = 0.145 \text{ м}$$

$$F = N_{sup} = 110 \text{ кН}$$

$$M_y = \frac{M_{y,sup}}{2} = \frac{11}{2} = 5.5 \text{ кНм}$$

$$b = b_1 + \frac{h_0}{2} + c_x = 0.2 + \frac{0.145}{2} + 0.035 = 0.308 \text{ м}$$

$$a = b_1 + h_0 = 0.2 + 0.145 = 0.345 \text{ м}$$

$$U_b = a + b = 0.345 + 0.308 = 0.653 \text{ м}$$

$$x_0 = \frac{0.5a^2}{a + b} = \frac{0.5 \cdot 0.345^2}{0.345 + 0.308} = 0.072 \text{ м}$$

$$y_0 = \frac{0.5b^2}{a + b} = \frac{0.5 \cdot 0.308^2}{0.345 + 0.308} = 0.091 \text{ м}$$

$$x = \frac{b_1 + h_0}{2} = \frac{0.2 + 0.145}{2} = 0.173 \text{ м}$$

$$y = \frac{2b_1 + 3h_0}{4} = \frac{2 \cdot 0.2 + 3 \cdot 0.145}{4} = 0.209 \text{ м}$$

$$e_x = |x_0 - x| = |0.072 - 0.173| = 0.1 \text{ м}$$

$$e_y = |y_0 - y| = |0.091 - 0.209| = 0.118 \text{ м}$$

$$M_x = M_x - F * e_x = 0 - 110 * 0.1 = -11.005 \text{ кНм}$$

$$M_y = M_y - F * e_y = 5.5 - 110 * 0.118 = -7.43 \text{ кНм}$$

$$I_{bx} = \frac{b^3}{12} + b\left(\frac{b}{2} - x_0\right)^2 + a(b - x_0)^2 = \frac{0.308^3}{12} + 0.308\left(\frac{0.308}{2} - 0.072\right)^2 + 0.345(0.308 - 0.072)^2$$
$$= 2.3515E - 002 \text{ м}^3$$

$$W_{bx} = Min\left(\frac{I_{bx}}{x_0}; \frac{I_{bx}}{b - x_0}\right) = Min\left(2.3515E - \frac{002}{0.072}; 2.3515E - \frac{002}{0.308 - 0.072}\right)$$
$$= Min(3.2453E - 001; 0.100044431390977) = 1.0004E - 001 \text{ м}^2$$

$$I_{by} = \frac{a^3}{12} + a\left(\frac{a}{2} - y_0\right)^2 + b(a - y_0)^2 = \frac{0.345^3}{12} + 0.345\left(\frac{0.345}{2} - 0.091\right)^2 + 0.308(0.345 - 0.091)^2$$
$$= 2.5508E - 002 \text{ м}^3$$

$$W_{by} = Min\left(\frac{I_{by}}{y_0}; \frac{I_{by}}{a - y_0}\right) = Min\left(2.5508E - \frac{002}{0.091}; 2.5508E - \frac{002}{0.345 - 0.091}\right)$$
$$= Min(0.279675; 0.100508203125) = 1.0051E - 001 \text{ м}^2$$

$$F_{b,ult} = R_{bt}\gamma_b U_b h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 0.6525 \cdot 0.145 = 108.8 \text{ кН}$$

$$M_{b,x,ult} = R_{bt}\gamma_b W_{bx} h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 1.0004E - 001 \cdot 0.145 = 16.68 \text{ кНм}$$

$$M_{b,y,ult} = R_{bt}\gamma_b W_{by} h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 1.0051E - 001 \cdot 0.145 = 16.76 \text{ кНм}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} = \frac{110}{108.8} = 1.011$$

$$\frac{M_x}{M_{b,x,ult}} = \frac{11}{16.68} = 0.66$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = \frac{7.43}{16.76} = 0.443$$

$$\frac{M_x}{M_{b,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 0.66 + 0.443 = 1.103 > \frac{F}{2F_{b,ult}} = 0.505 \Rightarrow \frac{M_x}{M_{b,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 0.505$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_x}{M_{b,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 1.011 + 0.505 = 1.516$$

Коэффициент использования $1.516 > 1$, установка поперечной арматуры требуется

$$U_s = U_b = 0.653 \text{ м}$$

$$q_{sw} = \frac{R_{sw}A_{sw}}{s_w} = \frac{300000 \cdot 9.0478E - 004}{0.05} = 5428.67 \text{ кН/м}$$

$$F_{sw,ult} = 0.8q_{sw}U_s = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 0.653 = 2833.77 \text{ кН}$$

Условие $F_{sw,ult} = 2833.8\text{кН} \geq 0.25F_{b,ult} = 27.2\text{кН}$ выполняется.

