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 3

17-0121-ОК-1-П-КР4.3

Том 4.4.3

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 3

17-0121-ОК-1-П-КР4.3

Том 4.4.3

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 3

17-0121-ОК-1-П-КР4.3
Том 4.4.3

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 3

17-0121-ОК-1-П-КР
4.3 Том 4.4.3

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

Главный инженер проекта — Першин Н.Н.

2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. РАСЧЕТ КОРПУСА К1 СЕК.2-3 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 31

2. РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ ОТМ. -7.200 (ФУНДАМЕНТНАЯ ПЛИТА) 44

2.1. РАСЧЕТ ПЛИТ НА ОТМ. -1.450, -1.210, -0.970 (ПЛИТА НАД ПОДВАЛОМ) 55

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 (ТИПОВОЙ ЭТАЖ) 66

2.3. РАСЧЕТ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ НА ОТМ. +33.250 77

3. РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ОТМ. -7.200 88

3.1. РАСЧЕТ СТЕН С ОТМ. -0.750, -0.250, -0.100 112

3.2. РАСЧЕТ СТЕН С ОТМ. +4.250 131

4. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ФУНДАМЕНТНОЙ ПЛИТЫ ОТМ. -7.200 145

4.1. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПЛИТЫ НА ОТМ. -0.750, -0.250, -0.100 148

4.1. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ТИПОВОЙ ПЛИТЫ С ОТМ. +4.250...+31.250 151

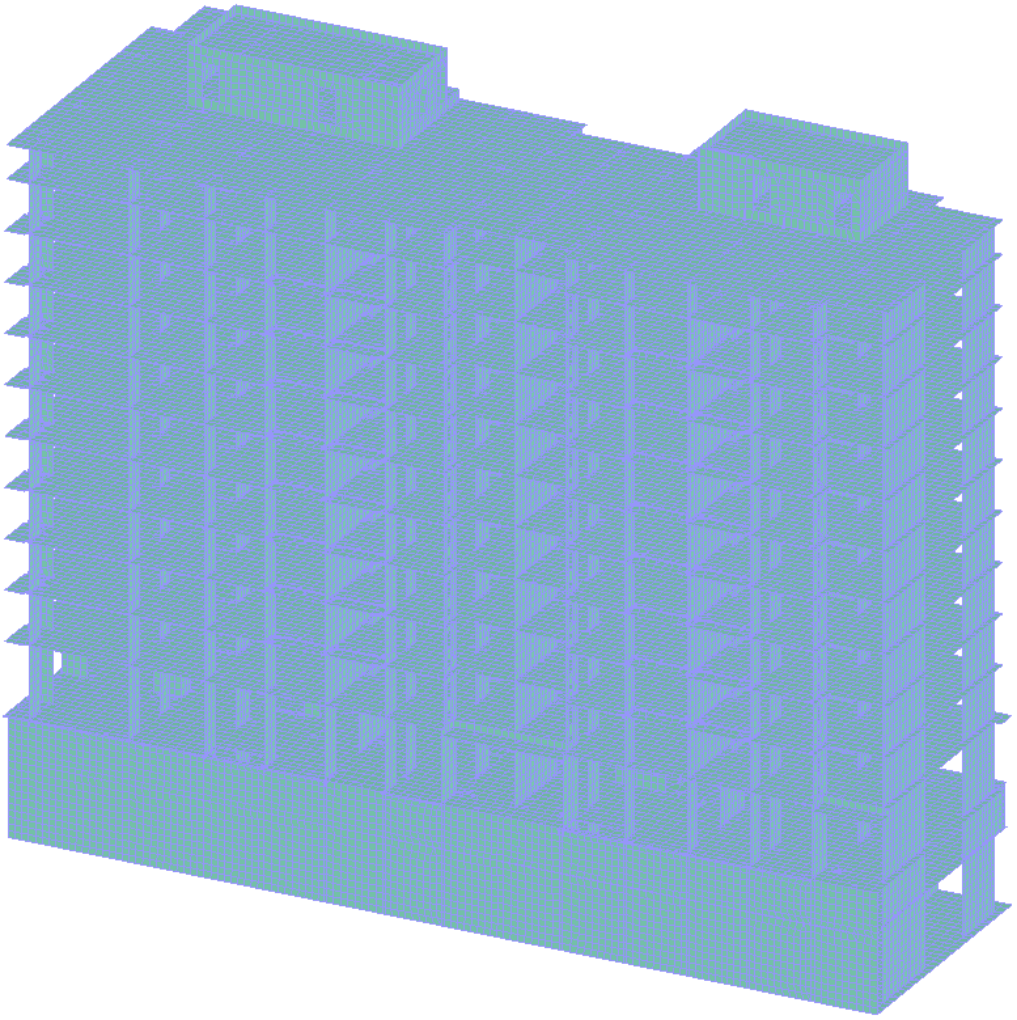
4.2. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ ОТМ. +33.250 154

5. РАСЧЕТ ЗАКЛАДНОЙ ДЕТАЛИ 157

6. ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТОВ 161

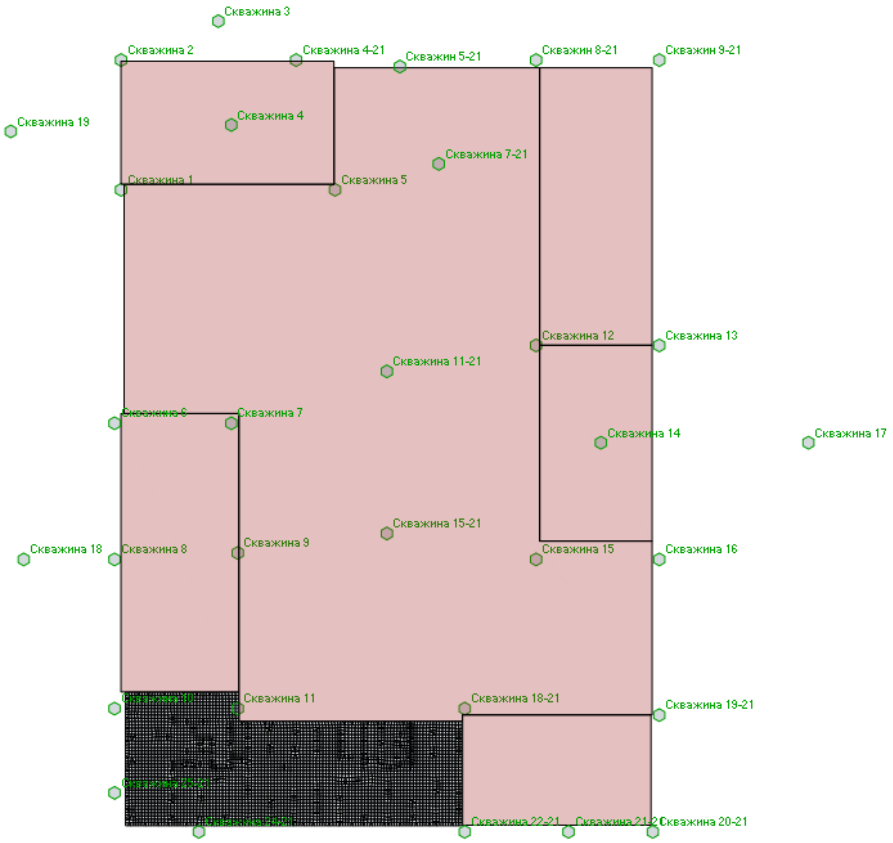
1. РАСЧЕТ КОРПУСА К1 сек.2-3

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)

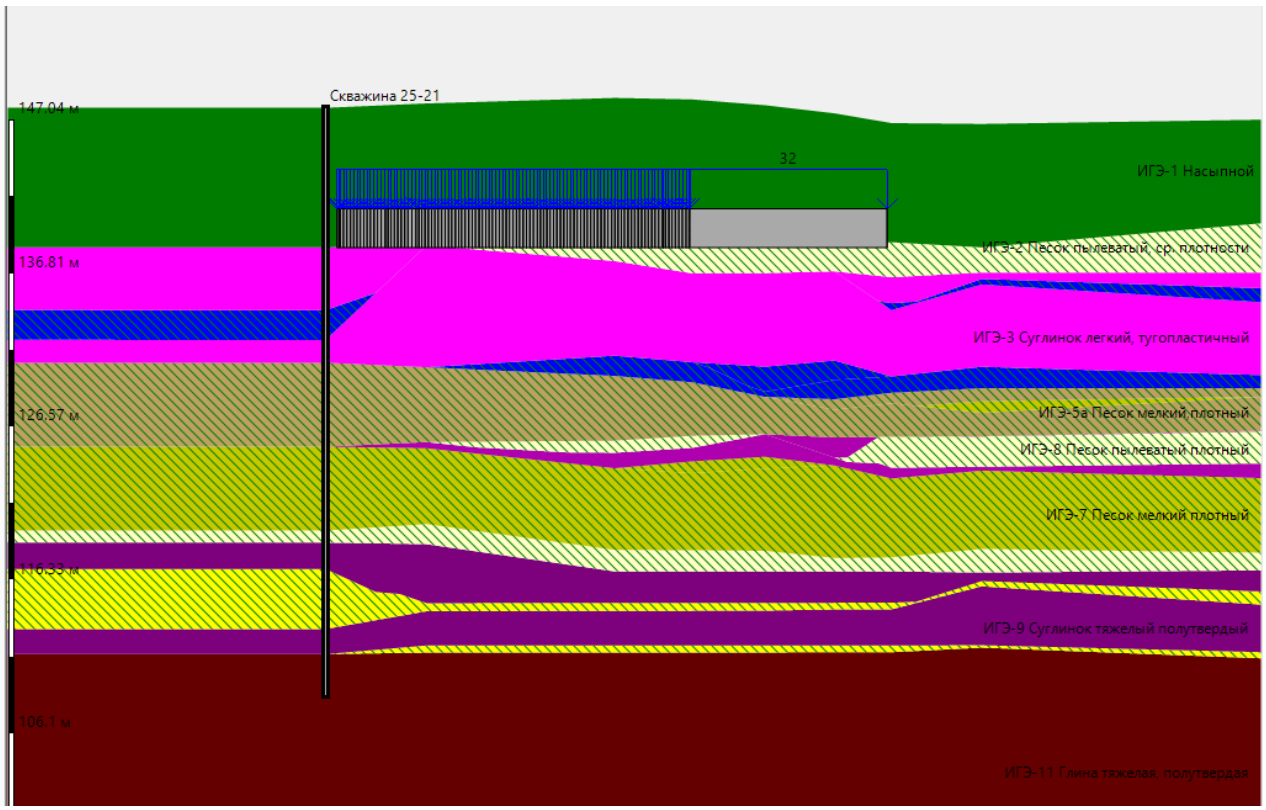


Общий вид здания

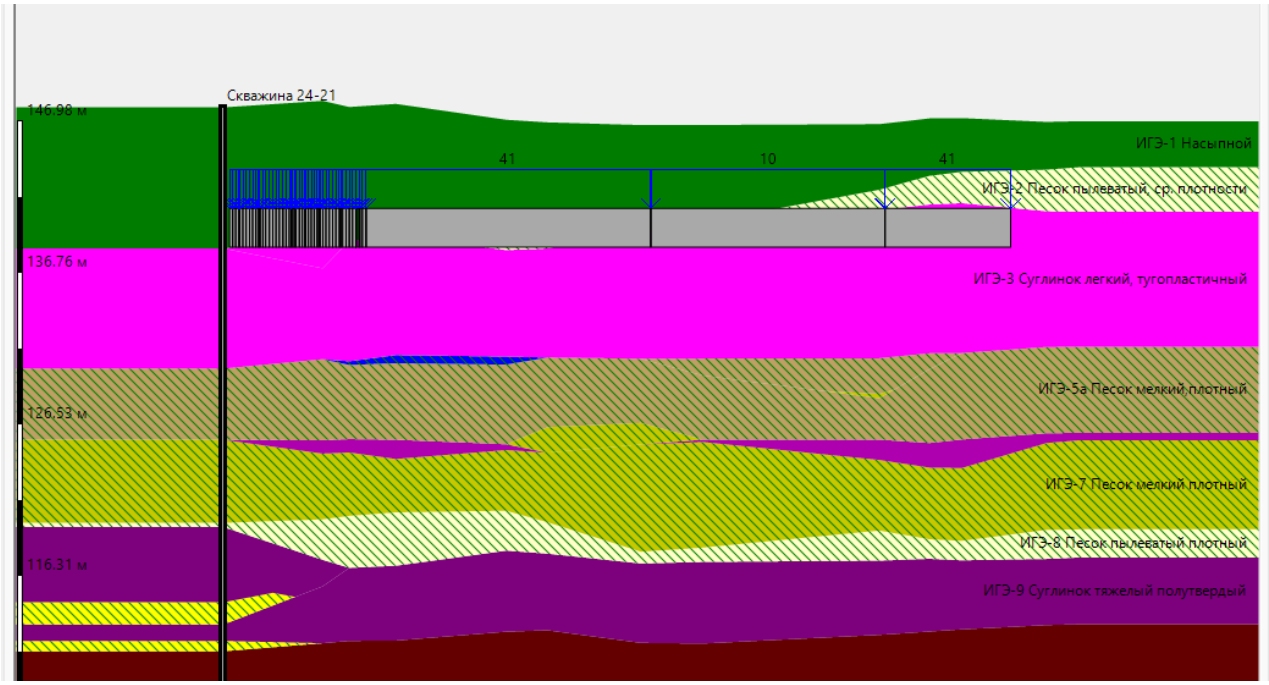
1.1. ПОСАДКА НА ГЕОЛОГИЮ



План скважин



Разрез по скв. 25-21/22-21



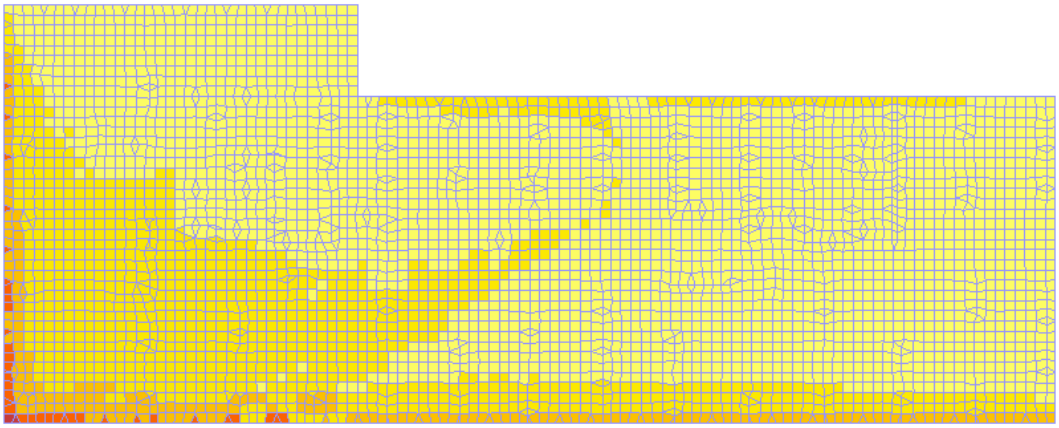
Разрез по скв. 25-21/11

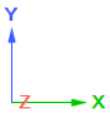
№	Усл. обозн	Наименование грунта	Насыпной грунт	Цвет	Модуль деформации, тс/м^2	Коэффициент Пуассона	Удельный вес грунта, тс/м^3		Коэффициент перехода ко 2 модулю деформации	Природная влажность, д.е.	Показатель текучести	Вода	Коэффициент пористости	Удельное сцепление, тс/м^2		Угол внутреннего трения, °		
							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

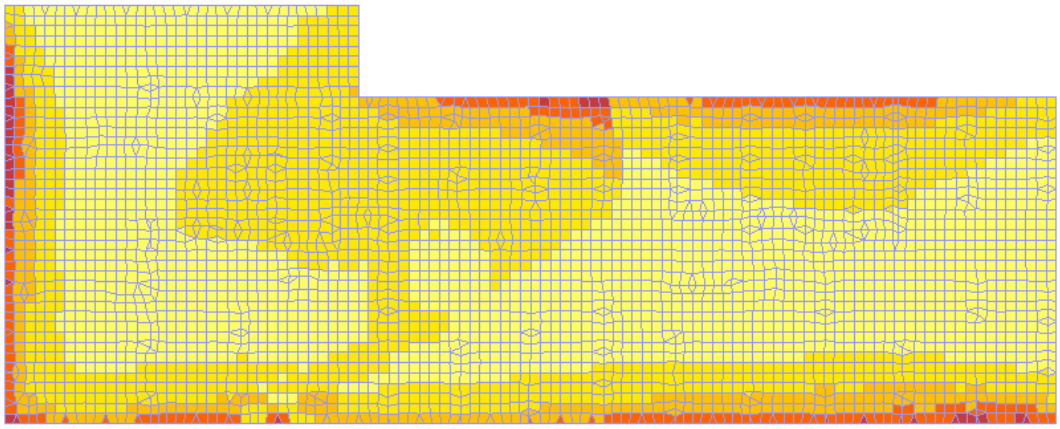


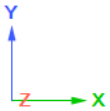




Коэффициенты постели C1 (тс/м3)

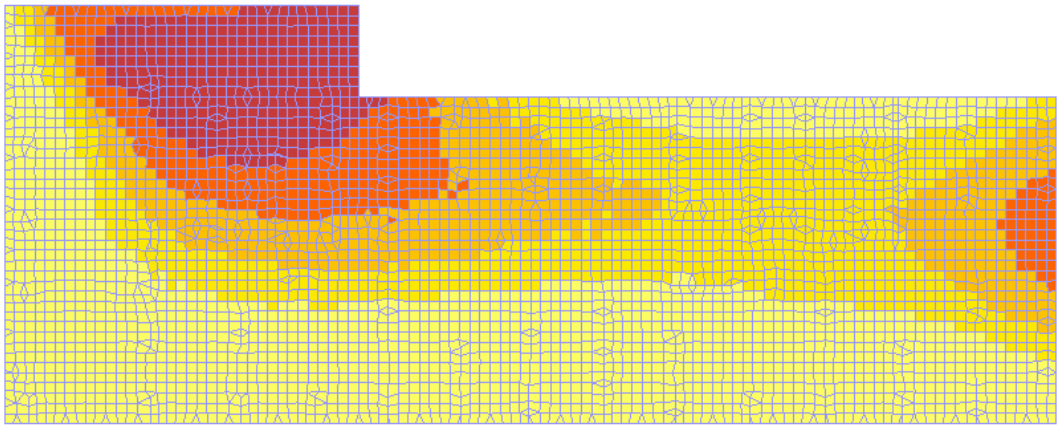


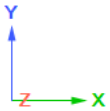




Нагрузка Pz (тс/м2)

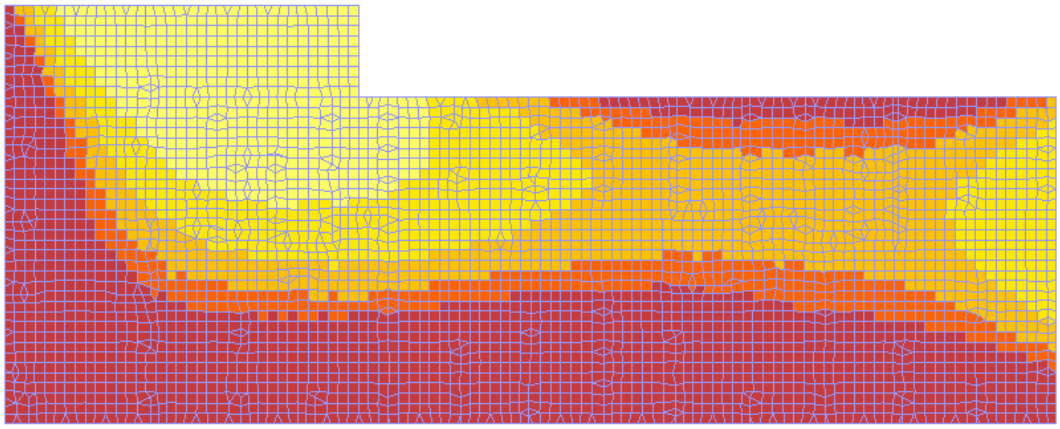


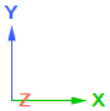




Усредненный модуль деформации (тс/м2)