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 108.8 + 2833.77 = 2942.57 \text{ кН}$$

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 2942.57 > 2F_{b,ult} = 2 \cdot 108.8 = 217.61 \Rightarrow F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 217.61 \text{ кН}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{110}{217.61} = 0.505$$

$$W_{sw,x} = W_{bx} = 1.0004E - 001 \text{ м}^2$$

$$M_{sw,x,ult} = 0.8 q_{sw} W_{sw,x} = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 1.0004E - 001 = 434.49 \text{ кНм}$$

$$M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult} = 16.68 + 434.49 = 451.17 \text{ кНм}$$

$$\frac{M_x}{M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult}} = \frac{11}{33.36} = 0.33$$

$$W_{sw,y} = W_{by} = 1.0051E - 001 \text{ м}^2$$

$$M_{sw,y,ult} = 0.8 q_{sw} W_{sw,y} = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 1.0051E - 001 = 436.5 \text{ кНм}$$

$$M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult} = 16.76 + 436.5 = 453.26 \text{ кНм}$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{7.43}{33.52} = 0.222$$

$$\frac{M_x}{M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.253 + 0.222 = 0.253$$

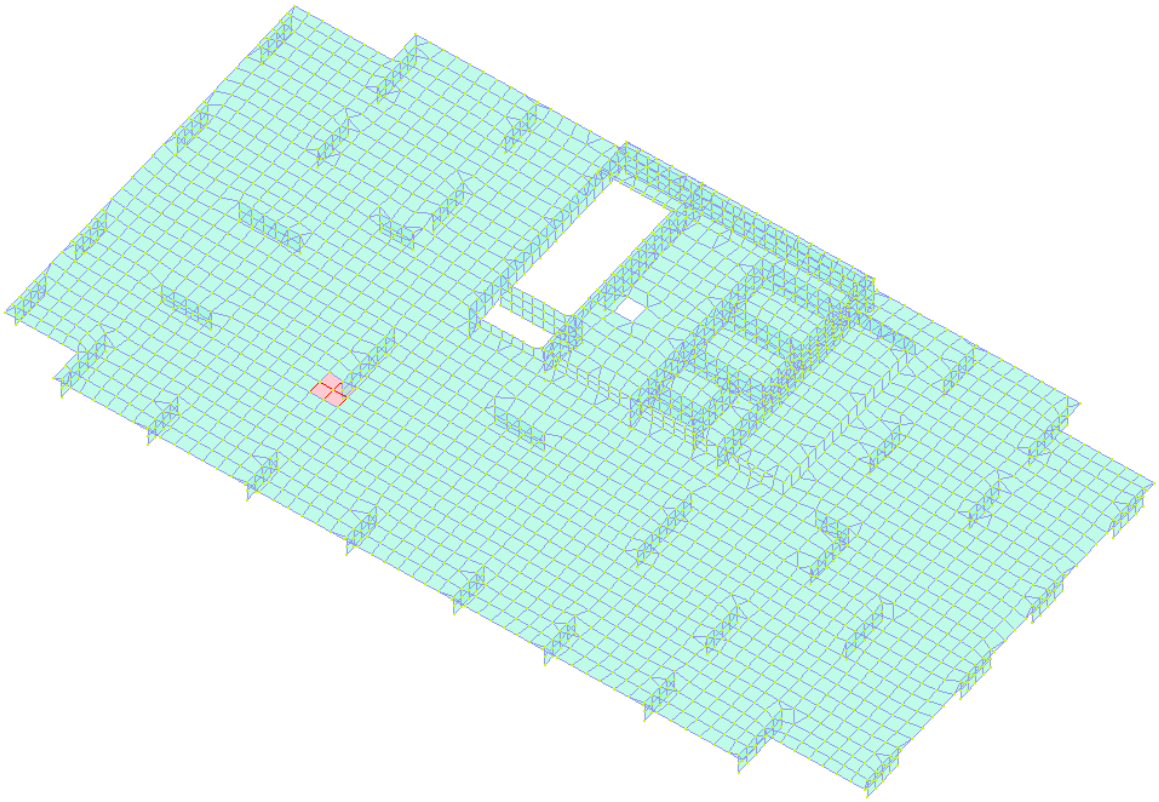
$$\frac{M_x}{M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.474 > \frac{F}{2\left(F_{b,ult} + F_{sw,ult}\right)} = \frac{0.505}{2} = 0.253$$

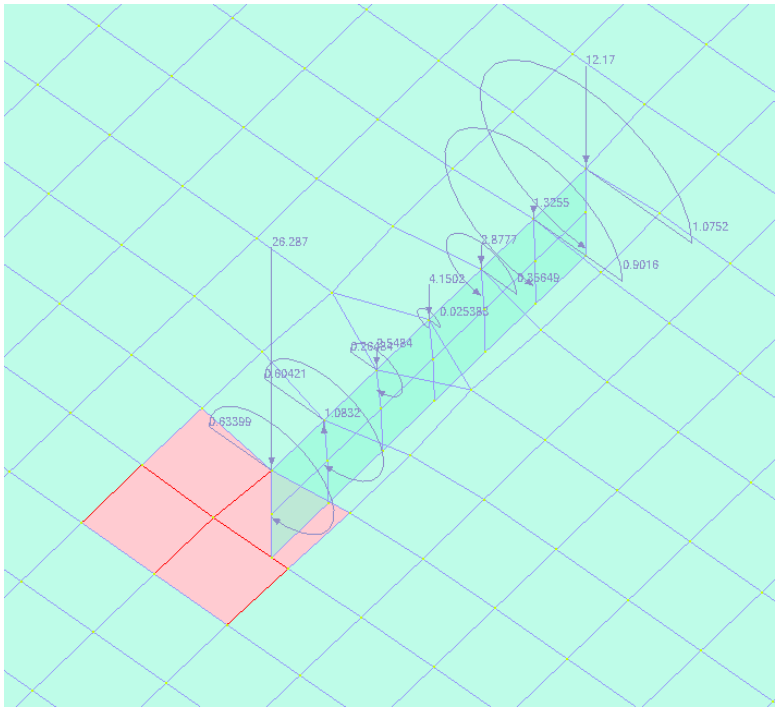
$$\Rightarrow \frac{M_x}{M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{F}{2\left(F_{b,ult} + F_{sw,ult}\right)} = 0.253$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_x}{M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.505 + 0.253 = 0.758$$

Коэффициент использования составляет $K = 0.758$. Условие прочности выполняется

4.3. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ ОТМ. +75.250





Расчет на продавливание согласно СП 63.13330.2018.

Конструкция - плита, рядовая стена в/о 2.4/2.Б-2.В на отм. +75.250

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Ширина сечения $b_1 = 20$ см $= 0.2$ м
- Толщина плиты $h = 20$ см $= 0.2$ м
- Защитный слой арматуры по направлению X $a_x = 3$ см $= 0.03$ м
- Защитный слой арматуры по направлению Y $a_y = 4$ см $= 0.04$ м
- Класс бетона B30 $R_{bt} = 1150$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы бетона $\gamma_b = 1$
- Класс арматуры A500 $R_{sw} = 300000$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы арматуры $\gamma_s = 1.0$
- Диаметр поперечной арматуры $d_s = 8$ мм $= 0.008$ м
- Количество стержней поперечной арматуры $n_s = 18$
- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 50$ мм $= 0.05$ м
- Продольная сила $N_{sup} = 251$ кН;
- Изгибающий момент , $M_{y,sup} = 12$ кНм