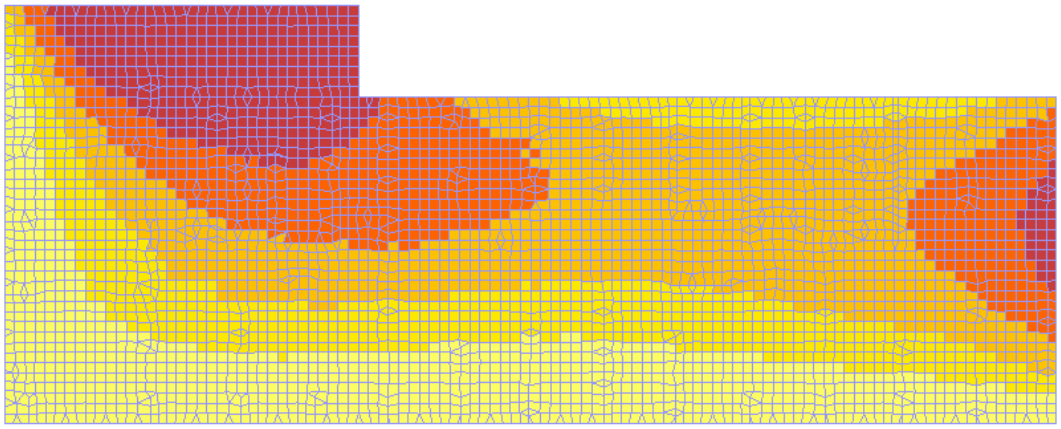


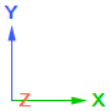




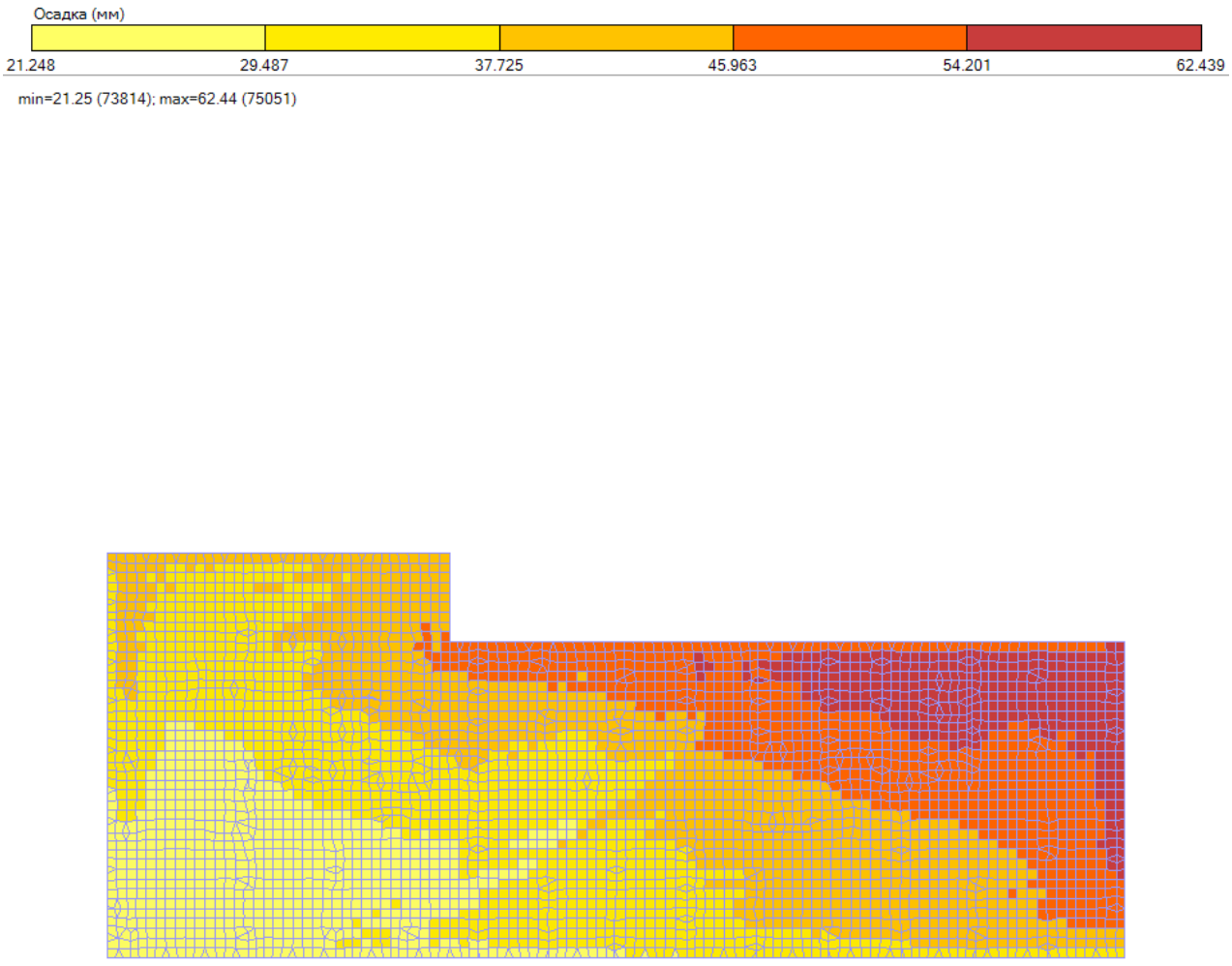
Усредненный коэффициент Пуассона





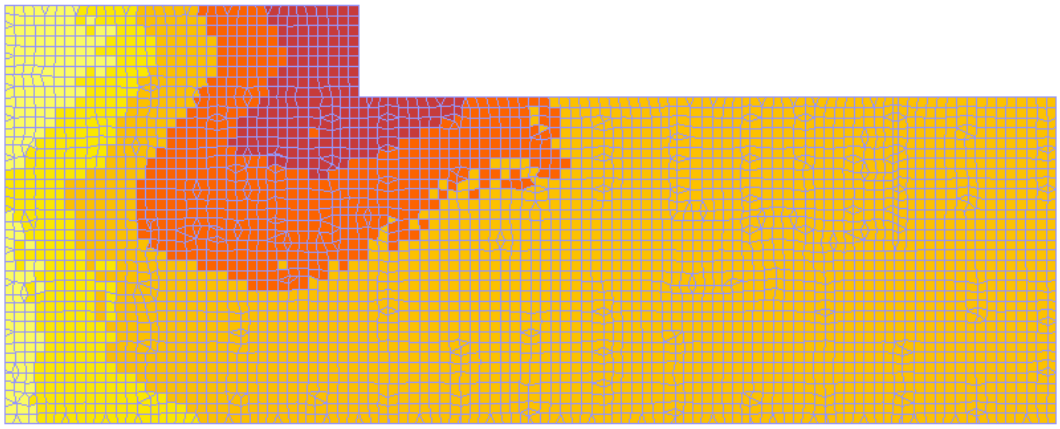


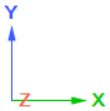
Глубина сжимаемой толщи (м)


Осадка (мм)
21.248
29.487
37.725
45.963
54.201
62.439
min=21.25 (73814); max=62.44 (75051)
Y
Z
X

Осадка (мм)

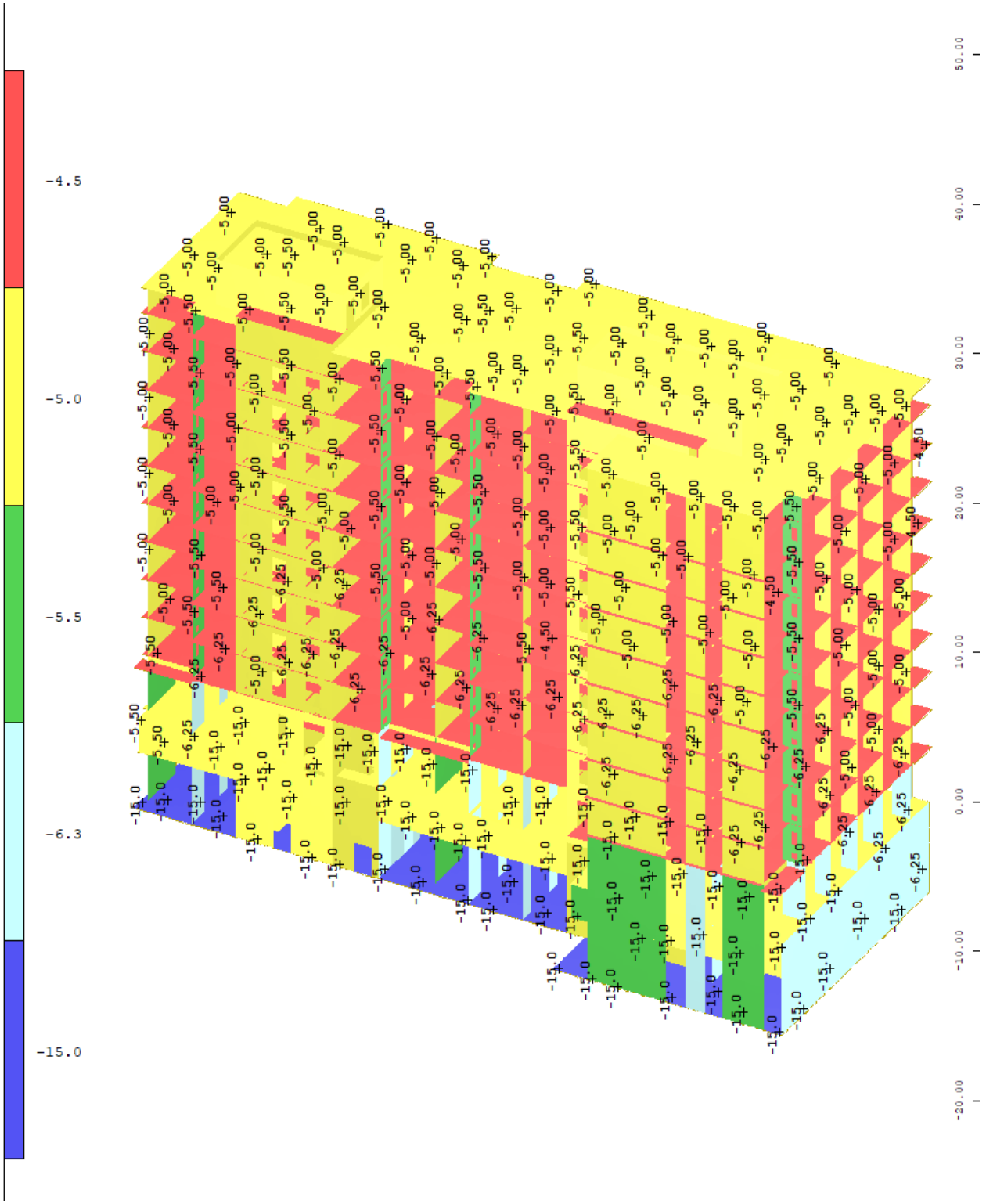




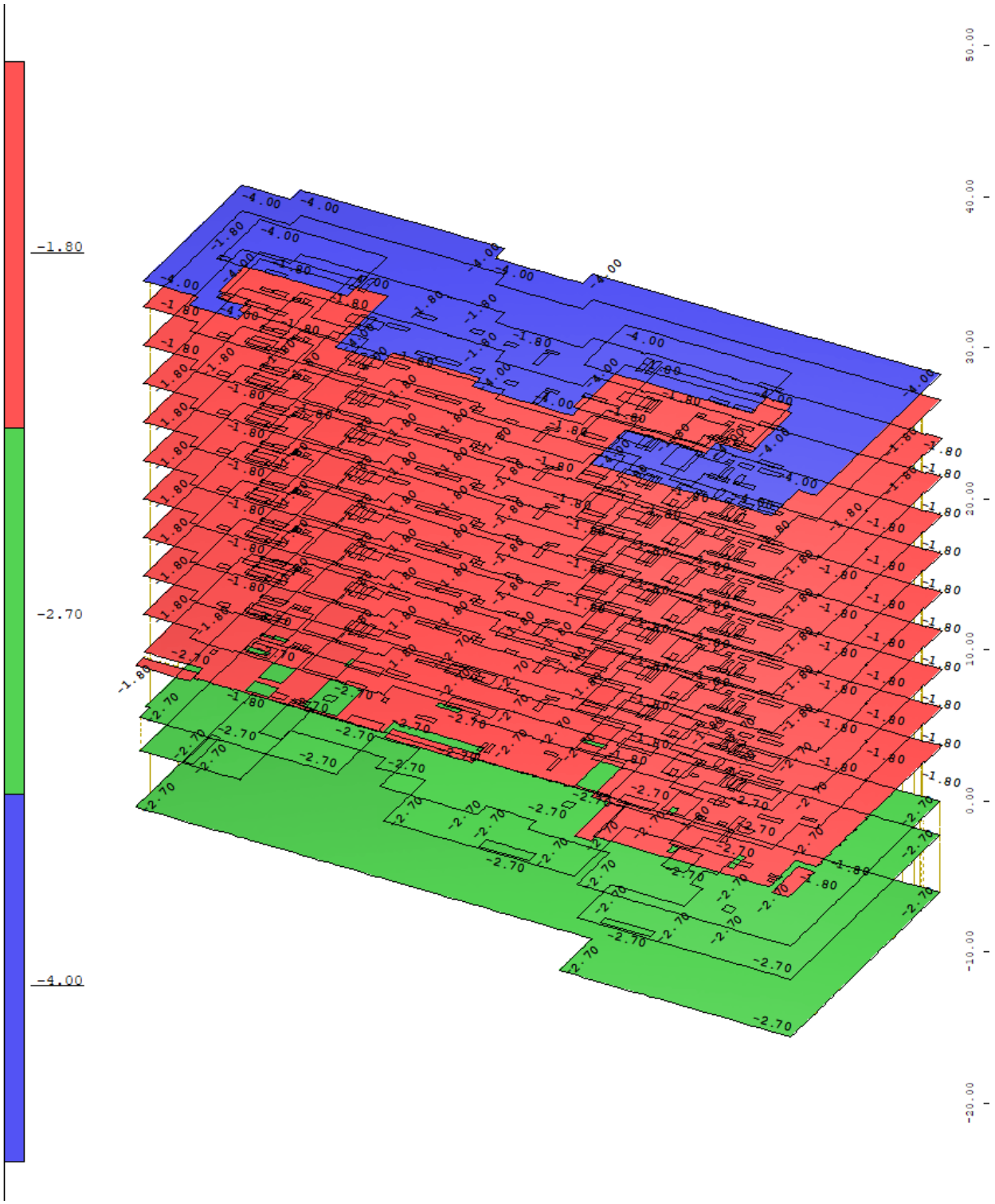


Расчетное сопротивление грунта R (тс/м2)

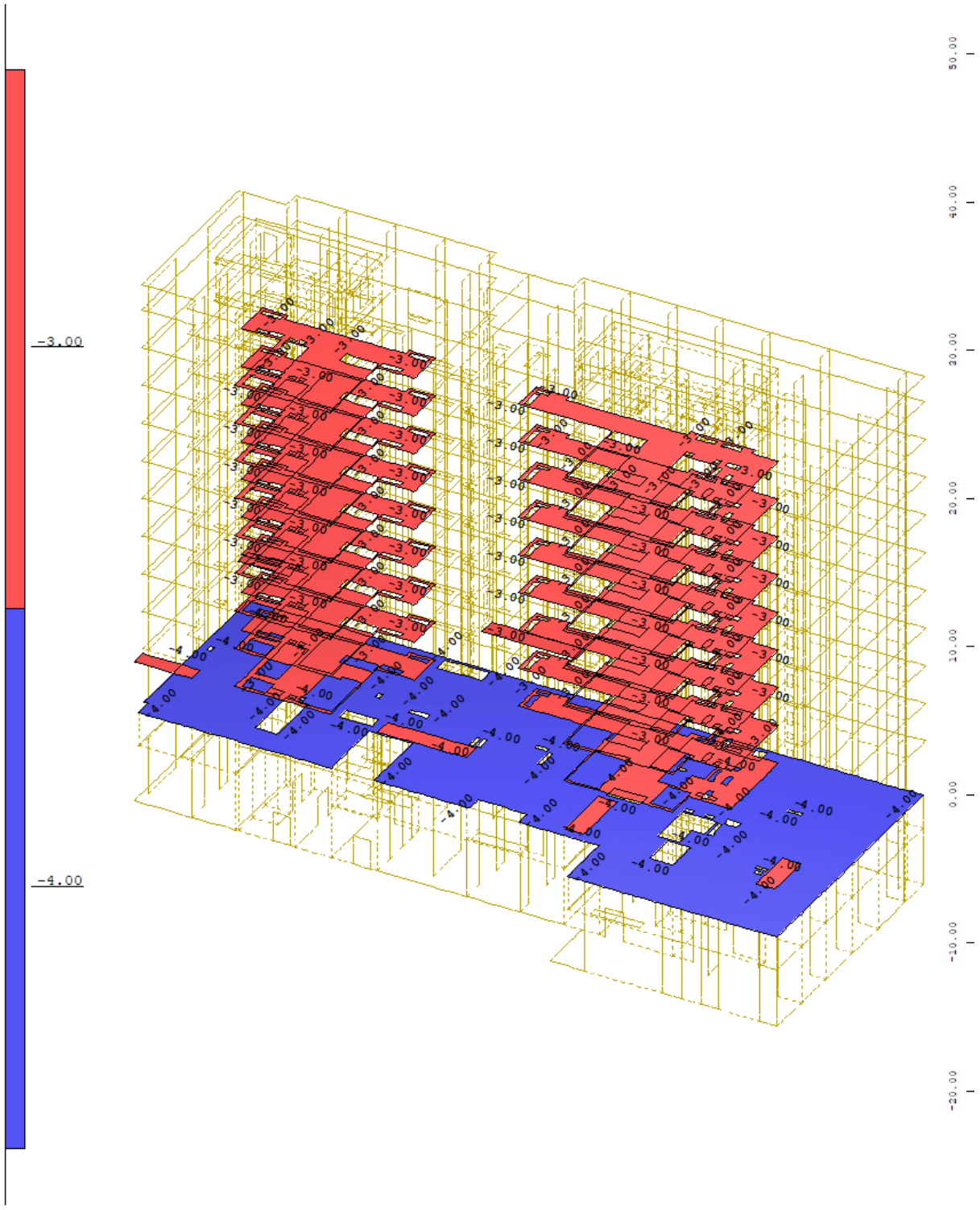
1.3. НАГРУЗКИ НА МОДЕЛЬ, КОЭФФИЦИЕНТЫ РСУ И РСН



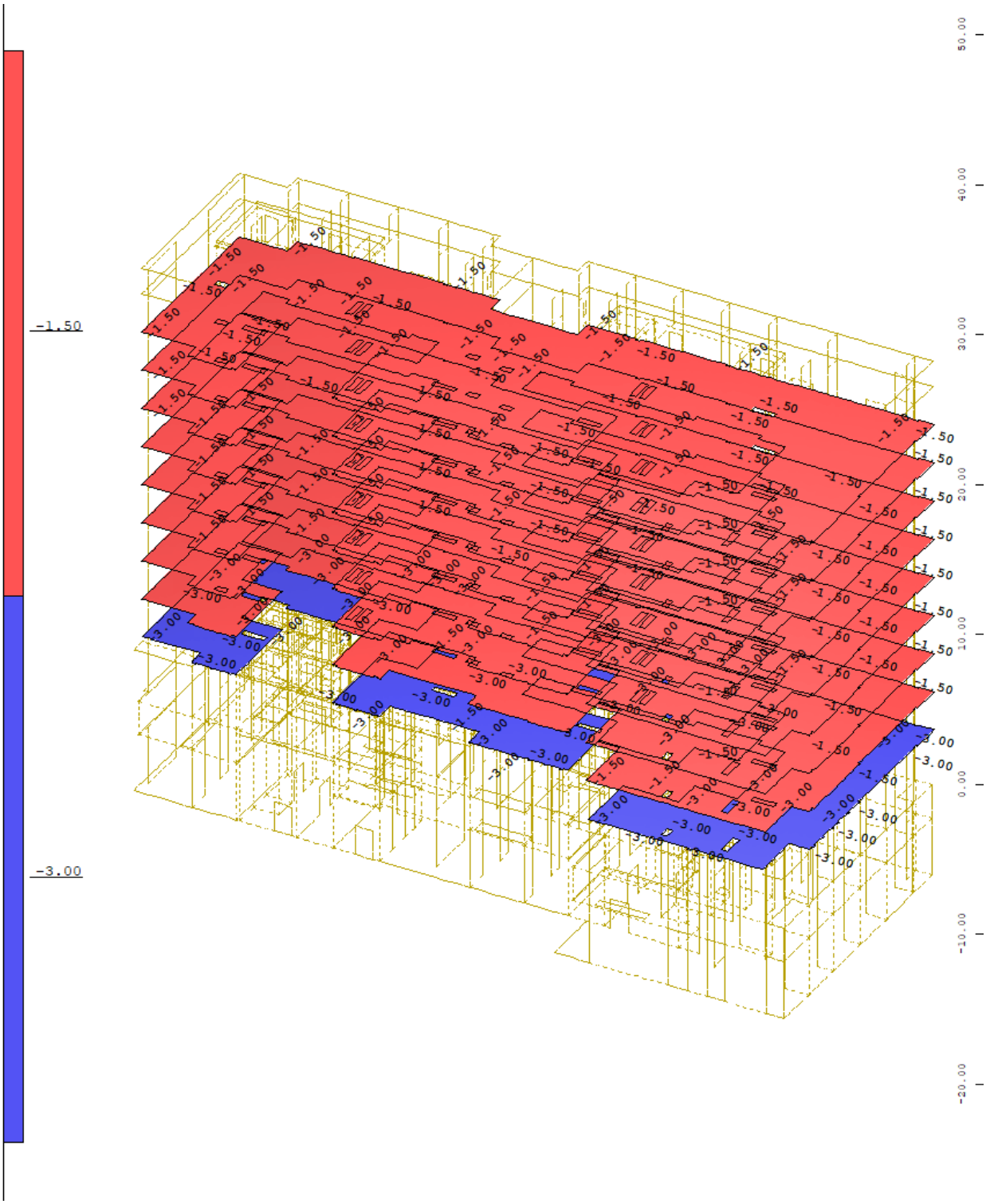
Нормативная нагрузка от собственного веса, кН/м2