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

$$h_{0x} = h - a_x = 0.2 - 0.03 = 0.17 \text{ м}$$

$$h_{0y} = h - a_y = 0.2 - 0.04 = 0.16 \text{ м}$$

$$h_0 = 0.5\left(h_{0x} + h_{0y}\right) = 0.5(0.17 + 0.16) = 0.165 \text{ м}$$

$$F = N_{sup} = 251 \text{ кН}$$

$$M_y = \frac{M_{y,sup}}{2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ кНм}$$

$$b = b_1 + h_0 = 0.2 + 0.165 = 0.365 \text{ м}$$

$$a = b_1 + h_0 = 0.2 + 0.165 = 0.365 \text{ м}$$

$$U_b = b + 2a = 0.365 + 2 \cdot 0.365 = 1.095 \text{ м}$$

$$F_{b,ult} = R_{bt}\gamma_b U_b h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 1.095 \cdot 0.165 = 207.78 \text{ кН}$$

$$M_{b,y,ult} = R_{bt}\gamma_b W_{by} h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 6.6613E - 002 \cdot 0.165 = 12.64 \text{ кНм}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} = \frac{251}{207.78} = 1.208$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = \frac{6}{12.64} = 0.475$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 1.208 + 0.475 = 1.683$$

Коэффициент использования $1.683 > 1$, установка поперечной арматуры требуется

$$U_s = U_b = 1.095 \text{ м}$$

$$q_{sw} = \frac{R_{sw}A_{sw}}{s_w} = \frac{300000 \cdot 9.0478E-004}{0.05} = 5428.67 \text{ кН/м}$$

$$F_{sw,ult} = 0.8q_{sw}U_s = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 1.095 = 4755.52 \text{ кН}$$

Условие $F_{sw,ult} = 4755.5\text{кН} \geq 0.25F_{b,ult} = 51.9\text{кН}$ выполняется.

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 207.78 + 4755.52 = 4963.29 \text{ кН}$$

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 4963.29 > 2F_{b,ult} = 2 \cdot 207.78 = 415.55 \Rightarrow F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 415.55 \text{ кН}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{251}{415.55} = 0.604$$

$$W_{sw,y} = W_{by} = 6.6613E-002 \text{ м}^2$$

$$M_{sw,y,ult} = 0.8q_{sw}W_{sw,y} = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 6.6613E-002 = 289.29 \text{ кНм}$$

$$M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult} = 12.64 + 289.29 = 301.93 \text{ кНм}$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{6}{25.28} = 0.237$$

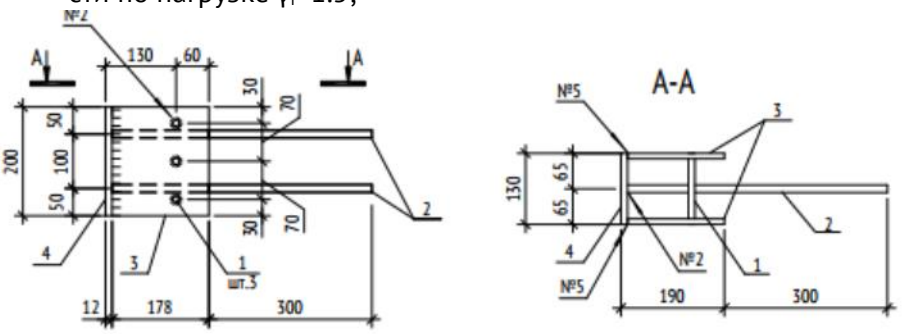
$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.604 + 0.237 = 0.841$$

Коэффициент использования составляет $K = 0.841$. Условие прочности выполняется

5. РАСЧЕТ ЗАКЛАДНОЙ ДЕТАЛИ

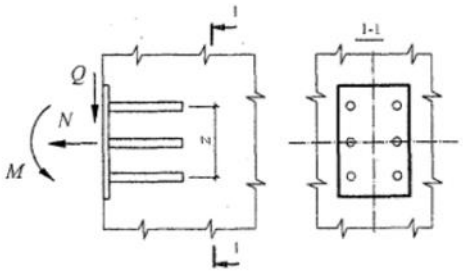
Расчётная нагрузка на панели с пролётом в осях до 7м с учётом пиковой ветровой нагрузки для проектирования закладных деталей на пилонах и стенах, в перекрытиях для навесных панелей с применёнными узлами равна:

- На краю панели в пилонах и стенах N=1.3 т.с без учёта коэффициента надёжности по нагрузке γ_f=1.5, моментная составляющая 0.13 тм без учёта коэффициента надёжности по нагрузке γ_f=1.5;



Класс бетона B30 Класс арматуры A500

R_{bn}, $R_{b.ser}$	224.3	кгс/см²	$R_{s.n}$, $R_{s.ser}$	5098.6	кгс/см²
R_{btn}, $R_{bt.ser}$	17.8	кгс/см²	$R_{sc.n}$, $R_{sc.ser}$	5098.6	кгс/см²
$R_b\gamma_{b2}$	173.4	кгс/см²	R_s	4435.8	кгс/см²
$R_{bt}\gamma_{b2}$	11.7	кгс/см²	R_{sc}	4078.9	кгс/см²
E_b	331408	кгс/см²	R_{sw}	3059.1	кгс/см²
γ_{b2}	1.0		γ_s	1.0	
ξ_R	0.5		E_s	2039432	кгс/см²
			E_s/E_b	6.2	



Исходные данные:

n_{an}=	3		-количество рядов анкеров вдоль сдвига
$n_{an.f}$=	1		-количество анкеров в одном ряду
z_0=	84	мм	-расстояние между рядами, перпендикулярными сдвигу
z=	140	мм	-расстояние между крайними рядами
d_{an}=	12	мм	-диаметр анкерного стержня
e=	0	мм	-экстентриситет приложения усилий

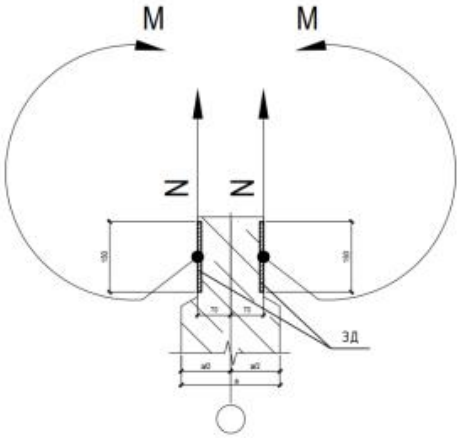
Расчетное сопротивление стали на срез(по СП 16.13330):

R_{sq}= 1363 кгс/см²

Усилия:

N=	0	тс	-продольное усилие
M_0=	0.2	тс· м	-изгибающий момент
Q=	1.95	тс	-поперечная сила
M=	0	тс· м	-изгибающий момент с учетом эксцентриситета приложения нагрузки

Схема приложения нагрузок на закладную в пилонах и стенах



Расчет:

-площадь поперечного сечения нормальных анкеров наиболее напряженного ряда

$$A_{an} = \frac{1,1\sqrt{N_{an}^2 + \left(\frac{Q_{an}}{\varphi\varphi_1}\right)^2}}{R_s} = 0.9 \text{ см}^2 \qquad d = 1.07 \text{ см}$$

-наибольшее растягивающее усилие в одном ряду нормальных анкеров

$$N_{an} = \frac{M}{z} + \frac{N}{n_{an}} = 1.4 \text{ тс}$$

-сдвигающее усилие, приходящееся на один ряд нормальных анкеров

$$Q_{an} = \frac{Q - 0,3N'_{an}}{n_{an}} = 0.51 \text{ тс}$$

-наибольшее сжимающее усилие в одном ряду нормальных анкеров

$$N'_{an} = \frac{M}{z} - \frac{N}{n_{an}} = 1.4 \text{ тс}$$

-коэффициент для анкерных стержней 8-25 мм

$$\varphi = \frac{4,75\sqrt[3]{R_b}}{(1 + 0,15A_{an1})\sqrt{R_s}}\overline{\beta} = 0.5$$