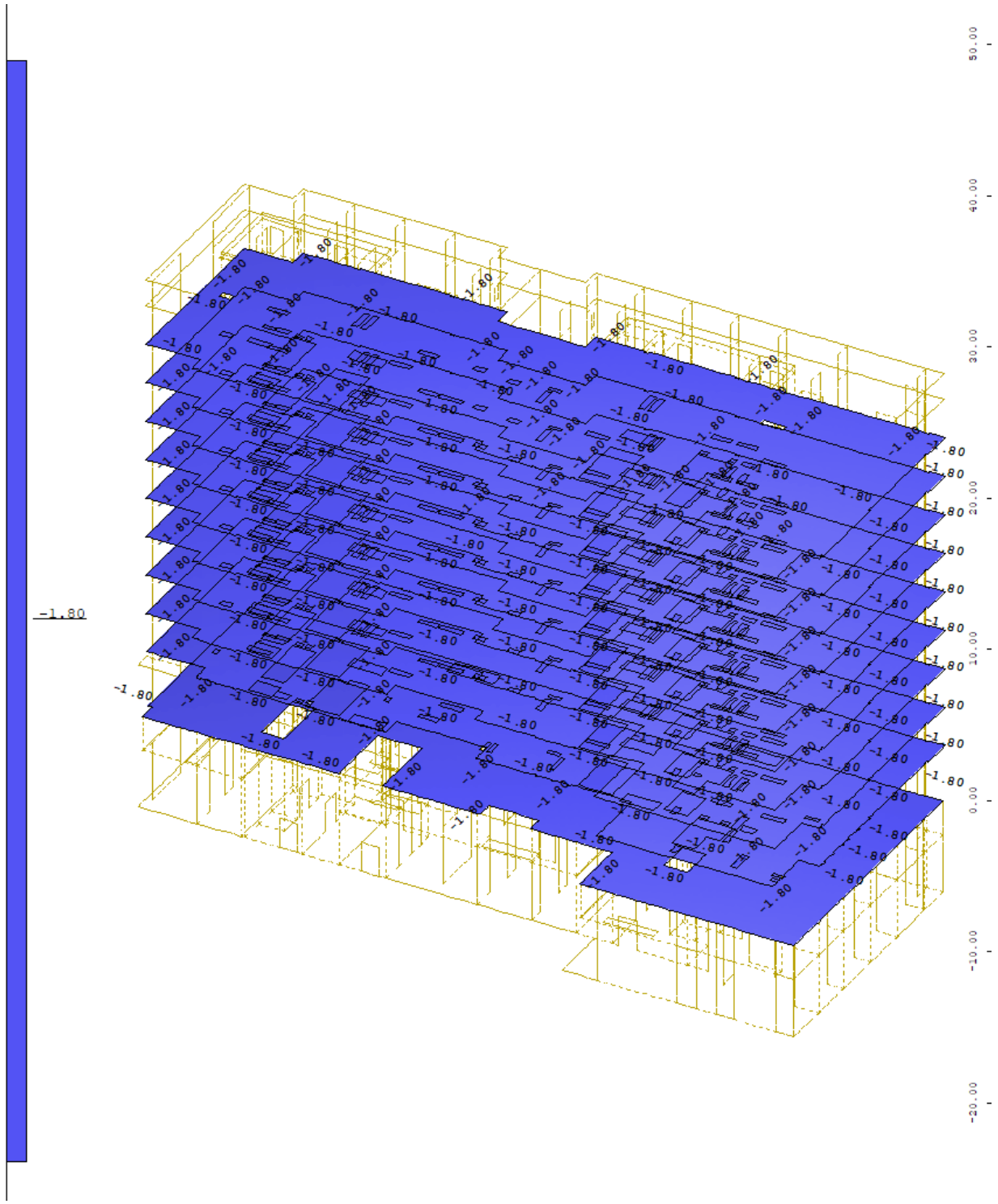
Нагрузка от полов, кровли, тс/м2



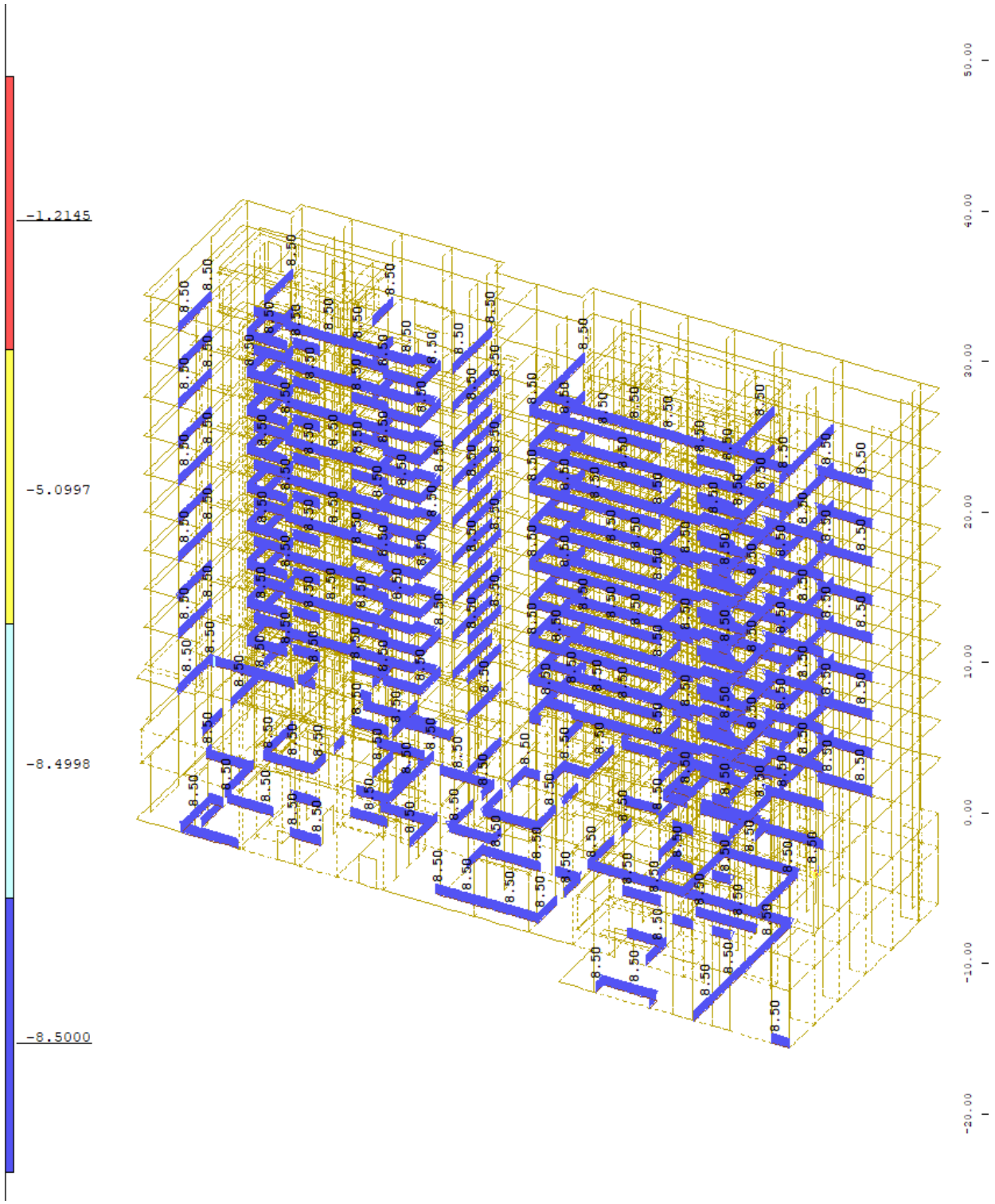
Нормативная нагрузка от коридоров, кН/м2



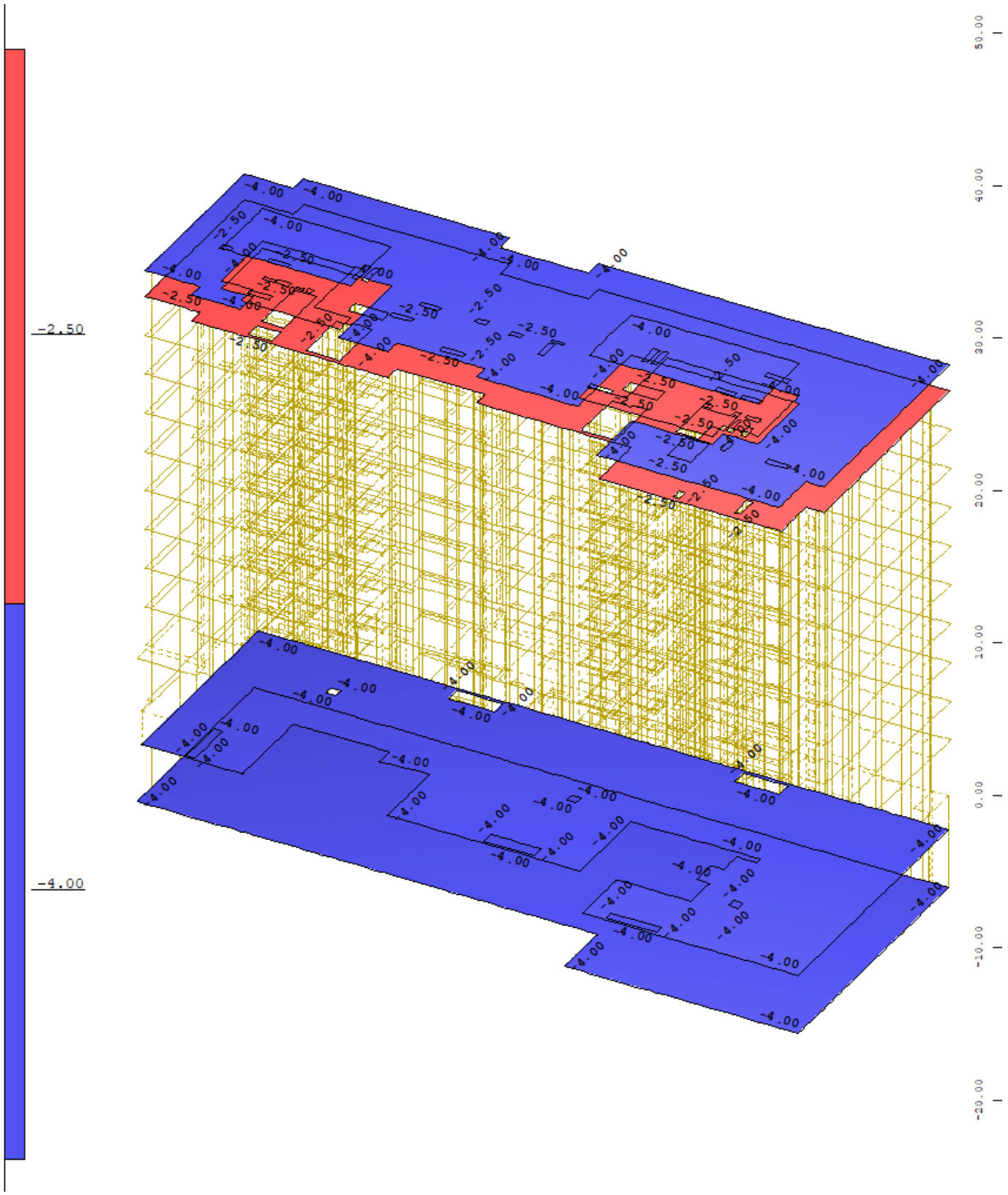
Нормативная нагрузка от квартир, кН/м2



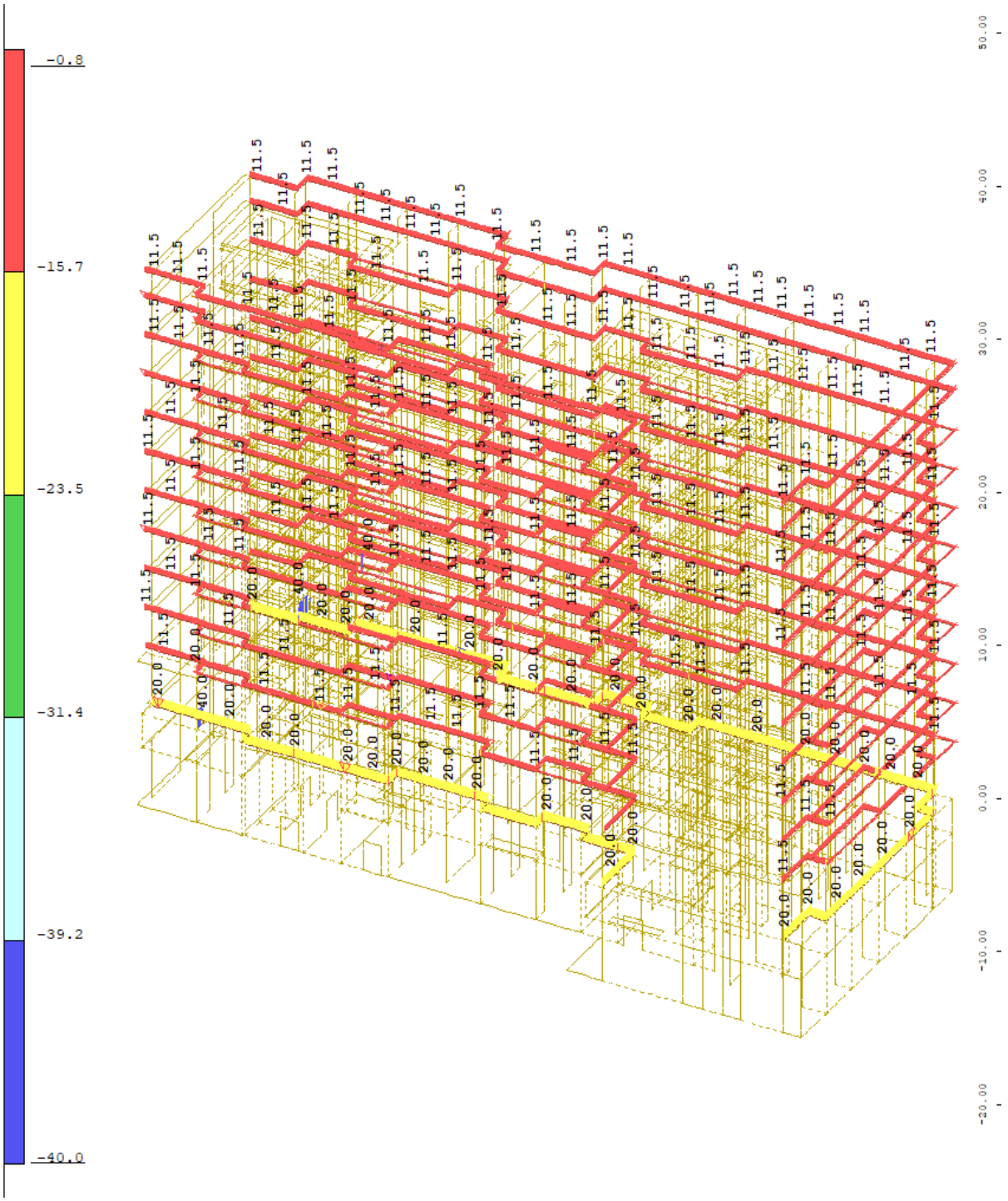
Нормативная нагрузка от перегородок, кН/м2



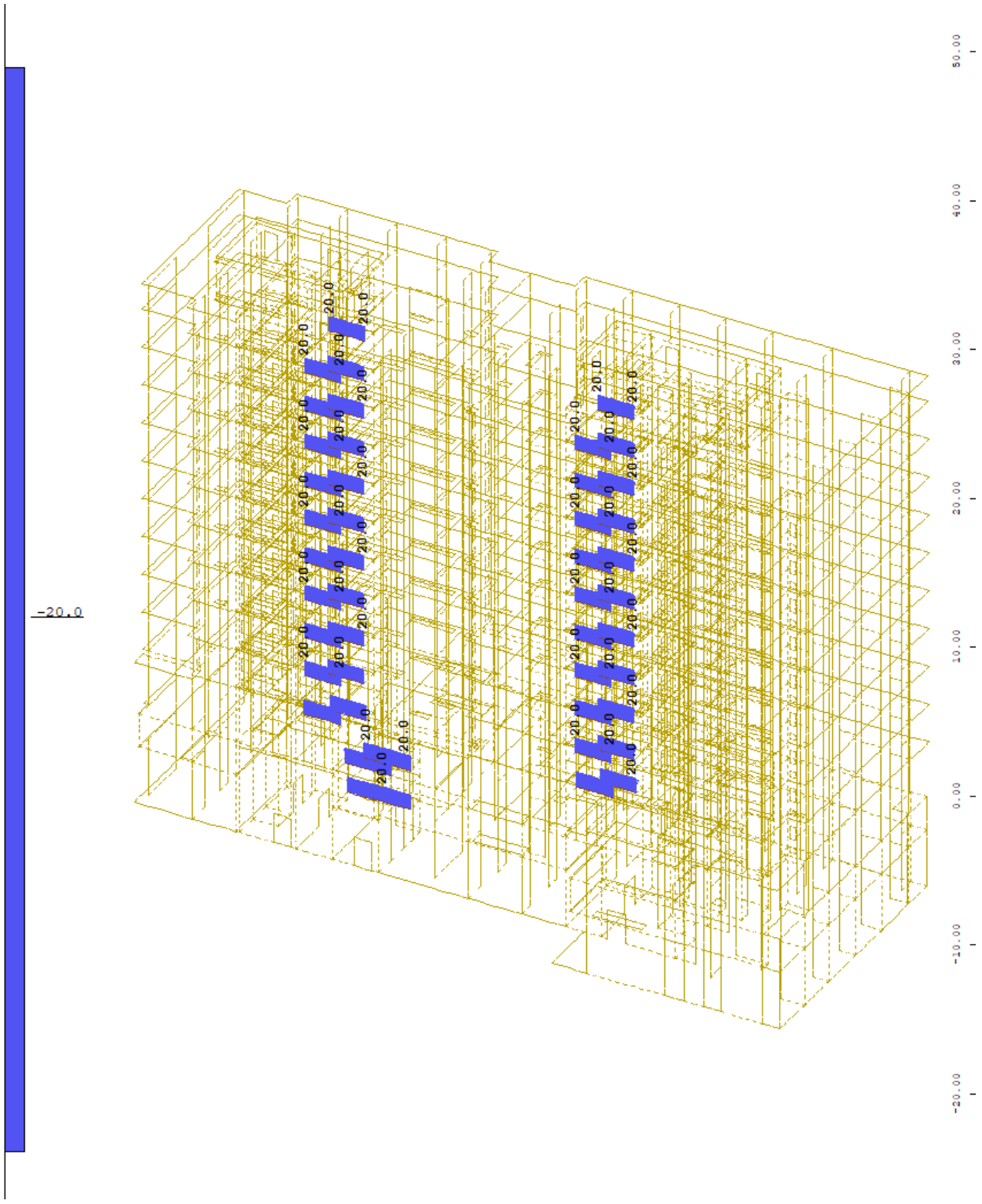
Нормативная нагрузка от перегородок линейная, кН/м



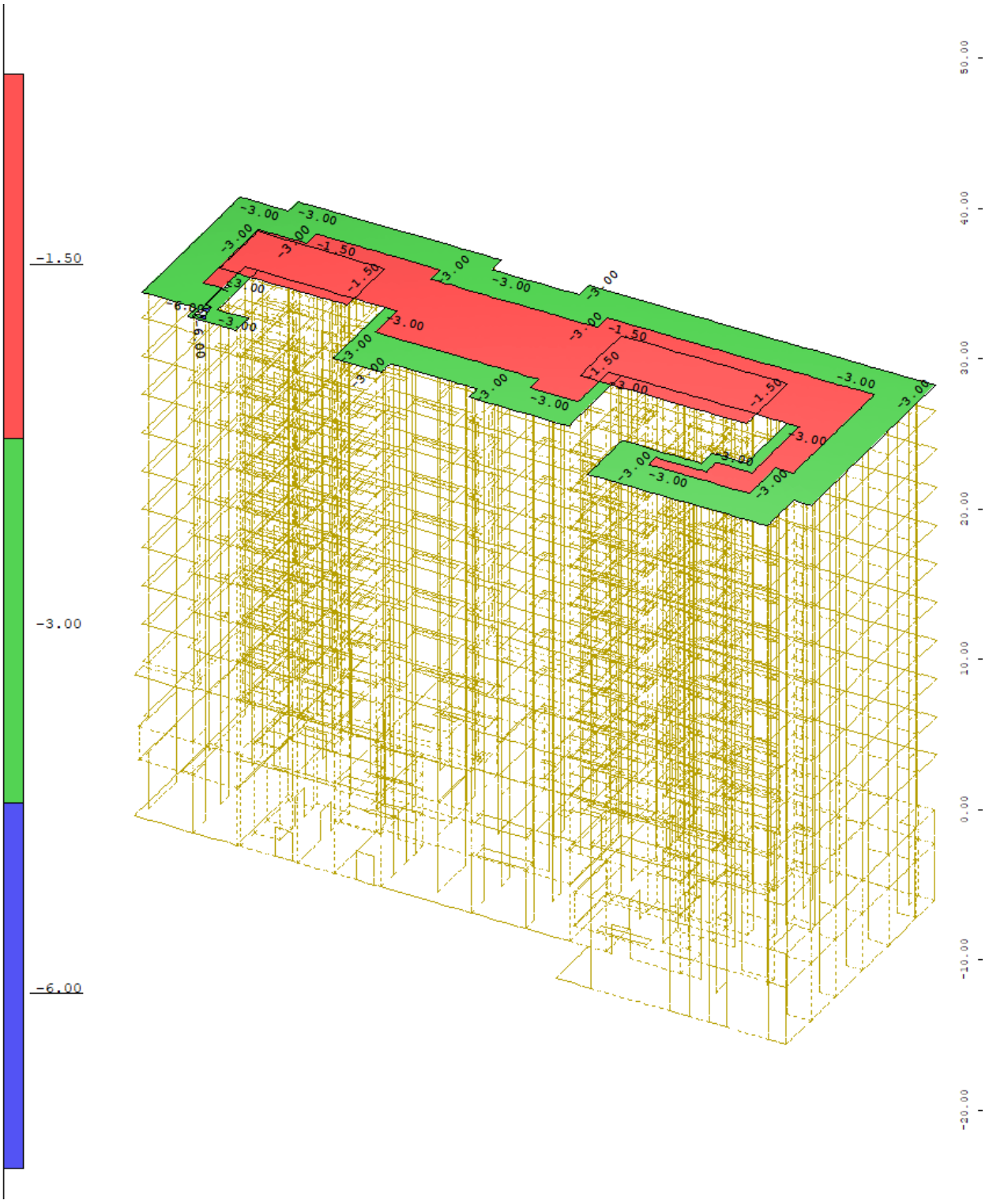
Нормативная нагрузка от оборудования, кН/м2