$$\varphi_1 = \frac{1}{\sqrt{1+\omega}} = 0.3$$

-толщина пластины закладной детали

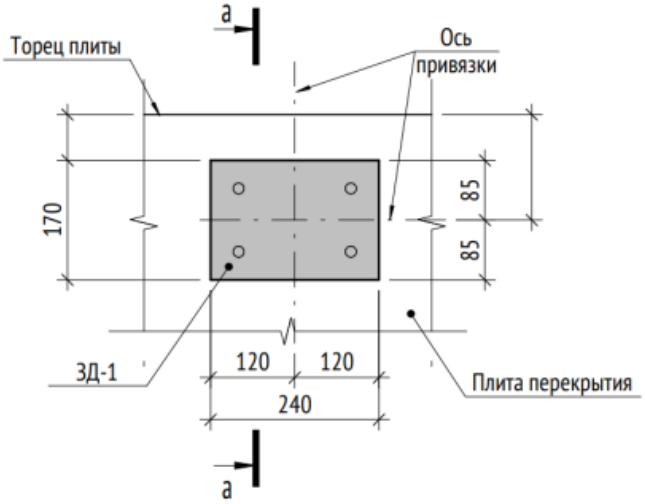
$$t \geq 0,25d_{an}\frac{R_s}{R_{sq}} = 0.87 \text{ см}$$

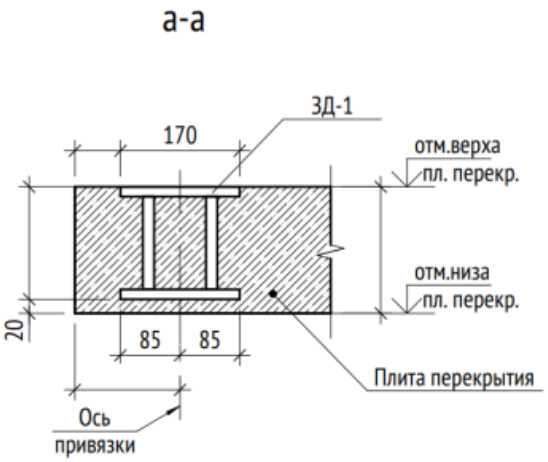
Проверочный расчёт закладной детали в перекрытии

Исходные данные:

Расчётная нагрузка на панели с пролётом в осях 7м с учётом пиковой ветровой нагрузки для проектирования закладных деталей на пилонах и стенах, в перекрытиях для навесных панелей с применёнными узлами равна:

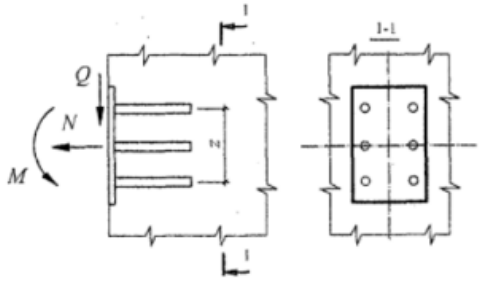
- На краю панели в пилонах и стенах N=1.5 т.с без учёта коэффициента надёжности по нагрузке γ_f=1.5, моментная составляющая 0.15 тм без учёта коэффициента надёжности по нагрузке γ_f=1.5;





Класс бетона B30 Класс арматуры A500

R_{bn}, $R_{b.ser}$	224.3	кгс/см²	$R_{s.n}$, $R_{s.ser}$	5098.6	кгс/см²
R_{btn}, $R_{bt.ser}$	17.8	кгс/см²	$R_{sc.n}$, $R_{sc.ser}$	5098.6	кгс/см²
$R_b\gamma_{b2}$	173.4	кгс/см²	R_s	4435.8	кгс/см²
$R_{bt}\gamma_{b2}$	11.7	кгс/см²	R_{sc}	4078.9	кгс/см²
E_b	331408	кгс/см²	R_{sw}	3059.1	кгс/см²
γ_{b2}	1.0		γ_s	1.0	
ξ_R	0.5		E_s	2039432	кгс/см²
			E_s/E_b	6.2	



Исходные данные:

n_{an}=	2		-количество рядов анкеров вдоль сдвига
$n_{an.f}$=	2		-количество анкеров в одном ряду
z_0=	84	мм	-расстояние между рядами, перпендикулярными сдвигу
z=	90	мм	-расстояние между крайними рядами
d_{an}=	12	мм	-диаметр анкерного стержня
e=	0	мм	-экстентриситет приложения усилий