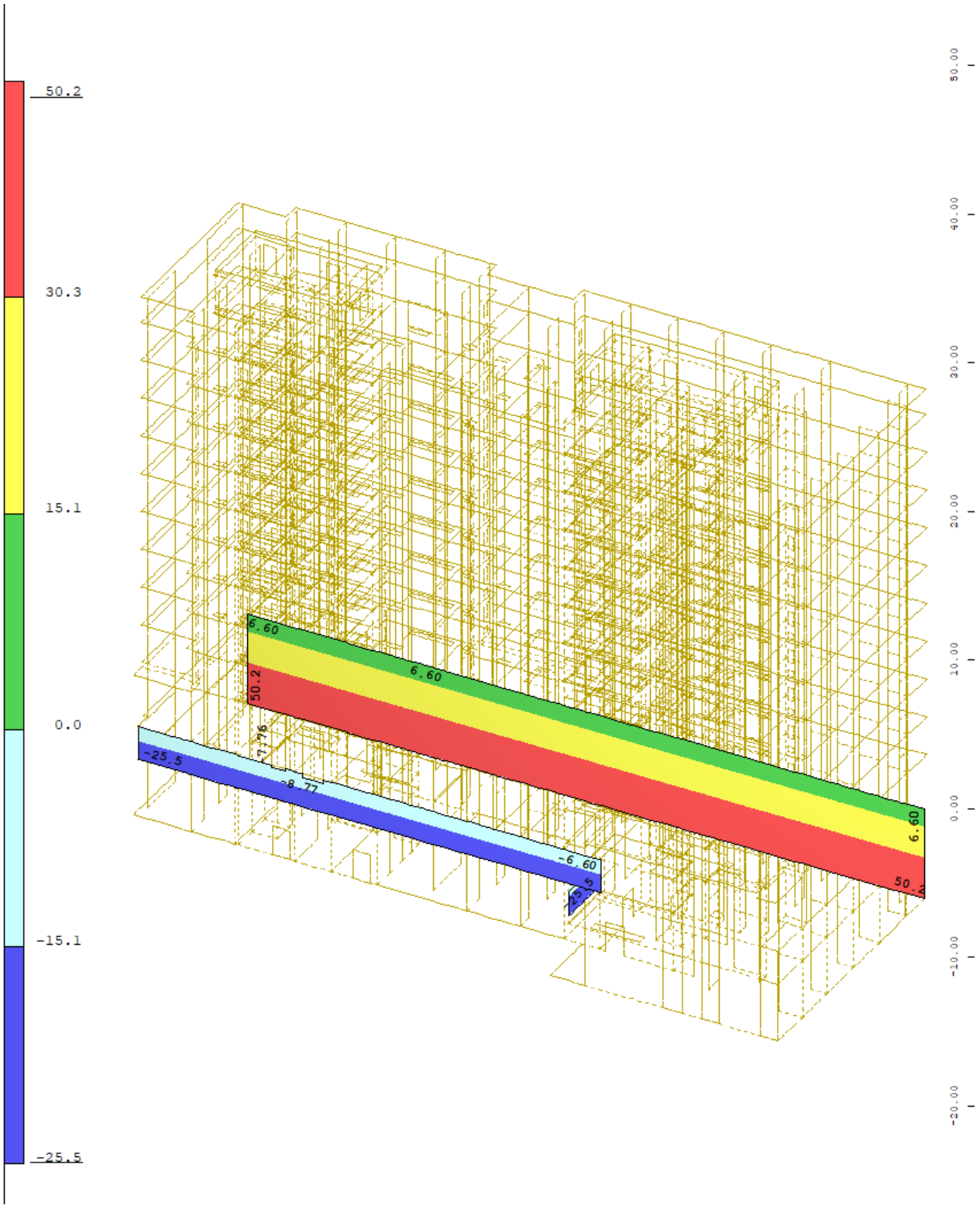
Нормативная нагрузка от фасадов, кН/м



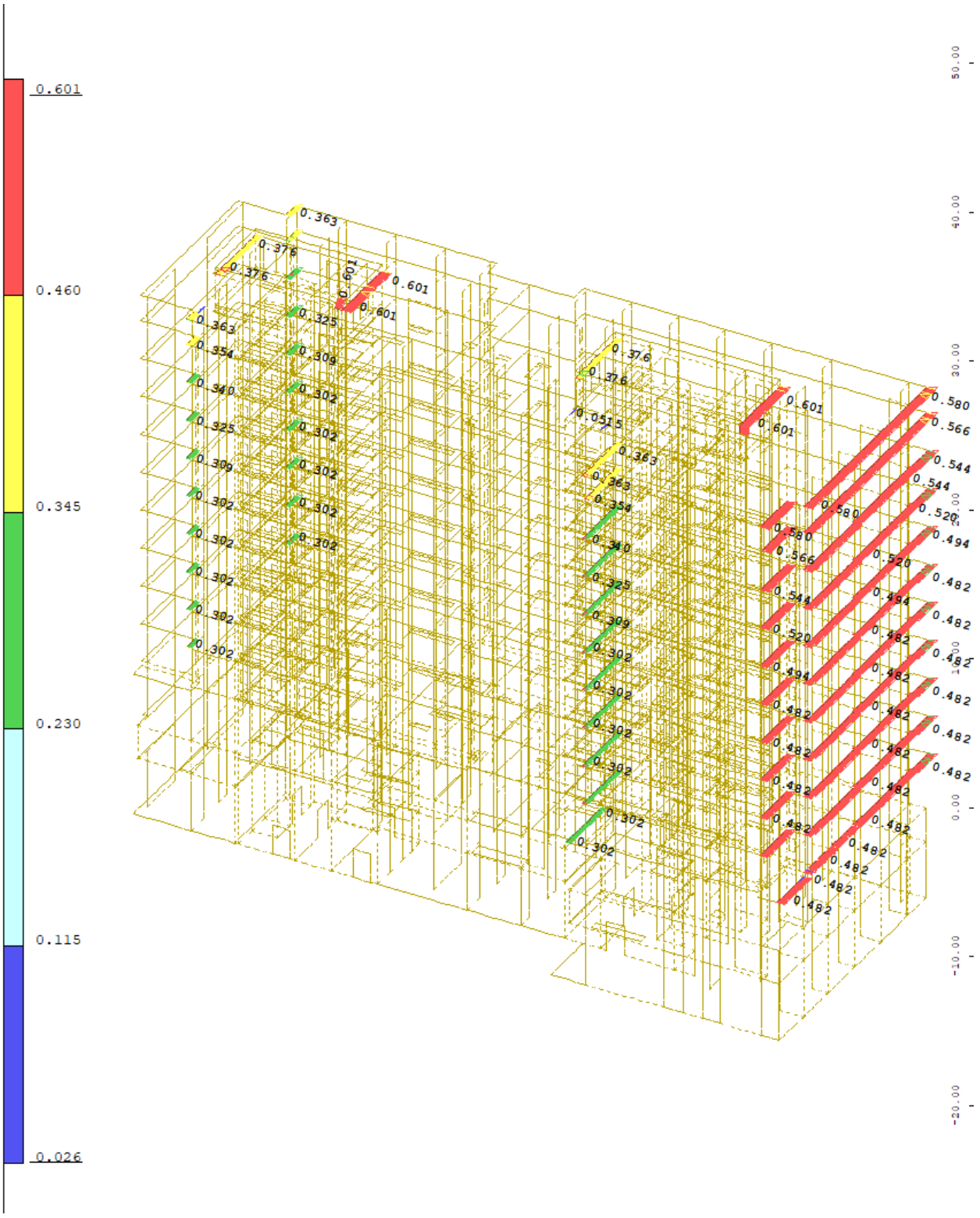
Нормативная нагрузка от лестничных маршей, кН/м



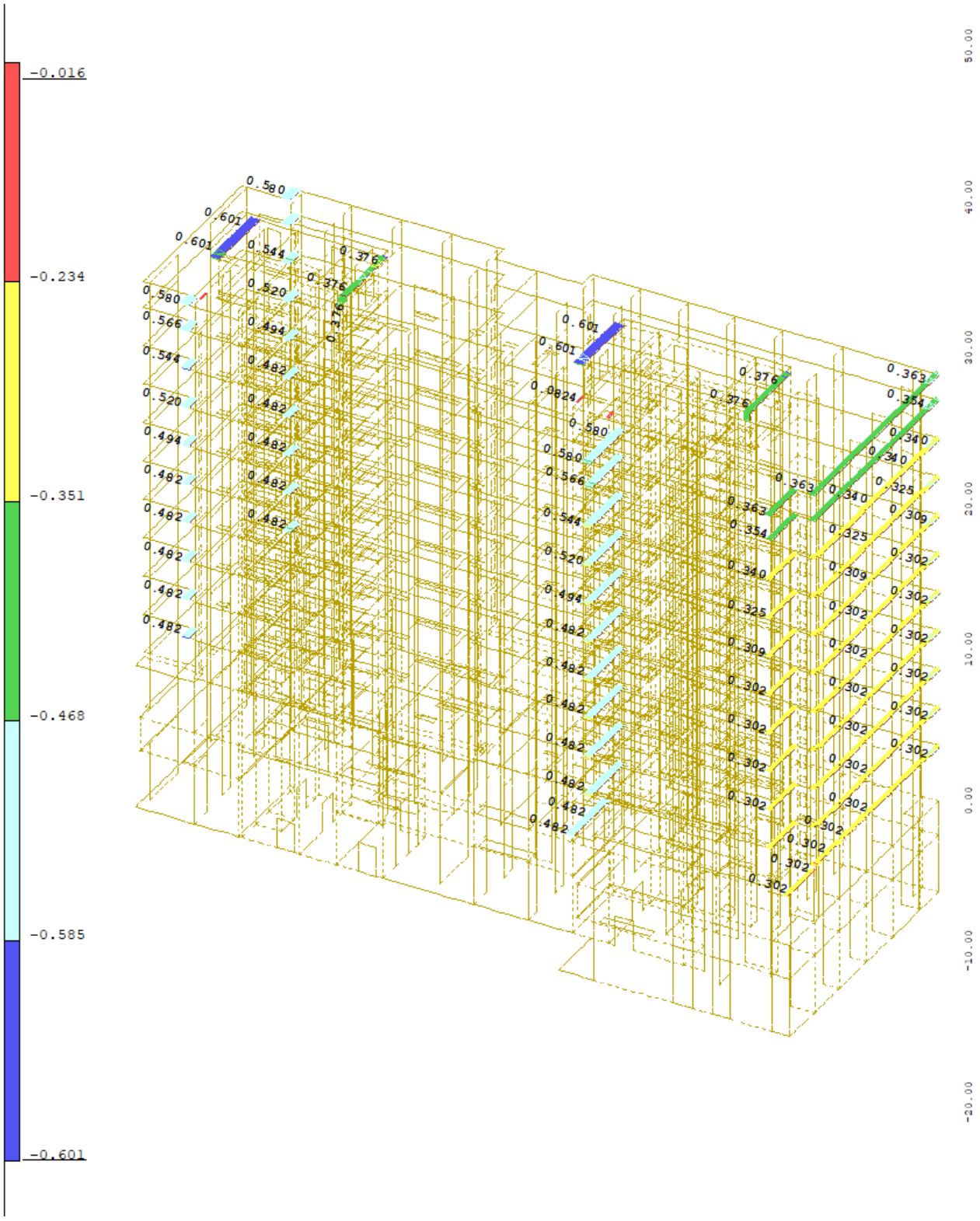
Нормативная снеговая нагрузка, кН/м2



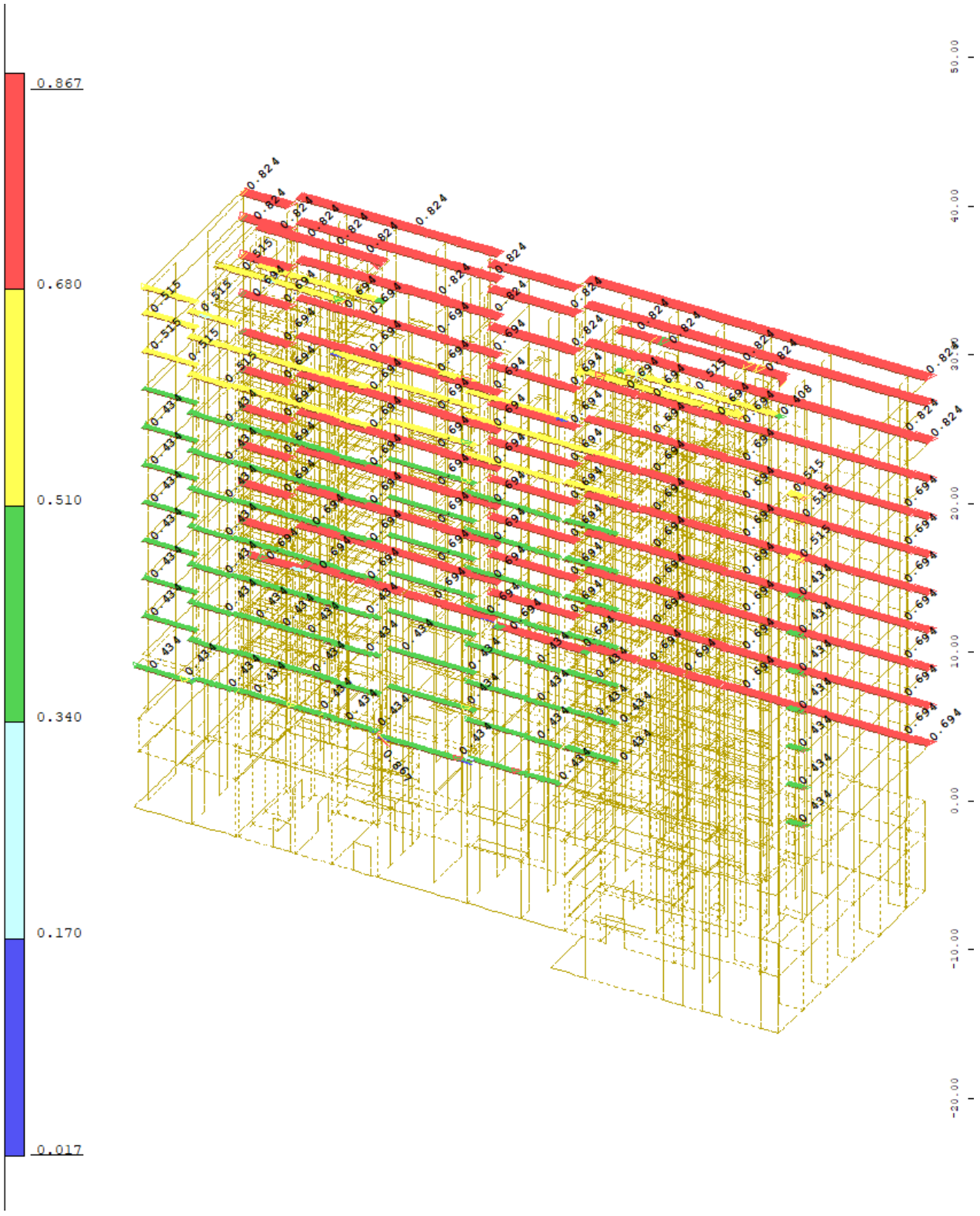
Нормативная нагрузка от давления грунта, кН/м2



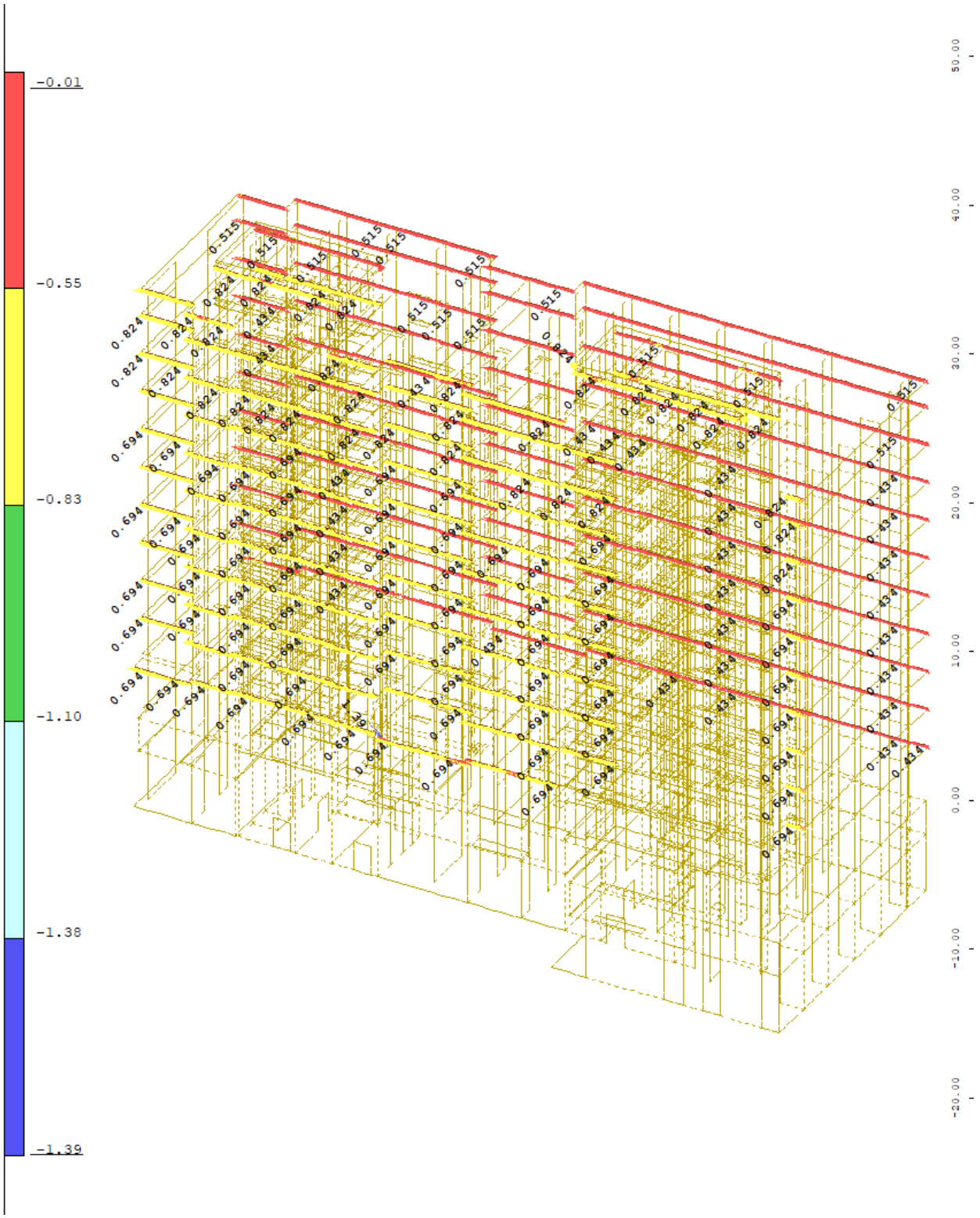
Нормативная нагрузка от ветра по +X, кН/м



Нормативная нагрузка от ветра по -X, кН/м



Нормативная нагрузка от ветра по +Y, кН/м



Нормативная нагрузка от ветра по -Y, кН/м

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

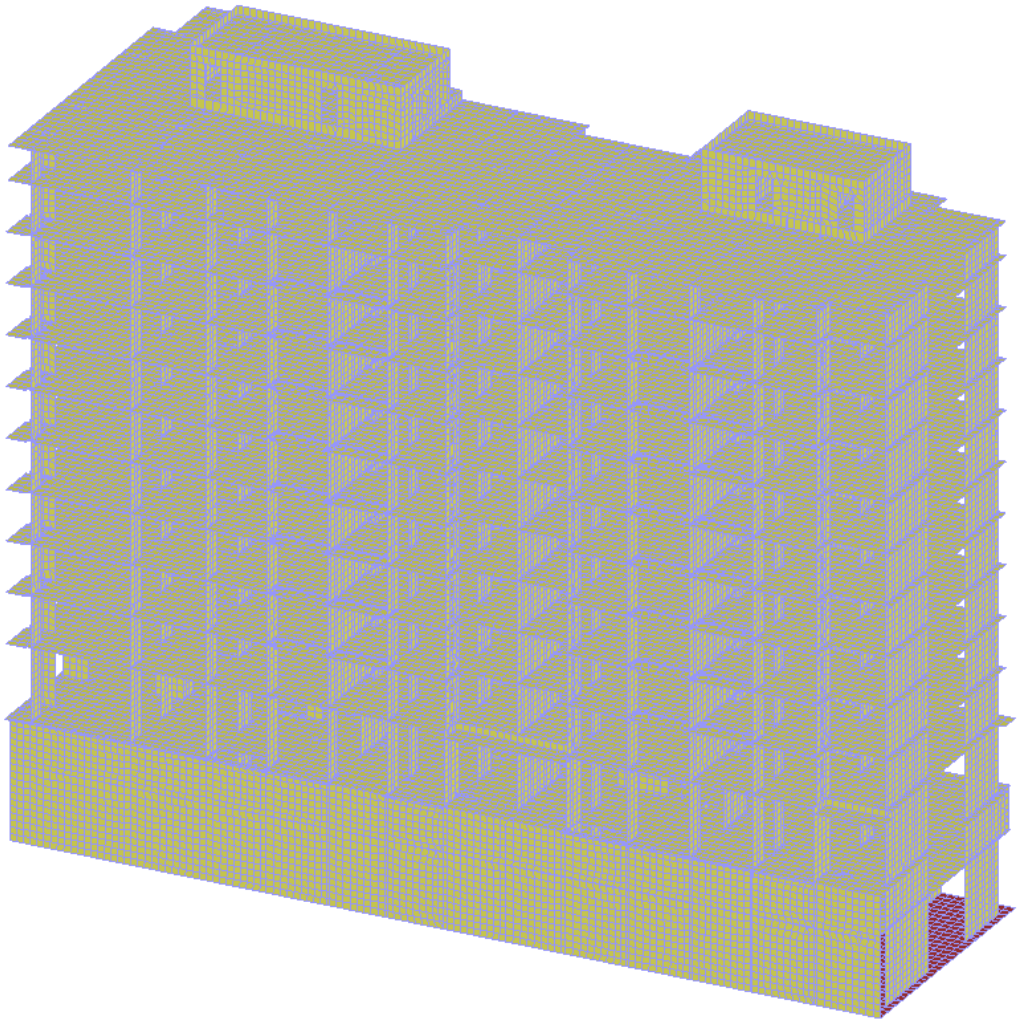
Сочетание	Загружение	Имя загружения	Коэф.к загр.	Коэф.к расч.	Коэф.к норм.	Доля дл.	Итог.коэф.к расч.	Итог.коэф.к расч.дл.дейст.	Итог.коэф.к норм.	Итог.коэф.к норм.дл.дейст.
1	1	G_Deadload	1	1.1	1	1	1.1	1.1	1	1
	2	G_Полы	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	3	L_Коридоры	1	1.2	1	0.35	1.2	0.42	1	0.35
	4	Q_Оборудование	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

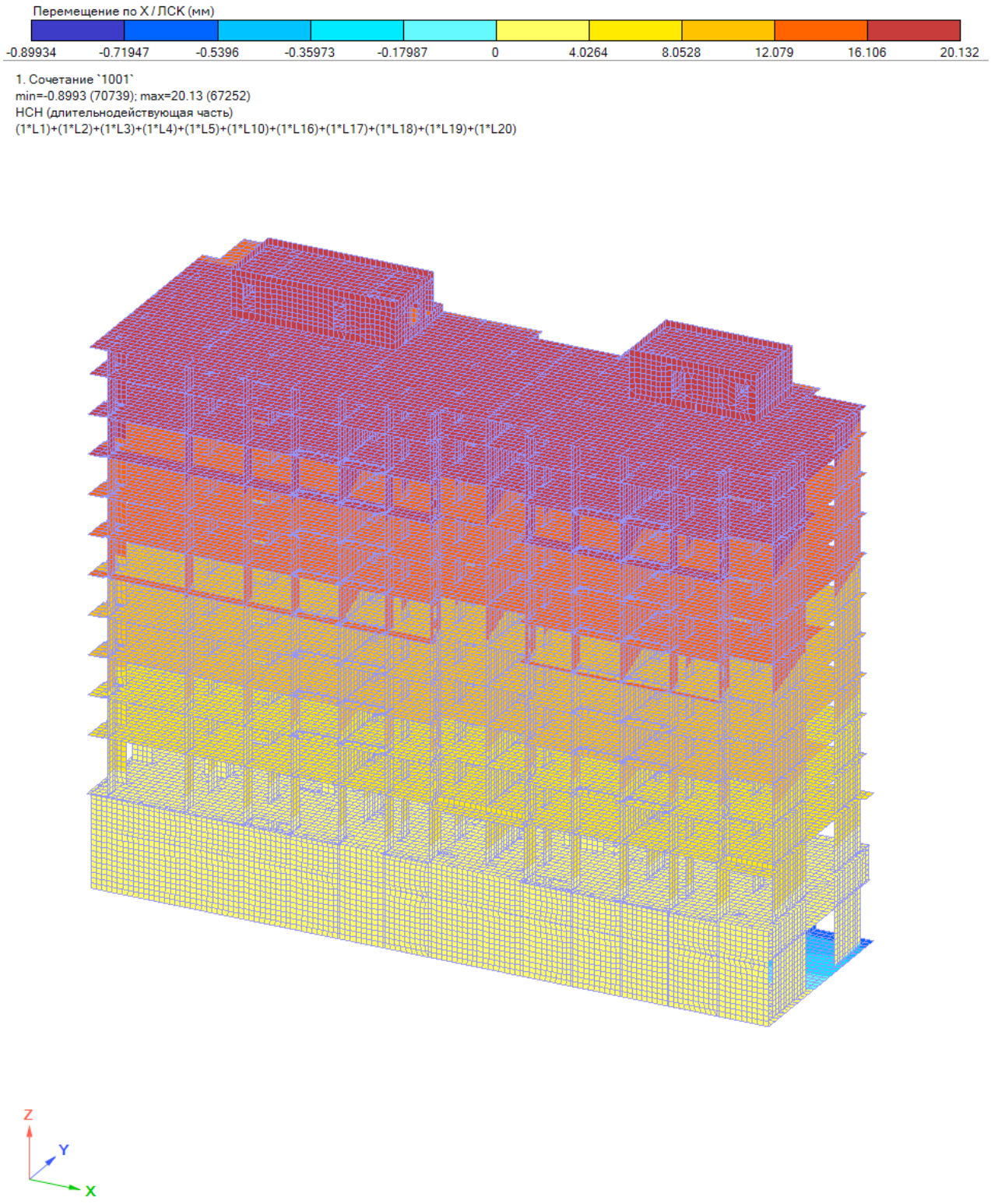
1.4. ЖЕСТКОСТИ, ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, УСКОРЕНИЯ



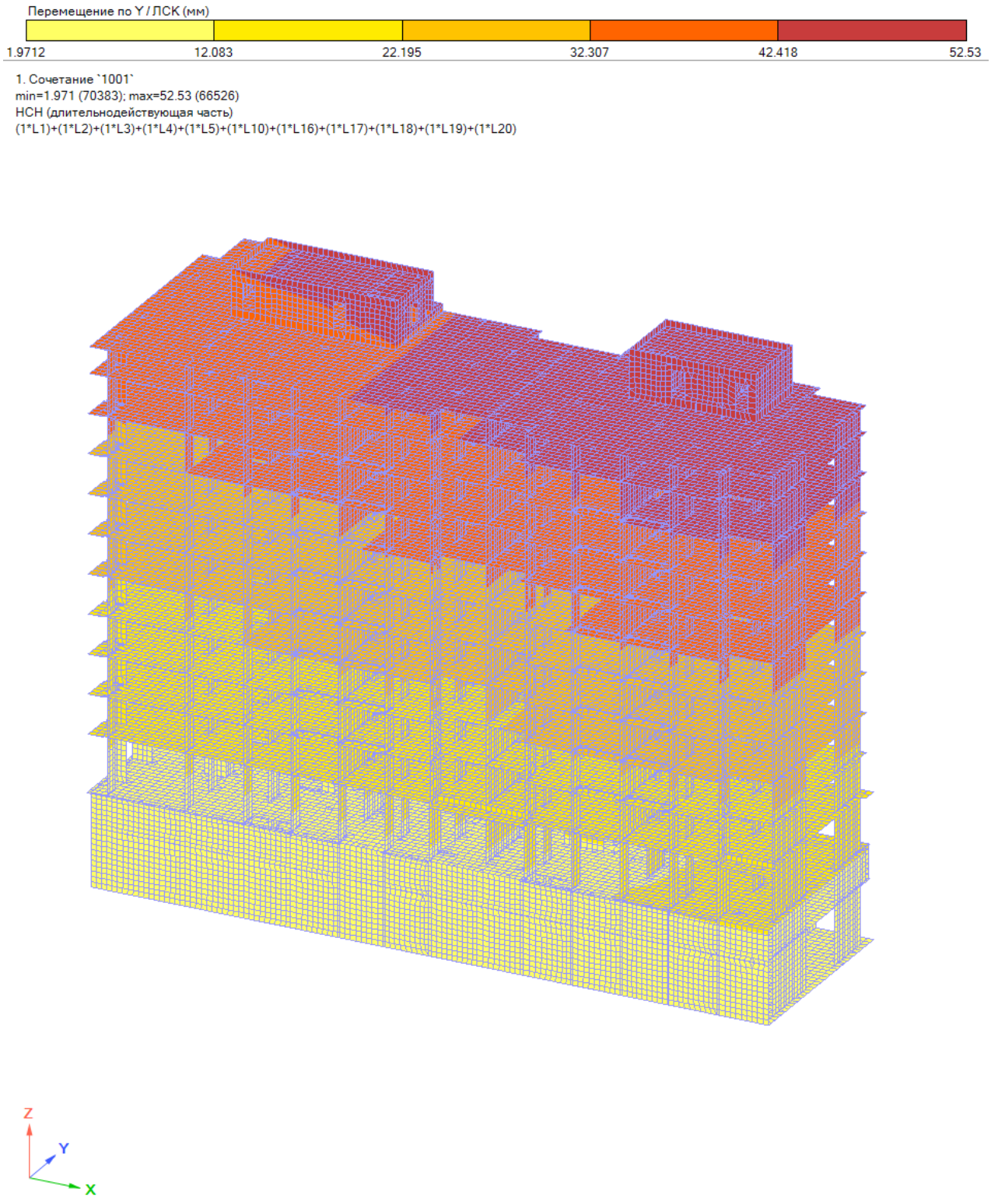




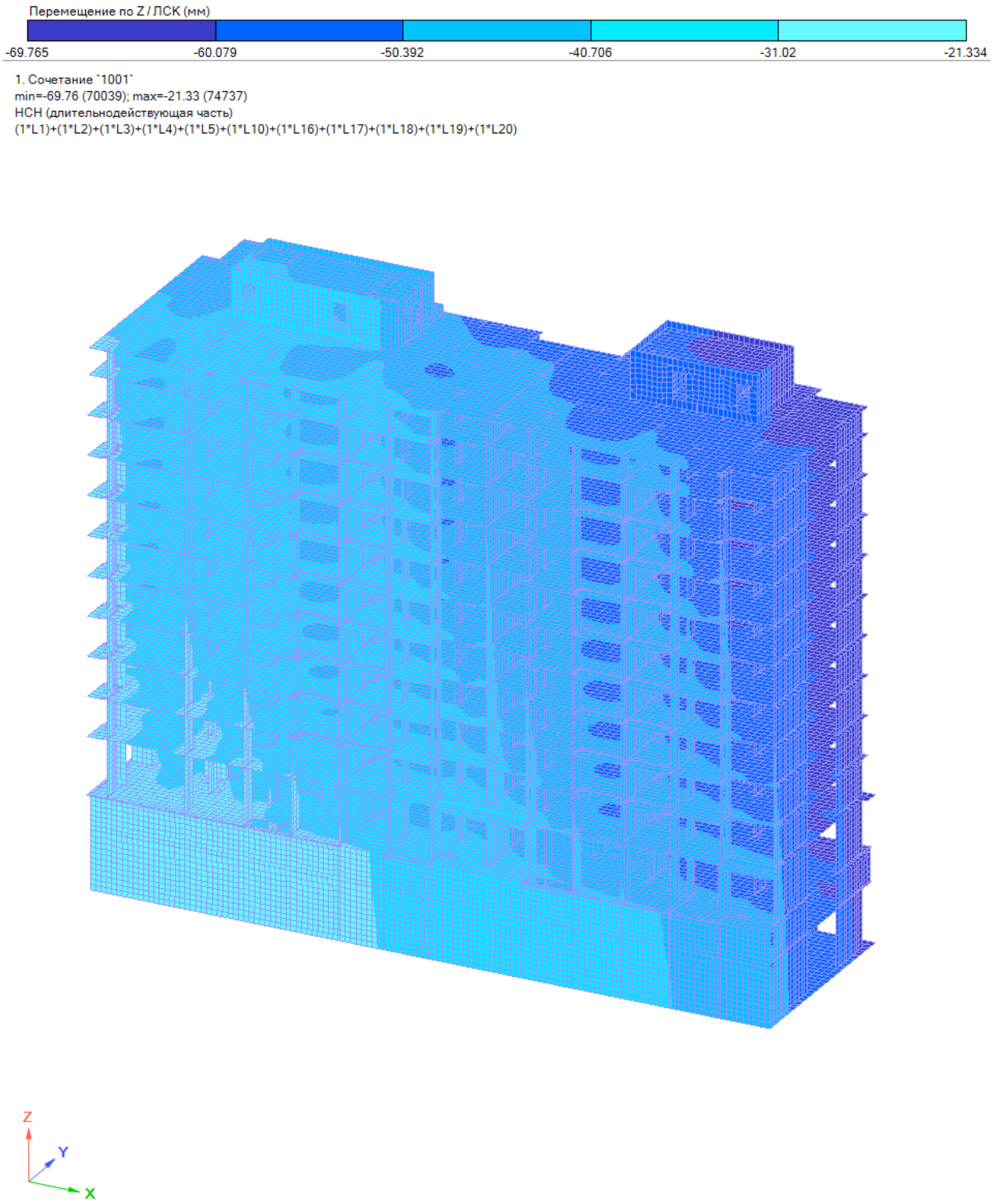
Толщины пластин, см



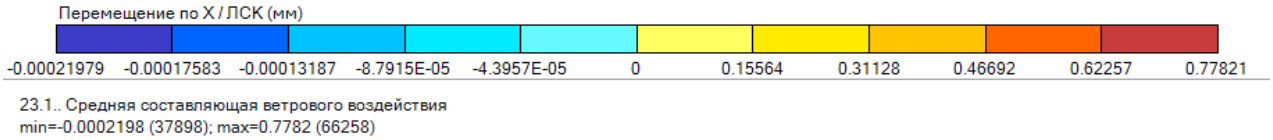
Перемещения по X от вертикальных нагрузок, мм



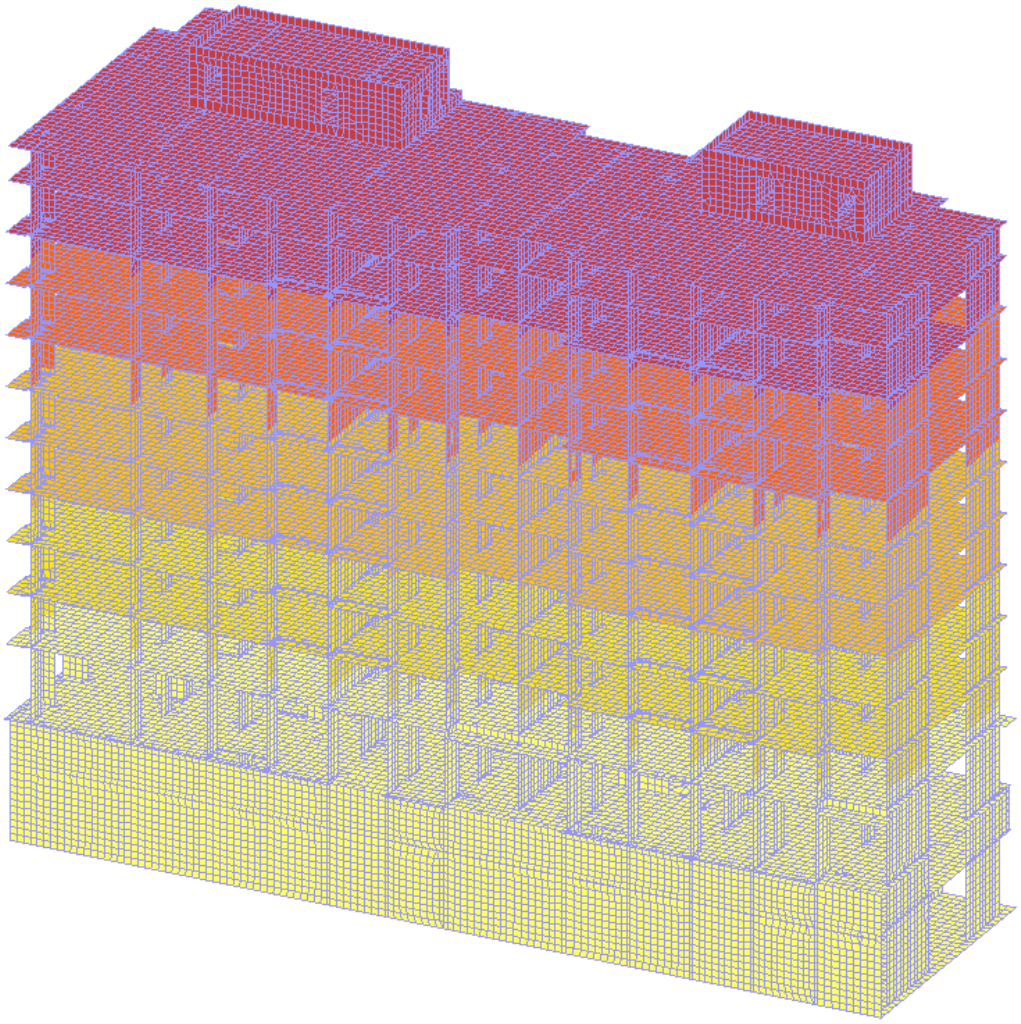
Перемещения по Y от вертикальных нагрузок, мм



Перемещения по Z от вертикальных нагрузок, мм

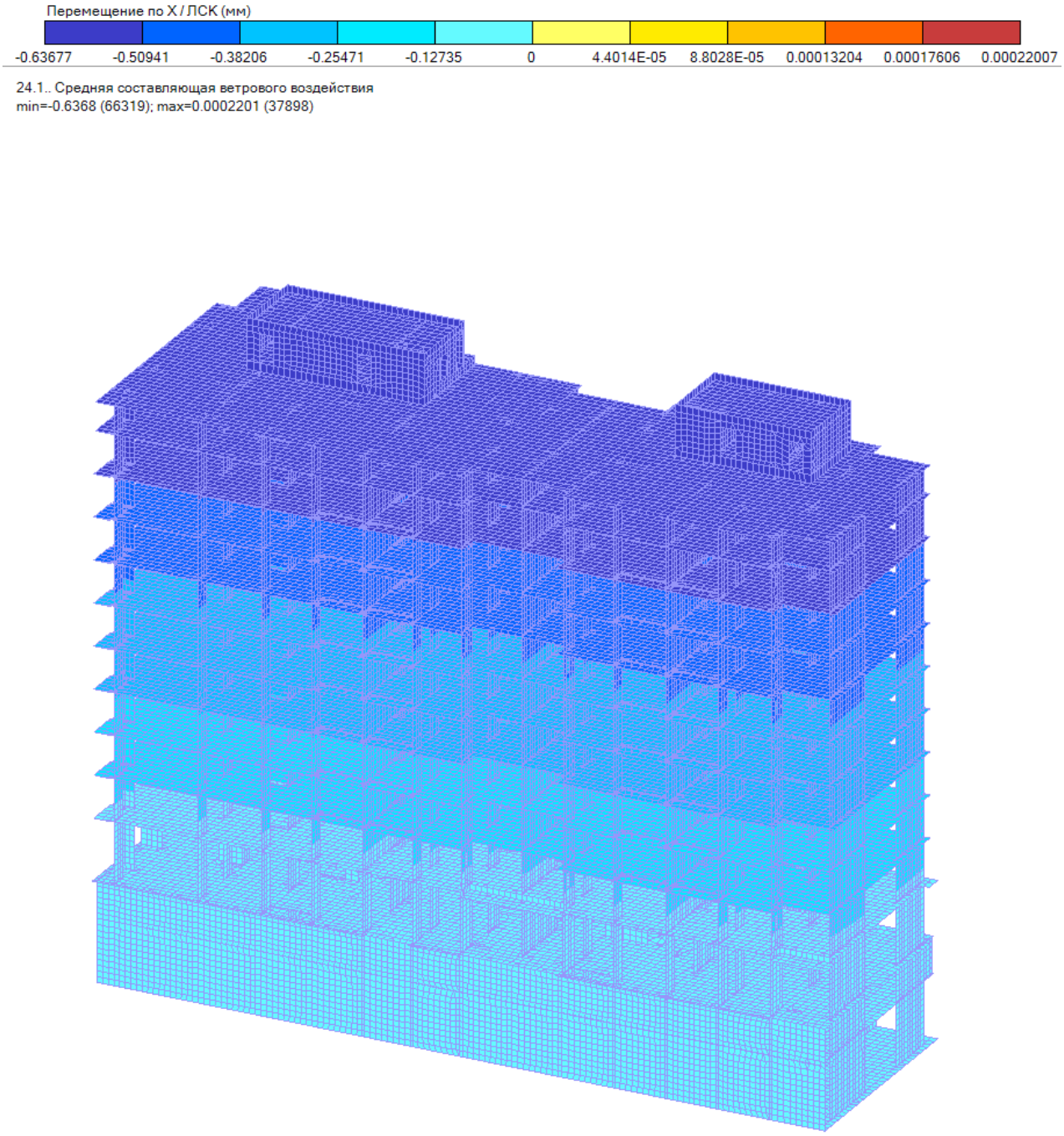


23.1.. Средняя составляющая ветрового воздействия
min=-0.0002198 (37898); max=0.7782 (66258)