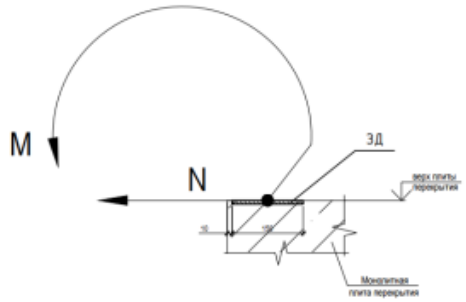
Расчетное сопротивление стали на срез(по СП 16.13330):

R_{sq}= 1363 кгс/см²

Усилия:

N=	0	тс	-продольное усилие
M_0=	0.23	тс· м	-изгибающий момент
Q=	2.25	тс	-поперечная сила
M=	0	тс· м	-изгибающий момент с учетом эксцентриситета приложения нагрузки

Схема приложения нагрузок на закладную в перекрытии



Расчет:

-площадь поперечного сечения нормальных анкеров наиболее напряженного ряда

$$A_{an} = \frac{1,1\sqrt{N_{an}^2 + \left(\frac{Q_{an}}{\varphi\varphi_1}\right)^2}}{R_s} = 1.61 \text{ см}^2 \qquad d= 1.01 \text{ см}$$

-наибольшее растягивающее усилие в одном ряду нормальных анкеров

$$N_{an} = \frac{M}{z} + \frac{N}{n_{an}} = 2.5 \text{ тс}$$

-сдвигающее усилие, приходящееся на один ряд нормальных анкеров

$$Q_{an} = \frac{Q - 0,3N'_{an}}{n_{an}} = 0.75 \text{ тс}$$

-наибольшее сжимающее усилие в одном ряду нормальных анкеров

$$N'_{an} = \frac{M}{z} - \frac{N}{n_{an}} = 2.5 \text{ тс}$$

-коэффициент для анкерных стержней 8-25 мм

$$\varphi = \frac{4,75\sqrt[3]{R_b}}{(1 + 0,15A_{an1})\sqrt{R_a}}\overline{\beta} = 0.5$$

$$\varphi_1 = \frac{1}{\sqrt{1+\omega}} = 0.25$$

-толщина пластины закладной детали

$$t \geq 0,25d_{an}\frac{R_s}{R_{sq}} = 0.82 \text{ см}$$

6. ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТОВ

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА КОРПУСА 2 СЕКЦИЯ 5

№ П/П	ПОКАЗАТЕЛЬ	ЗНАЧЕНИЕ ПОЛУЧЕННОЕ ПО РАСЧЕТУ	ПРЕДЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ	ПРИМЕЧАНИЕ
1	Средняя осадка фундаментной плиты отм. −7.200, мм	80.1	150	СП 22.13330.2016, прил. Г, табл. Г.1
2	Среднее давление под подошвой фундамента, т/м2	38.6	-	
3	Расчетное сопротивление грунта, т/м2	91.6	-	СП 22.13330.2016, п. 5.6.7
4	Относительная разность осадок фундамента, $\Delta s/L$	0.0002	0.003	СП 22.13330.2016, прил. Г, табл. Г.1
5	Максимальный прогиб плиты перекрытия толщ. 200мм в/о 2.5-2.6/2.Б-2.В на отм -0.100, мм	8.6	5015/200=25.1	СП 20.13330.2016, табл. Д.1, п. 2
6	Максимальный прогиб плиты перекрытия толщ. 180мм в/о 2.5-2.6/2.Б-2.В отм. +4.250, +7.250, +10.250, +13.250, +16.250, +19.250, +22.250, +25.250, +26.900, +28.250, +31.250, +34.250, +37.250, +40.250, +43.250, +46.250, +49.250, +52.250, +55.250, +58.250, +61.250, +64.250, +67.250, +70.250, +73.250, мм	9.6	5040/200=25.2	СП 20.13330.2016, табл. Д.1, п. 2
7	Максимальный прогиб плиты покрытия толщ. 200мм в/о 2.5-2.6/2.Б-2.В на отм. +75.250, мм	18.7	5040/200=25.2	СП 20.13330.2016, табл. Д.1, п. 2
8	Горизонтальное перемещение верха здания по оси X, мм	41.0	82250/500=164.5	СП 20.13330.2016, табл. Д.4, п. 1