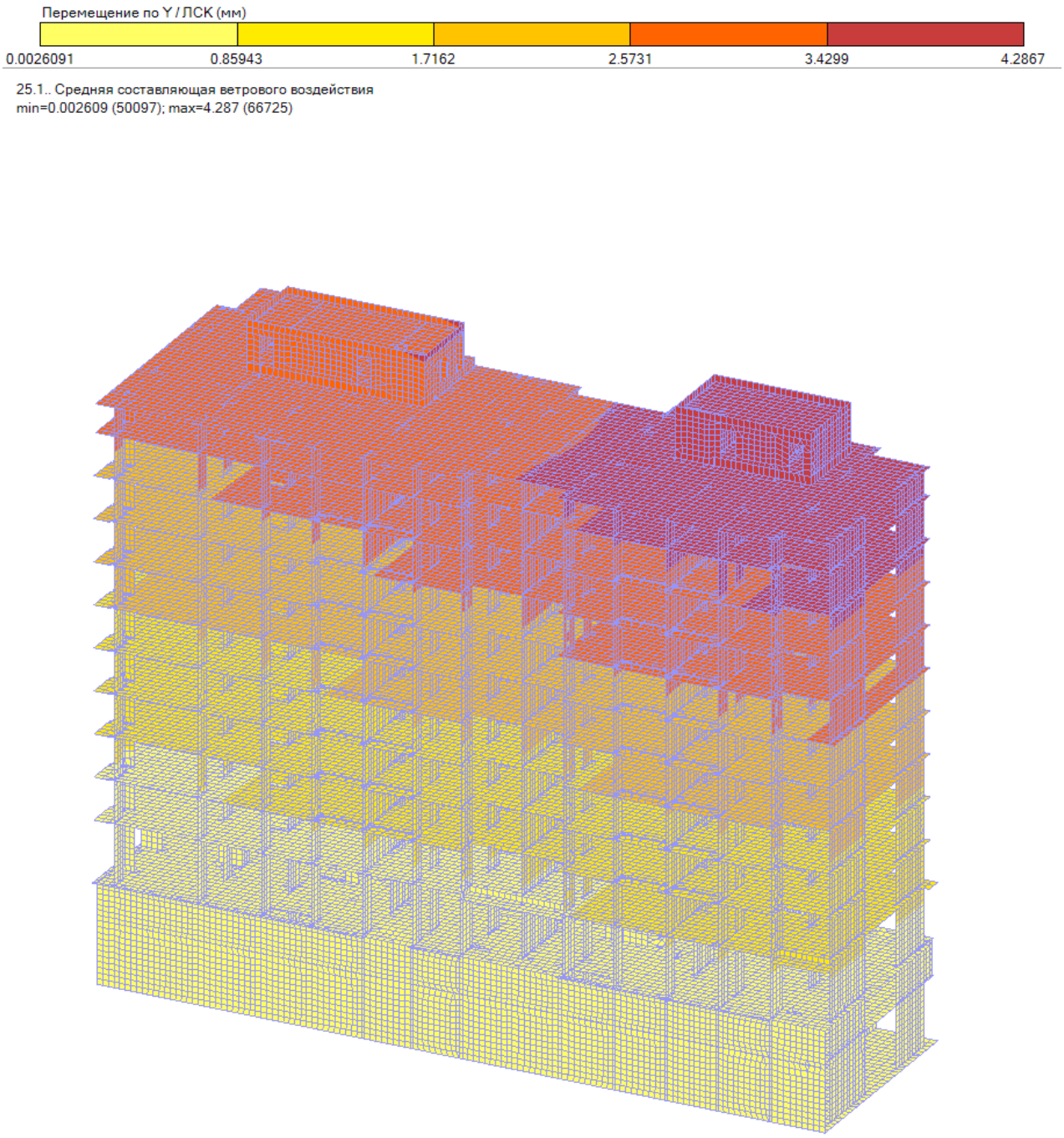




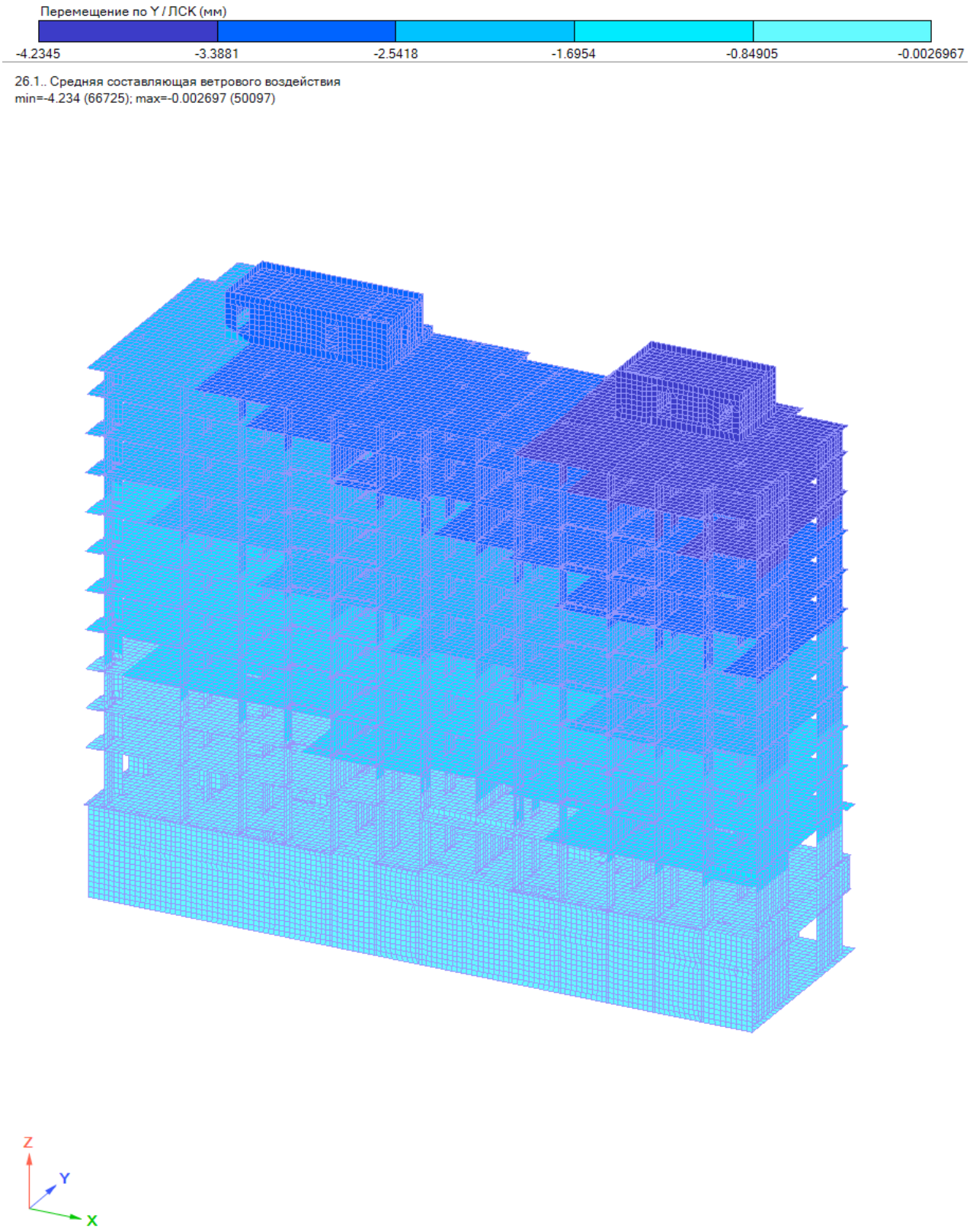
Перемещения по X+ от ветровых нагрузок, мм



Перемещения по X- от ветровых нагрузок, мм



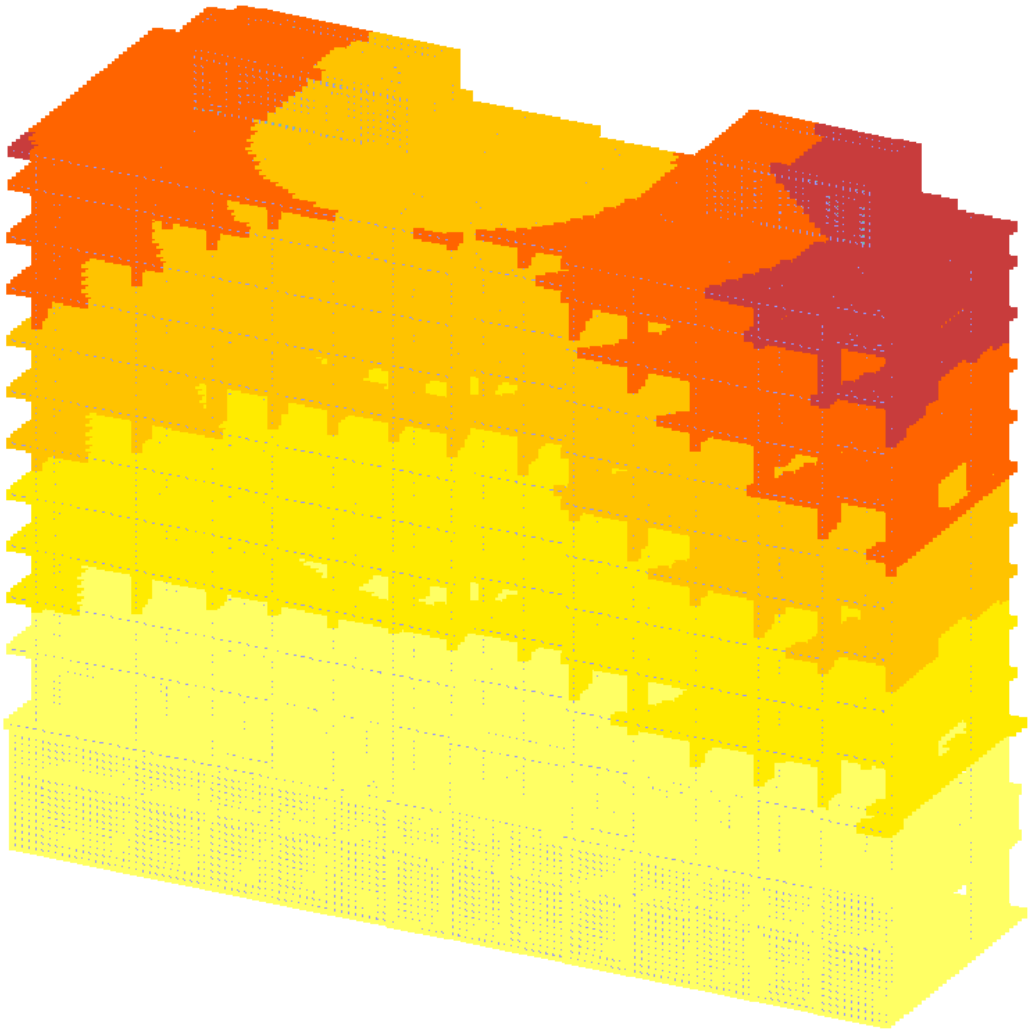
Перемещения по Y+ от ветровых нагрузок, мм



Перемещения по Y- от ветровых нагрузок, мм

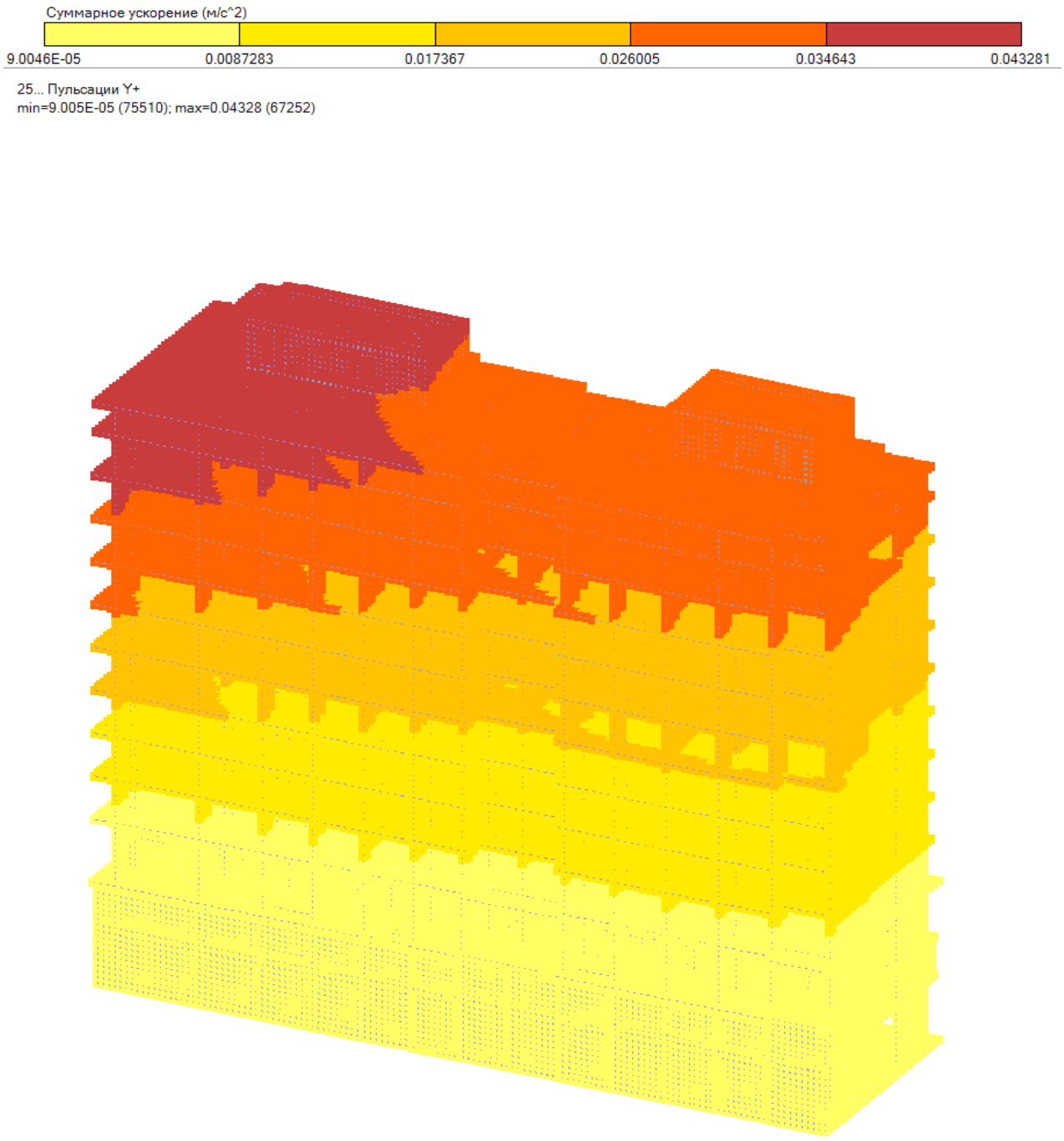


23... Пульсации X+
min=2.655E-05 (75510); max=0.0139 (67259)



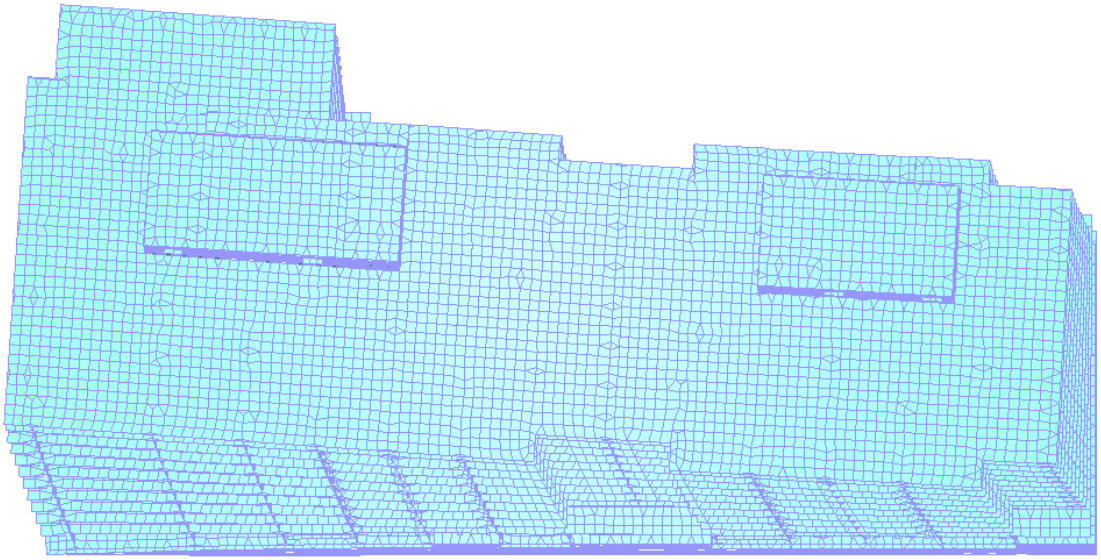


Ускорения ветер вдоль X (м/с2)



Ускорения ветер вдоль Y (м/с2)

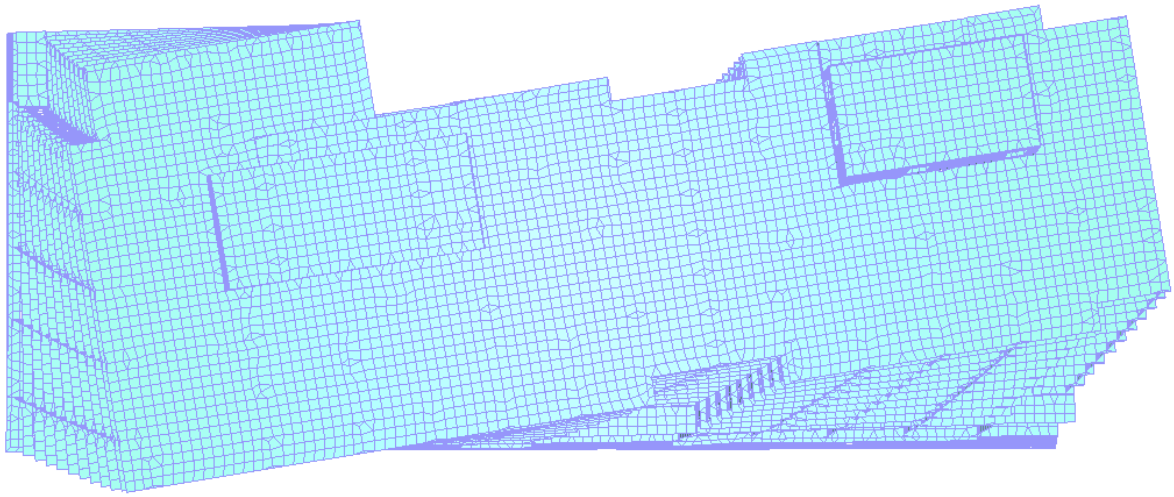
23..1. Форма 1
Частота: 0.70232 (Гц)





1 форма колебаний частота 0.702 Гц

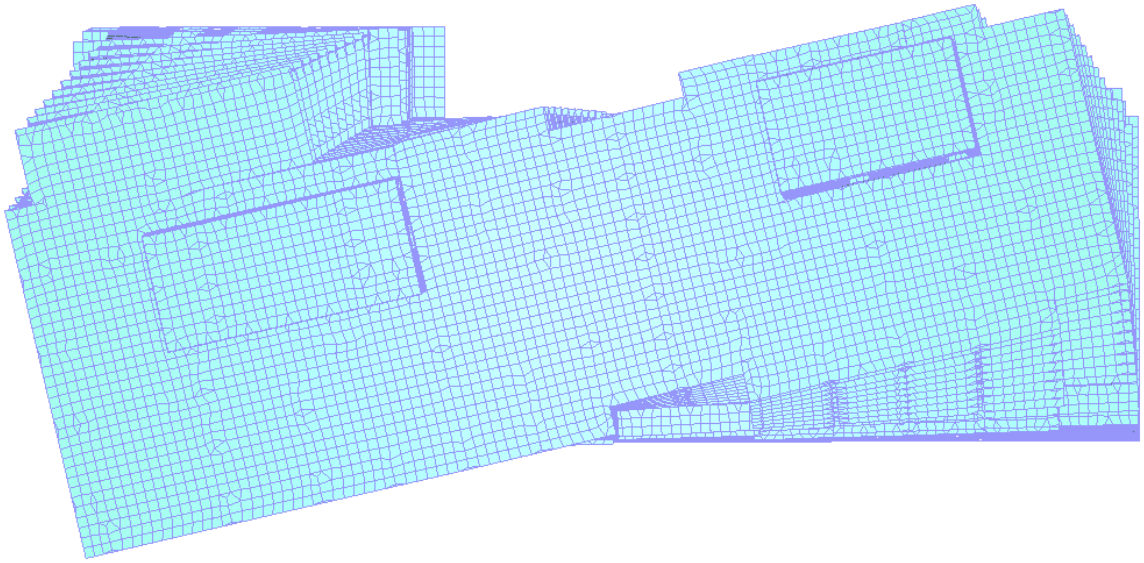
23..2. Форма 2
Частота: 0.7253 (Гц)





2 форма колебаний частота 0.725 Гц

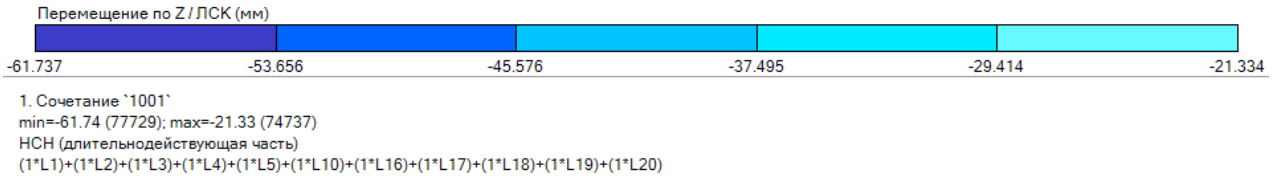
23..3. Форма 3
Частота: 0.8619 (Гц)



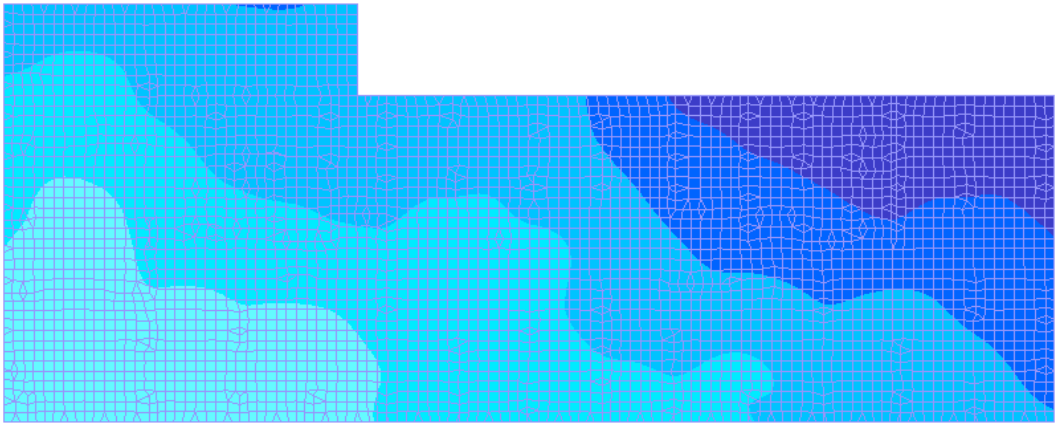


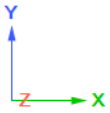
3 форма колебаний частота 0.862 Гц

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

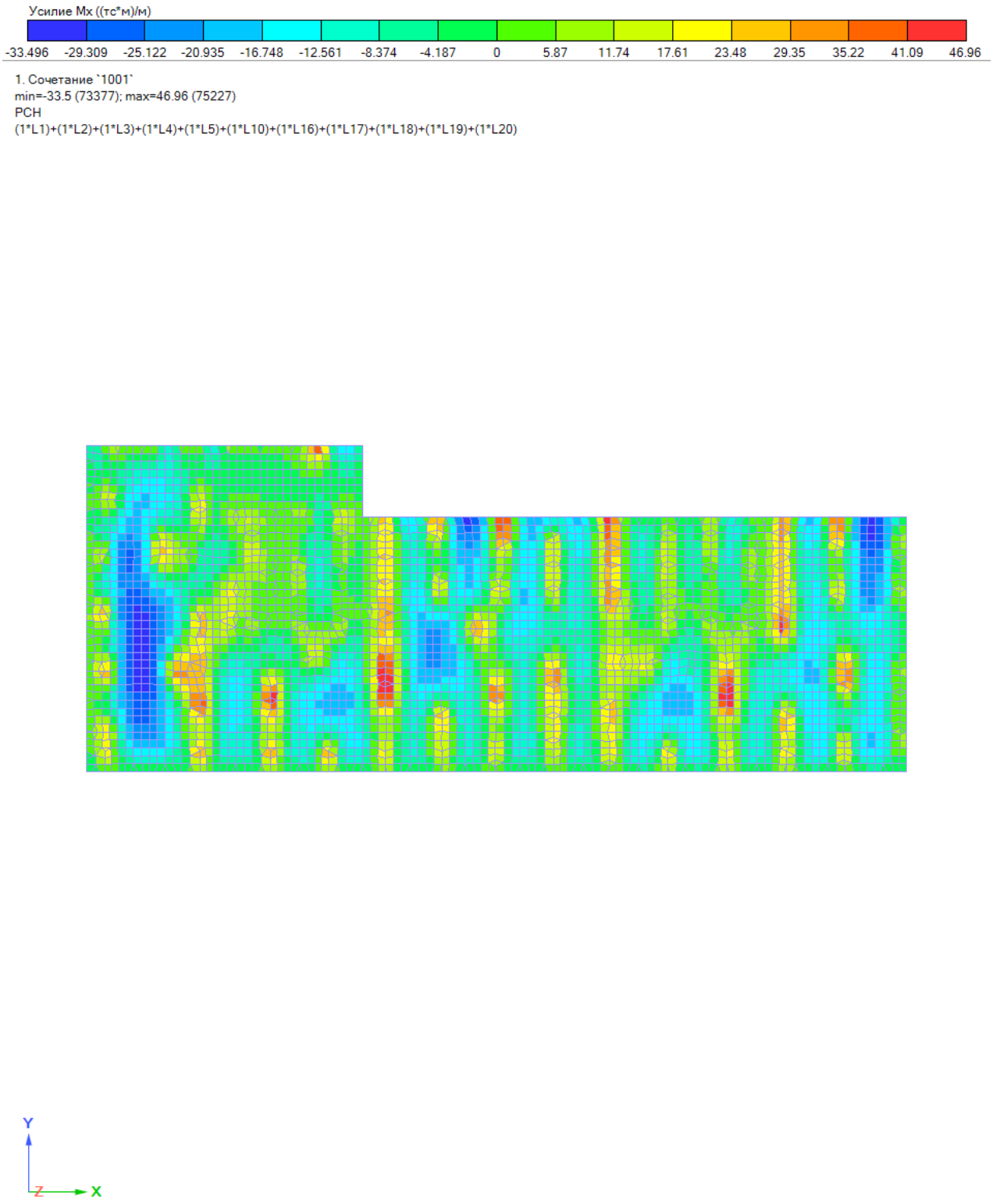


1. Сочетание `1001`
min=-61.74 (77729); max=-21.33 (74737)
НСН (длительнодействующая часть)
(1*L1)+(1*L2)+(1*L3)+(1*L4)+(1*L5)+(1*L10)+(1*L16)+(1*L17)+(1*L18)+(1*L19)+(1*L20)