9	Горизонтальное перемещение верха здания по оси Y, мм	54.9	82250/500=164.5	СП 20.13330.2016, табл. Д.4, п. 1
10	Максимальное ускорение верхнего этажа по оси X, м/с2	0.034	0.08	СП 20.13330.2016, В.3
11	Максимальное ускорение верхнего этажа по оси Y, м/с2	0.049	0.08	СП 20.13330.2016, В.3
12	Максимальный коэффициент использования сечения фундаментной плиты в/о 2.7/2.А-2.Б отм. −7.200 при расчете на продавливание (с учетом поперечной арматуры)			0.63
13	Максимальный коэффициент использования сечения фундаментной плиты в/о 2.7/2.А-2.Б на отм. -7.200 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)			0.912
14	Максимальный коэффициент использования сечения плиты перекрытия толщ. 200мм в/о 2.2-2.3/2.Б-2.В на отм. -0.100 при расчете на продавливание (с учетом поперечной арматуры)			0.795
15	Максимальный коэффициент использования сечения плиты толщ. 200мм в/о 2.5-2.6/2.Б-2.В на отм. -0.100 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)			0.842
16	Максимальный коэффициент использования сечения плиты перекрытия толщ. 180мм в/о 2.1-2.3/2.В-2.Г отм. +4.250…+73.250 при расчете на продавливание (с учетом поперечной арматуры)			0.758
17	Максимальный коэффициент использования сечения плиты толщ. 180мм в/о 2.5-2.6/2.Б-2.В на отм. +4.250…+73.250 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)			0.726
18	Максимальный коэффициент использования сечения плиты покрытия толщ. 200мм в/о 2.4/2.Б-2.В на отм. +75.250 при расчете на продавливание (с учетом поперечной арматуры)			0.841
19	Максимальный коэффициент использования сечения плиты толщ. 200мм в/о 2.4/2.Б-2.В на отм. +75.250 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)			0.809
20	Максимальный коэффициент использования стен в/о 2.5/2.А-2.Б на отм. -7.200 толщиной 300мм (по критическому фактору)			0.89

21	Максимальный коэффициент использования стен в/о 2.9/2.А-2.Б на отм. -7.200 толщиной 250мм (по критическому фактору)	0.89
22	Максимальный коэффициент использования наружной стены подвала в/о 2.5-2.7/2.Е на отм. -7.200 толщиной 250мм (по критическому фактору)	0.81
23	Максимальный коэффициент использования стен в/о 2.6/2.Г на отм. -7.200 толщиной 200мм (по критическому фактору)	0.81
24	Максимальный коэффициент использования стен в/о 2.4/2.А-2.Б на отм. -0.100 толщиной 300мм (по критическому фактору)	0.81
25	Максимальный коэффициент использования стен в/о 2.5/2.А-2.Б на отм. -0.100 толщиной 250мм (по критическому фактору)	0.84
26	Максимальный коэффициент использования стен в/о 2.4-2.5/2.Д-2.Е на отм. -0.100 толщиной 200мм (по критическому фактору)	0.85
27	Коэффициент использования стен в/о 2.9/2.А-2.Б на отм. +4.250...+73.250 толщиной 250мм (по критическому фактору)	0.89
28	Коэффициент использования стен в/о 2.4/2.А-2.Б на отм. +4.250...+73.250 толщиной 200мм (по критическому фактору)	0.86

ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТОВ

Анализ полученных расчетов позволяет сделать вывод, что: комплекс статических расчетов здания выполнен в полном объеме согласно расчетам по первой и второй группам предельных состояний, отдельные конструкции здания и здание в целом отвечает условиям прочности, устойчивости и пригодности к эксплуатации. По всем выходным параметрам, полученным по результатам расчетов, обеспечивается выполнение требований Федерального закона №384-ФЗ от 30.12.2009 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»: деформации основания находятся в допустимых пределах; прочность и устойчивость конструкций обеспечена, прочность сечений плит покрытия, плит перекрытий при расчете по прочности и на продавливание прочности обеспечена.