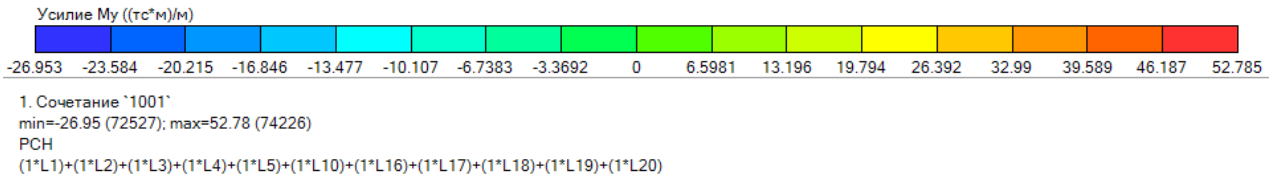


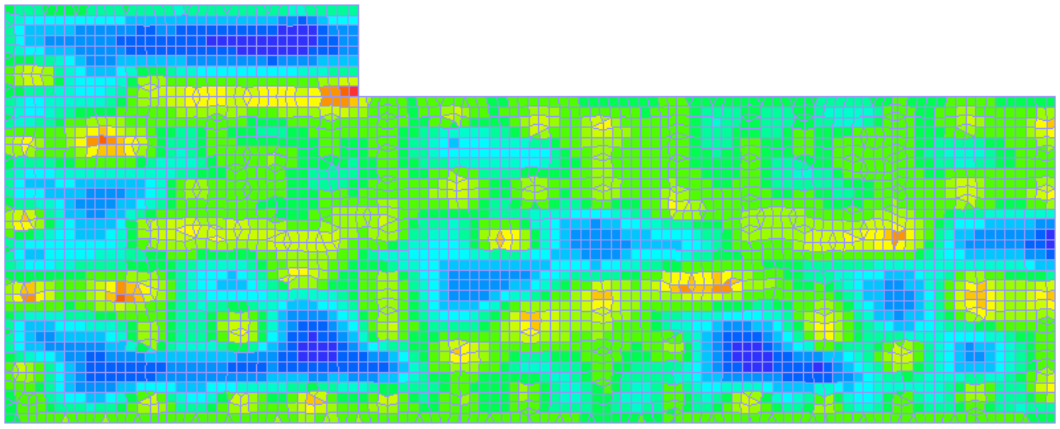


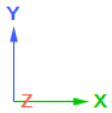
Изополя перемещения по Z, мм



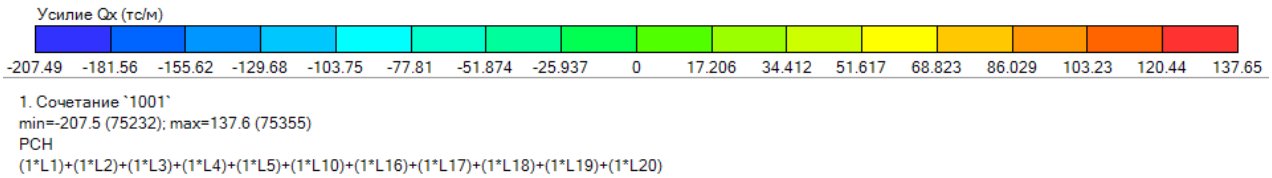
Изополя усилия Mx, тс*м/м

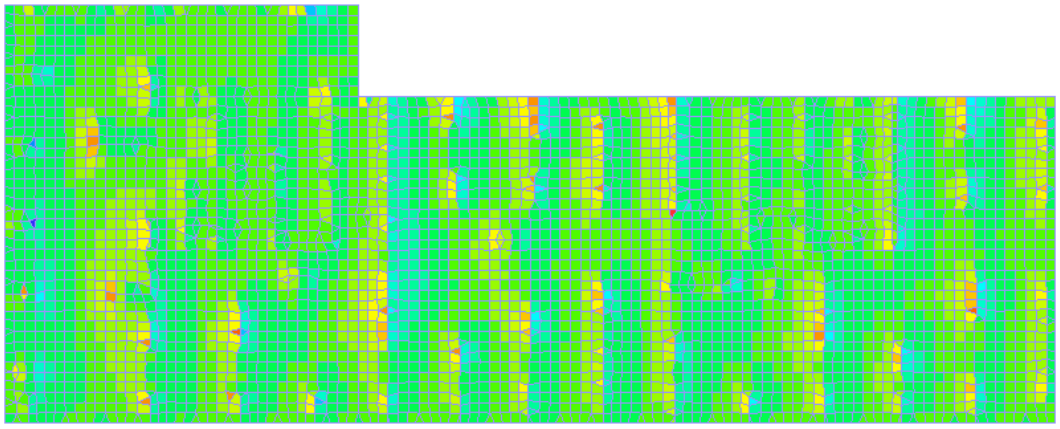


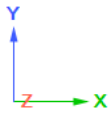




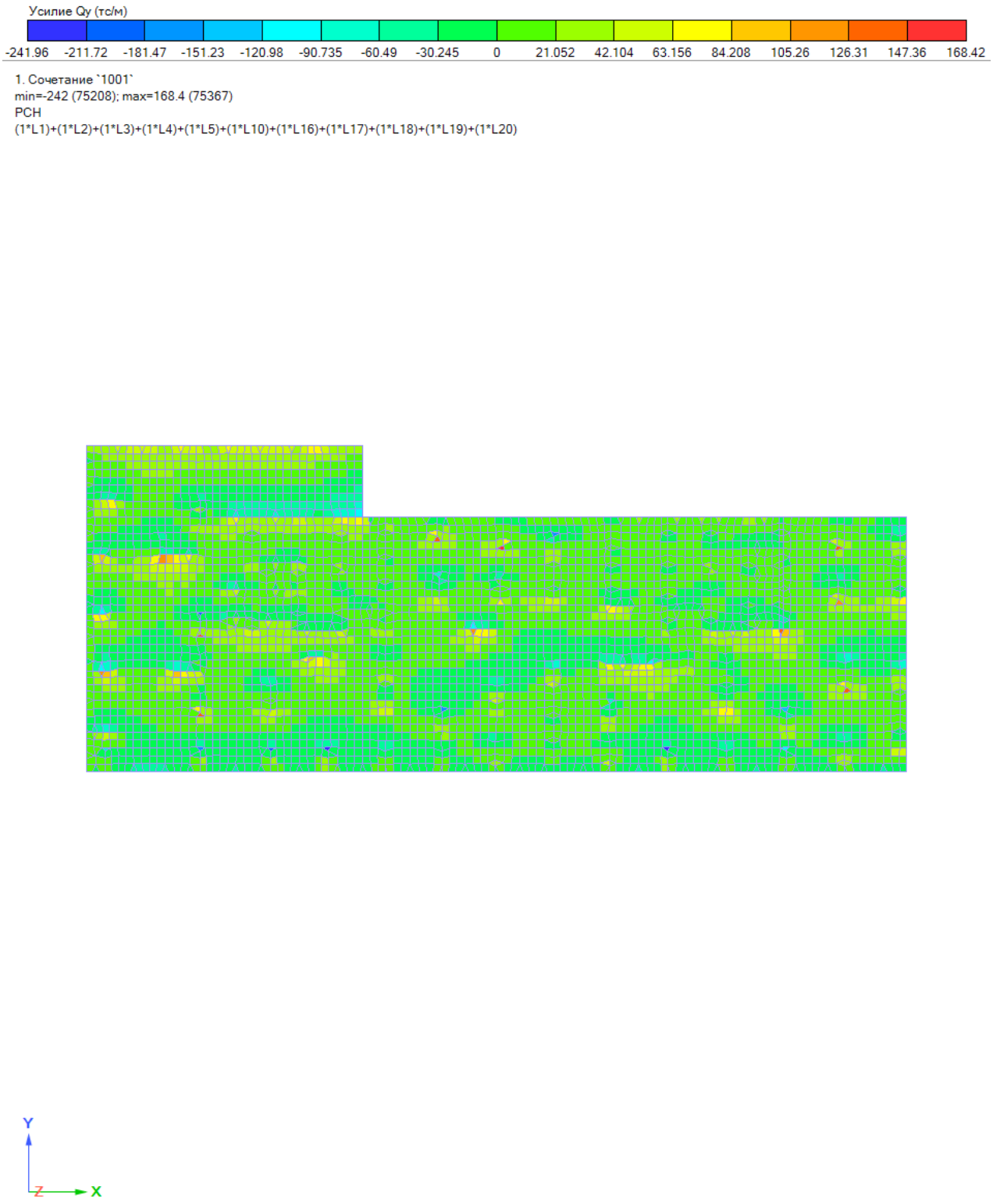
Изополя усилия My, тс*м/м







Изополя усилия Qx, тс/м



Изополя усилия Qy, тс/м

Проверка сечения фундаментной плиты в/о 1.9/1.В-1.Д на отм. -7.200 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продож. 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 $M = 394\text{кНм}$
- Изгибающий момент от постоянной и длительной нагрузки $M_l = 374.3\text{кНм}$
- Продольная сила от полной нагрузки $N = -61\text{кН}$
- Продольная сила от постоянной и длительной нагрузки $N_l = -57.95\text{кН}$

ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЯ

- Ширина сечения $b = 100\text{см} = 1\text{м}$
- Высота сечения $h = 60\text{см} = 0.6\text{м}$
- 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 $A_s = 24.5\text{см}^2 = 2.45 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- Площадь сжатой арматуры $A'_s = 15.7\text{см}^2 = 1.57 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- Диаметр арматуры $d_s = 25\text{мм} = 0.025\text{м}$
- 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

$$h_0 = 0.6 - 0.05 = 0.55\text{м}$$

$$h_0' = 0.6 - 0.05 = 0.55\text{м}$$

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

$$A = bh = 1 \cdot 0.6 = 0.6\text{м}^2$$

$$A_{red} = A + \alpha(A_s + A_s') = 0.6 + 6.15(2.45 \cdot 10^{-3} + 1.57 \cdot 10^{-3}) = 0.6248\text{м}^2$$

$$S_{t,red} = \frac{Ah}{2} + \alpha(A_{sa} + A_s'h_0') = \frac{0.6 \cdot 0.6}{2} + 6.15(2.45 \cdot 10^{-3} \cdot 0.05 + 1.57 \cdot 10^{-3} \cdot 0.55) = 0.1861\text{м}^3$$

$$y_t = \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = \frac{0.1861}{0.6248} = 0.298\text{м}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} + A\left(\frac{h}{2} - y_t\right)^2 = 1 \cdot \frac{0.6^3}{12} + 0.6\left(\frac{0.6}{2} - 0.298\right)^2 = 18 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_s = \alpha A_s(y_t - a)^2 = 6.15 \cdot (2.45 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.298 - 0.05)^2 = 0.93 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_s' = \alpha A_s'(h_0' - y_t)^2 = 6.15 \cdot (1.57 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.55 - 0.298)^2 = 0.61 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_{red} = I + I_s + I_s' = 18 \cdot 10^{-3} + 0.93 \cdot 10^{-3} + 0.61 \cdot 10^{-3} = 19.55 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_t} = \frac{19.55 \cdot 10^{-3}}{0.298} = 0.0656\text{м}^3$$

$$W_{pl} = 1.3W_{red} = 1.3 \cdot 0.0656 = 0.0853\text{м}^3$$

$$e_x = \frac{W_{red}}{A_{red}} = \frac{0.0656}{0.6248} = 0.105\text{м}$$

$$M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} + Ne_x = 1750 \cdot 0.0853 + 61 \cdot 0.105 = 155.71\text{кНм}$$

$$M = 394\text{кНм} > M_{crc} = 155.71\text{кНм, трещины образуются}$$

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

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

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

$$\mu_s = \frac{A_s}{bh_0} = \frac{2.45 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0.55} = 0.0045$$

$$\mu_s' = \frac{A_s'}{bh_0} = \frac{1.57 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0.55} = 0.0029$$

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

$$= 0.55\left(\sqrt{(0.0045\cdot 13.636+0.0029\cdot 13.636)^2+2(0.0045\cdot 13.636+0.0029\cdot 13.636\cdot 0.05/0.55)}\right.$$

$$\left.-(0.0045\cdot 13.636+0.0029\cdot 13.636)\right) = 0.15\text{м}$$

$$x_m = x_M+\frac{I_{red}N_l}{A_{red}M_l} = 0.15-\frac{1.955E-002\cdot 57.95}{0.625\cdot 374.3} = 0.155\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.155\cdot 1 = 0.1548\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b+\alpha_{s,1}A'_s+\alpha_{s,2}A_s = 0.1548+13.636\cdot 1.57\cdot 10^{-3}+13.636\cdot 2.45\cdot 10^{-3} = 0.2097\text{м}^2$$

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

$$= 0.1548\left(0.6-\frac{0.155}{2}\right)+(1.57\cdot 10^{-3})\cdot 0.55\cdot 13.636+(2.45\cdot 10^{-3})\cdot 0.55$$

$$\cdot 13.636 = 0.0944\text{м}^3$$

$$y_c = h-\frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.6-\frac{0.0944}{0.2097} = 0.15\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0-y_c)^2 = (2.45\cdot 10^{-3})\cdot(0.55-0.15)^2 = 3.926E-004\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c-a')^2 = (1.57\cdot 10^{-3})\cdot(0.15-0.05)^2 = 1.572E-005\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12}+y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1\cdot\frac{0.15^3}{12}+0.15\cdot 1\left(\frac{0.15}{2}\right) = 1.126E-003\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b+I_s\alpha_{s,2}+I'_s\alpha_{s,1} = 1.126E-003+3.926E-004\cdot 13.636+1.572E-005\cdot 13.636$$

$$= 6.693E-003\text{м}^4$$

$$x_t = h-x_m = 0.6-0.155 = 0.445\text{м}$$

x_t принимается в пределах не менее $2a = 2\cdot 0.05 = 0.1$м и не более $0.5h = 0.5\cdot 0.6 = 0.3$м

Принимаем $x_t = 0.5h = 0.5\cdot 0.6 = 0.3$м

$$A_{bt} = bx_t = 1\cdot 0.3 = 0.3\text{м}^2$$

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.3}{2.45\cdot 10^{-3}}\,0.025 = 1.528\text{м}$$

l_s принимается в пределах не менее $10d_s = 10\cdot 0.025 = 0.25$м и 0.1м и не более $40d_s = 40\cdot 0.025 = 1$м и 0.4м

Принимаем $l_s = 0.4$м

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M_l(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{374.3(0.55 - 0.15)}{6.693E-003} + \frac{-57.95}{0.2097}\right)13.636 = 301236\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{155.71(0.55 - 0.15)}{6.693E-003} + \frac{-57.95}{0.2097}\right)13.636 = 123112\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\ \frac{123111.81}{301236.17} = 0.673$$

$$a_{crc1} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.673\ \frac{301236}{200000000}\ 0.4 = 0.000284\text{м} = 0.284\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$a_{crc3} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.673\ \frac{301236}{200000000}\ 0.4 = 0.000203\text{м} = 0.203\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК

$$x_m = x_M + \frac{I_{red}N}{A_{red}M} = 0.15\ - \frac{1.955E-002 \cdot 61}{0.625 \cdot 394} = 0.155\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.155 \cdot 1 = 0.1548\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.1548 + 13.636 \cdot 1.57 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 2.45 \cdot 10^{-3} = 0.2097\text{м}^2$$

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

$$= 0.1548\left(0.6 - \frac{0.155}{2}\right) + 1.57 \cdot 10^{-3} \cdot 0.55 \cdot 13.636 + (2.45 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.55 \cdot 13.636$$

$$= 0.0944\text{м}^3$$

$$y_c = h\ - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.6\ - \frac{0.0944}{0.2097} = 0.15\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c) = (2.45 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.55\ -\ 0.15) = 3.926E-004\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a') = (1.57 \cdot 10^{-3})(0.15\ -\ 0.05) = 1.572E-005\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.15^3}{12} + 0.15 \cdot 1\left(\frac{0.15}{2}\right) = 1.126E-003\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 1.126E-003 + 3.926E-004 \cdot 13.636 + 1.572E-005 \cdot 13.636 = 6.693E-003\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.6 - 0.155 = 0.445\text{м}$$

x_t принимается в пределах не менее $2a = 2 \cdot 0.05 = 0.1$м и не более $0.5h = 0.5 \cdot 0.6 = 0.3$м

Принимаем $x_t = 0.5h = 0.5 \cdot 0.6 = 0.3$м

$$A_{bt} = bx_t = 1 \cdot 0.3 = 0.3\text{м}^2$$

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.3}{2.45 \cdot 10^{-3}}\,0.025 = 1.528\text{м}$$

l_s принимается в пределах не менее $10d_s = 10 \cdot 0.025 = 0.25$м и 0.1м и не более $40d_s = 40 \cdot 0.025 = 1$м и 0.4м

Принимаем $l_s = 0.4$м

$$\sigma_s = \left(\frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{394(0.55-0.15)}{6.693E-003} + \frac{-61}{0.2097}\right)13.636 = 317091\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{155.71(0.55-0.15)}{6.693E-003} + \frac{-61}{0.2097}\right)13.636 = 122913\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\,\frac{122913.47}{317090.71} = 0.69$$

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

$$a_{crc2} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.69\,\frac{317091}{200000000}\,0.4 = 0.000203\text{м} = 0.203\text{мм}$$

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

$$a_{crc1} = 0.284\text{мм} \le a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм}$$

Ширина продолжительного раскрытия трещин не превышает предельной

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.000284 + 0.000219 - 0.000203 = 0.0003\text{м} = 0.3\ \text{мм}$$

$$a_{crc} = 0.3\text{мм} \le a_{crc,ult} = 0.4\text{мм}$$

Ширина непродолжительного раскрытия трещин не превышает предельной.

ПРОВЕРКА ПО ПЕРВОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

$$R_s = 435000\text{кПа}$$

$$R_{sc} = 435000\text{кПа}$$

$$R_b = 17000\text{кПа}$$

$$\varepsilon_{b2} = 0.0042$$

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

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

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b} = \frac{435000 \cdot 0.002454 - 435000 \cdot 0.001571}{17000 \cdot 1} = 0.023\text{м}$$

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{0.023}{0.55} = 0.041$$

$$\xi = 0.041 < \xi_R = 0.493$$

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0.5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$
$$= 17000 \cdot 1 \cdot 0.023(0.55 - 0.5 \cdot 0.023) + 435000 \cdot 0.001571(0.55 - 0.05)$$
$$= 549\text{кНм}$$

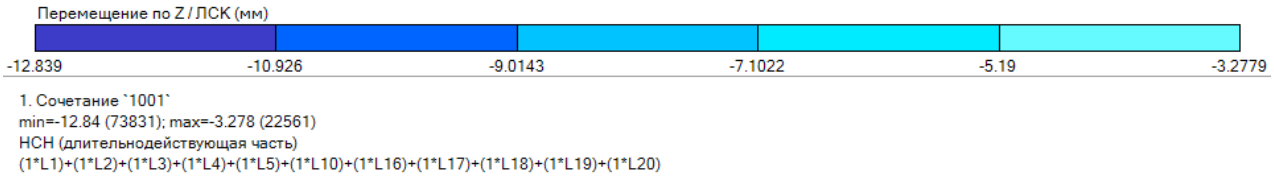
$$M = 512\text{кНм} < M_{ult} = 549\text{кНм}$$

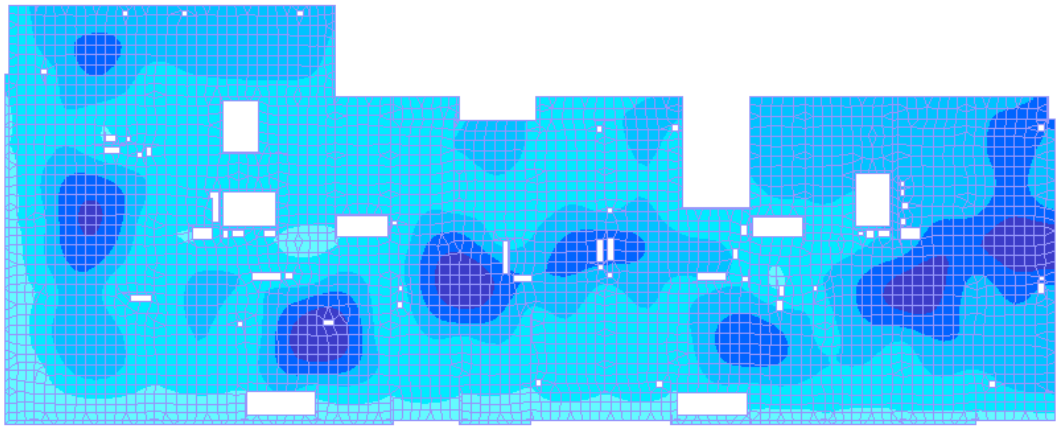
Условие прочности выполняется

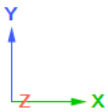
Коэффициент использования 0.9336



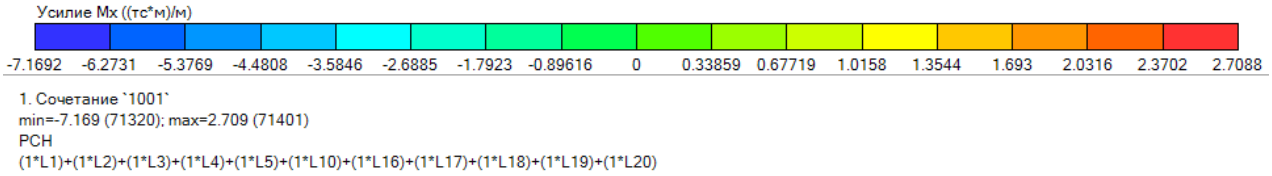
2.1. РАСЧЕТ ПЛИТ НА ОТМ. -1.450, -1.210, -0.970 (ПЛИТА НАД ПОДВАЛОМ)

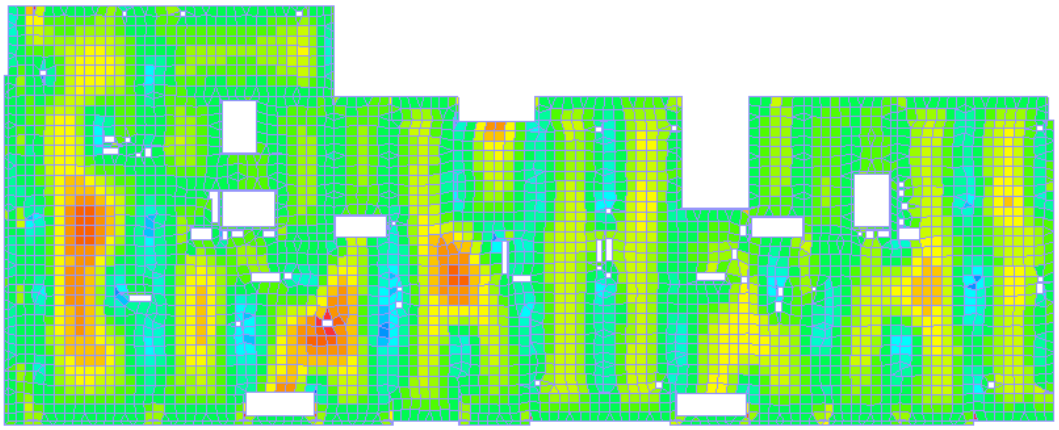


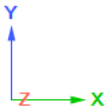




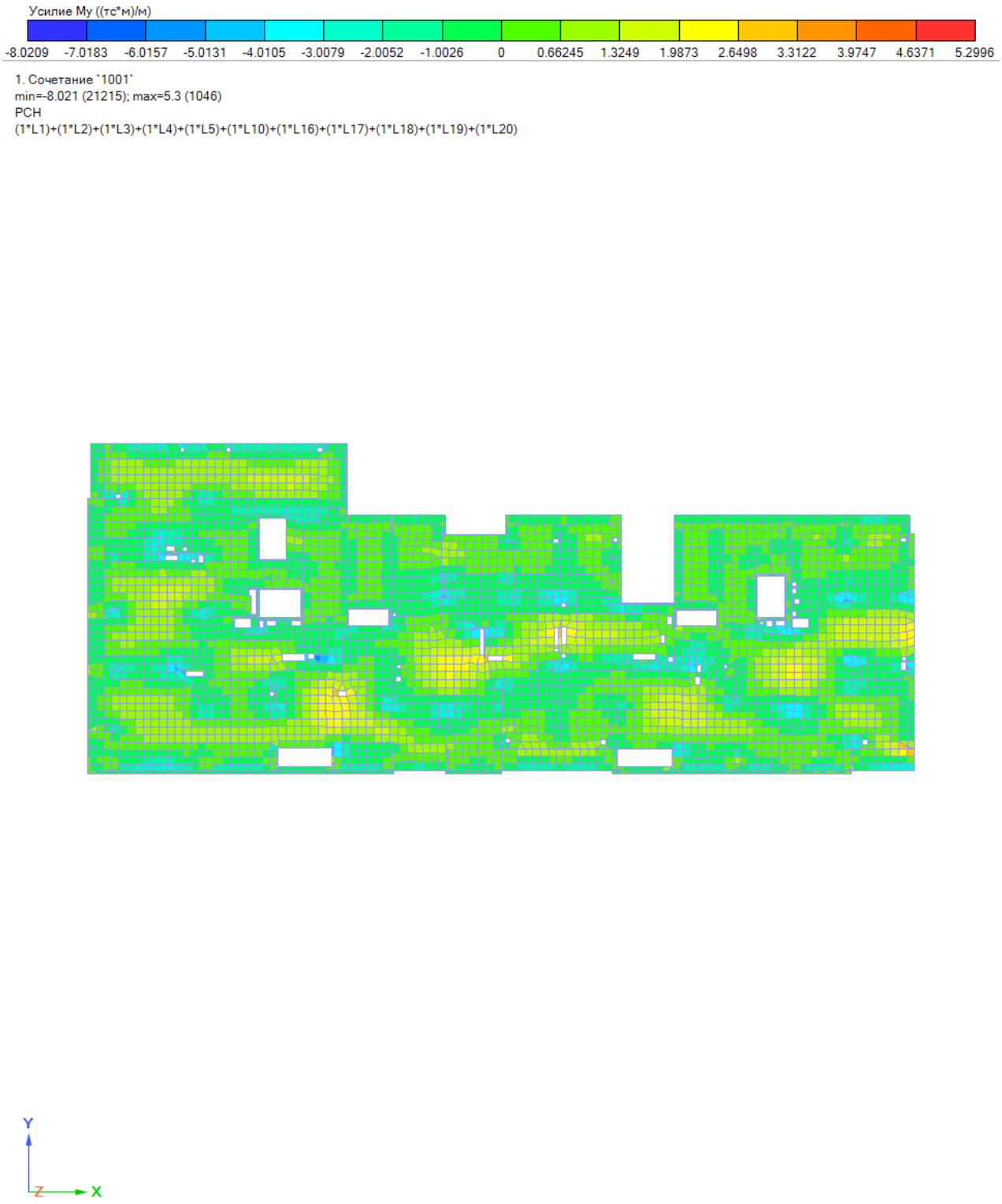
Изополя перемещения по Z, мм



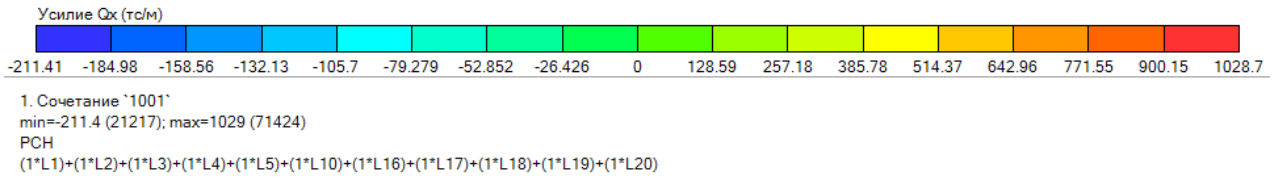


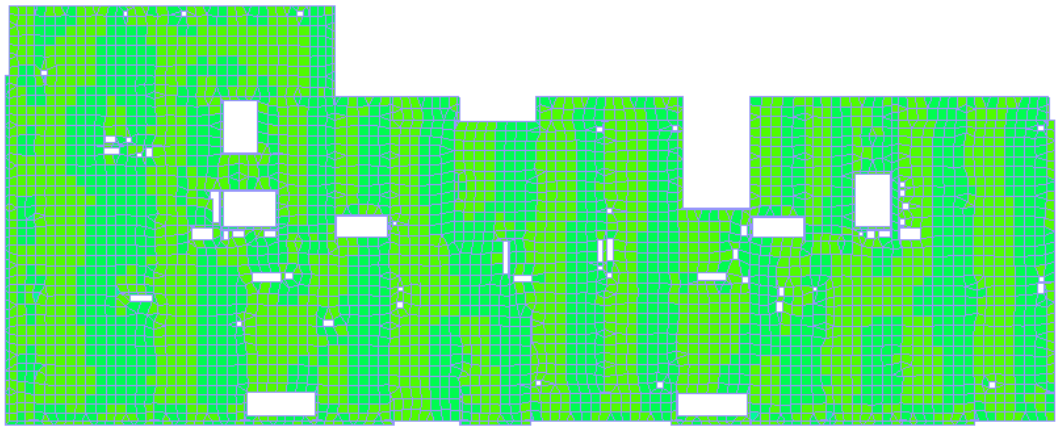


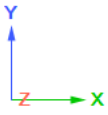
Изополя усилия Mx, тс*м/м



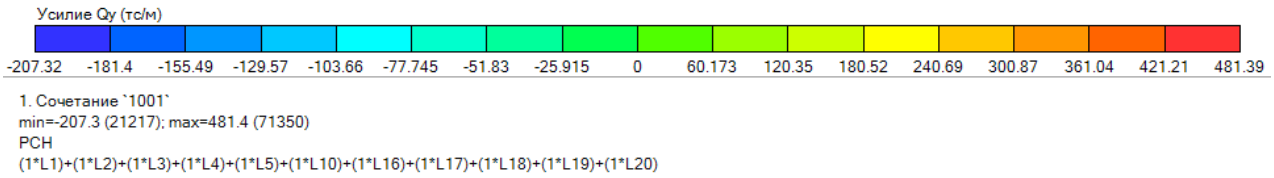
Изополя усилия My, тс*м/м

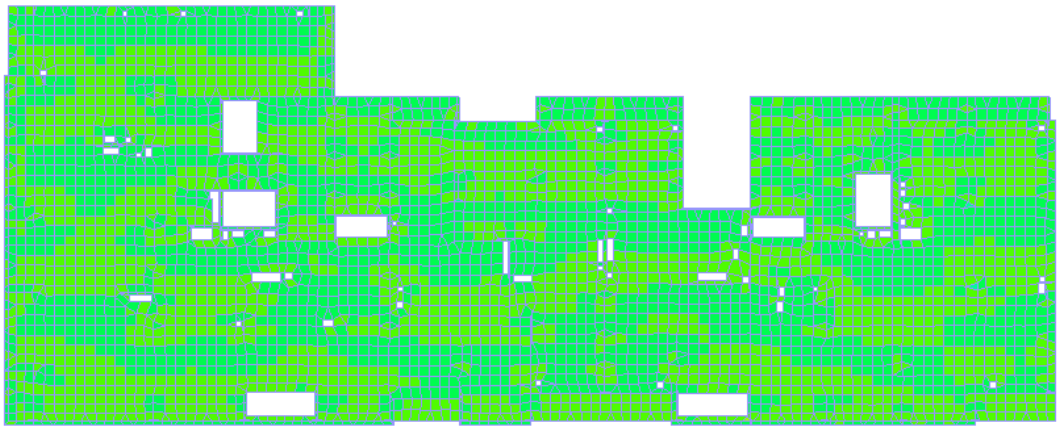


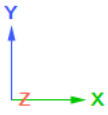




Изополя усилия Qx, тс/м







Изополя усилия Qy, тс/м

Проверка сечения плиты в/о 1.5-1.9/1.Б-1.Д на отм. -0.100 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продож. 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 $M = 22.6\text{кНм}$
- Изгибающий момент от постоянной и длительной нагрузки $M_l = 21.47\text{кНм}$
- Продольная сила от полной нагрузки $N = -6.7\text{кН}$
- Продольная сила от постоянной и длительной нагрузки $N_l = -6.37\text{кН}$

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

$$h_0 = 0.2 - 0.04 = 0.16\text{м}$$

$$h_0' = 0.2 - 0.03 = 0.17\text{м}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} + Ne_x = 1750 \cdot 0.009 + 6.7 \cdot 0.034 = 15.98\text{кНм}$$

$$M = 22.6\text{кНм} > M_{crc} = 15.98\text{кНм, трещины образуются}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$x_m = x_M+\frac{I_{red}N_l}{A_{red}M_l} = 0.041-\frac{6.910E-004\cdot 6.37}{0.206\cdot 21.47} = 0.042\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.042\cdot 1 = 0.0423\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b+\alpha_{s,1}A'_s+\alpha_{s,2}A_s = 0.0423+13.636\cdot 0.39\cdot 10^{-3}+13.636\cdot 0.57\cdot 10^{-3} = 0.0554\text{м}^2$$

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

$$= 0.0423\left(0.2-\frac{0.042}{2}\right)+(0.39\cdot 10^{-3})\cdot 0.17\cdot 13.636+(0.57\cdot 10^{-3})\cdot 0.16$$

$$\cdot 13.636 = 0.0088\text{м}^3$$

$$y_c = h-\frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.2-\frac{0.0088}{0.0554} = 0.041\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0-y_c)^2 = (0.57\cdot 10^{-3})\cdot(0.16-0.041)^2 = 7.957E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c-a')^2 = (0.39\cdot 10^{-3})\cdot(0.041-0.03)^2 = 5.045E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12}+y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1\cdot\frac{0.041^3}{12}+0.041\cdot 1\left(\frac{0.041}{2}\right) = 2.353E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b+I_s\alpha_{s,2}+I'_s\alpha_{s,1} = 2.353E-005+7.957E-006\cdot 13.636+5.045E-008\cdot 13.636$$

$$= 1.327E-004\text{м}^4$$

$$x_t = h-x_m = 0.2-0.042 = 0.158\text{м}$$

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

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M_l(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{21.47(0.16 - 0.041)}{1.327E-004} + \frac{-6.37}{0.0554}\right)13.636 = 260211\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{15.98(0.16 - 0.041)}{1.327E-004} + \frac{-6.37}{0.0554}\right)13.636 = 193227\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\ \frac{193227.24}{260211.49} = 0.406$$

$$a_{crc1} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.406\ \frac{260211}{200000000}\ 0.4 = 0.000148\text{м} = 0.148\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$a_{crc3} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.406\ \frac{260211}{200000000}\ 0.4 = 0.000106\text{м} = 0.106\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК

$$x_m = x_M + \frac{I_{red}N}{A_{red}M} = 0.041\ - \frac{6.910E-004 \cdot 6.7}{0.206 \cdot 22.6} = 0.042\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.042 \cdot 1 = 0.0423\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0423 + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 0.57 \cdot 10^{-3} = 0.0554\text{м}^2$$

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

$$= 0.0423\left(0.2 - \frac{0.042}{2}\right) + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.17 \cdot 13.636 + (0.57 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.16 \cdot 13.636$$

$$= 0.0088\text{м}^3$$

$$y_c = h\ - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.2\ - \frac{0.0088}{0.0554} = 0.041\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c) = (0.57 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.16\ -\ 0.041) = 7.957E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a') = (0.39 \cdot 10^{-3})(0.041\ -\ 0.03) = 5.045E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.041^3}{12} + 0.041 \cdot 1\left(\frac{0.041}{2}\right) = 2.353E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 2.353E-005 + 7.957E-006 \cdot 13.636 + 5.045E-008 \cdot 13.636 = 1.327E-004\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.2 - 0.042 = 0.158\text{м}$$

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{22.6(0.16 - 0.041)}{1.327E-004} + \frac{-6.7}{0.0554}\right)13.636 = 273907\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{15.98(0.16 - 0.041)}{1.327E-004} + \frac{-6.7}{0.0554}\right)13.636 = 193145\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\,\frac{193144.75}{273906.83} = 0.436$$

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

$$a_{crc2} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.436\,\frac{273907}{200000000}\,0.4 = 0.000106\text{м} = 0.106\text{мм}$$

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

$$a_{crc1} = 0.148\text{мм} \le a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм}$$

Ширина продолжительного раскрытия трещин не превышает предельной

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.000148 + 0.000119 - 0.000106 = 0.000162\text{м} = 0.162\ \text{мм}$$

$$a_{crc} = 0.162\text{мм} \le a_{crc,ult} = 0.4\text{мм}$$

Ширина непродолжительного раскрытия трещин не превышает предельной.

ПРОВЕРКА ПО ПЕРВОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

$$R_s = 435000\text{кПа}$$

$$R_{sc} = 435000\text{кПа}$$

$$R_b = 17000\text{кПа}$$

$$\varepsilon_{b2} = 0.0042$$

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

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

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

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

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

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

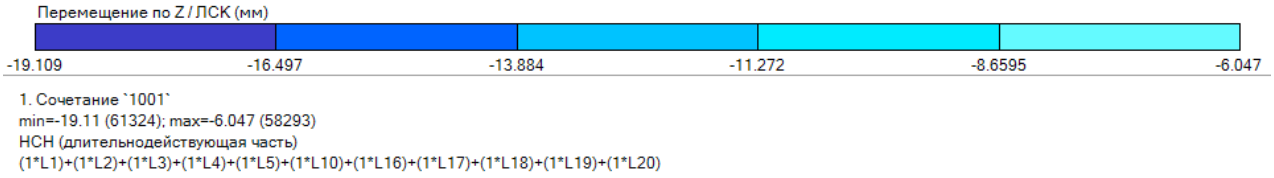
$$M = 29\text{кНм} < M_{ult} = 34\text{кНм}$$

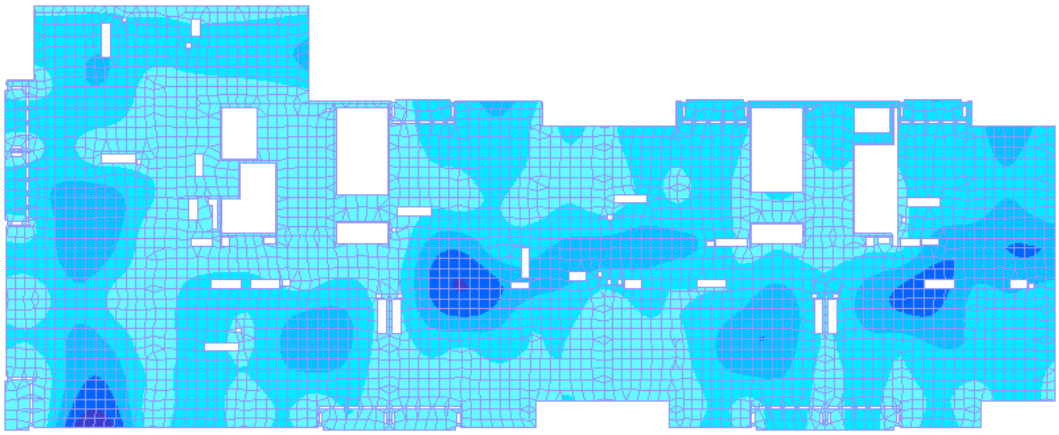
Условие прочности выполняется

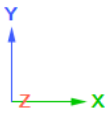
Коэффициент использования 0.8633



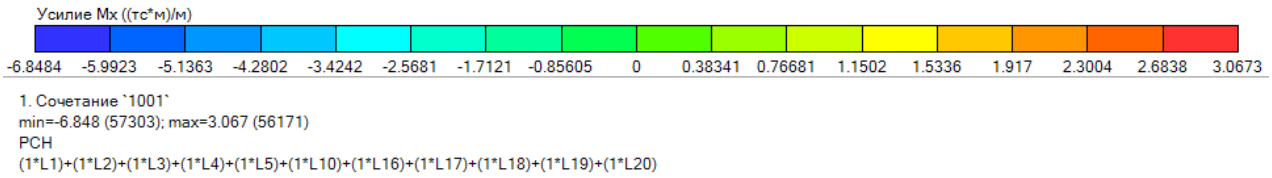
2.2. РАСЧЕТ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ НА ОТМ. +4.250, +7.250, +10.250, +13.250, +16.250, +19.250, +22.250, +25.250, +26.900, +28.250, +31.250 (ТИПОВОЙ ЭТАЖ)

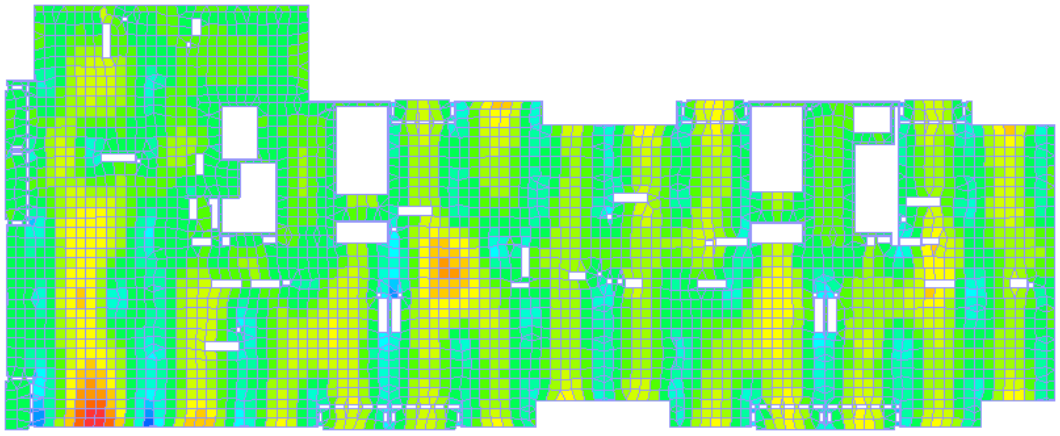


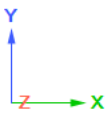




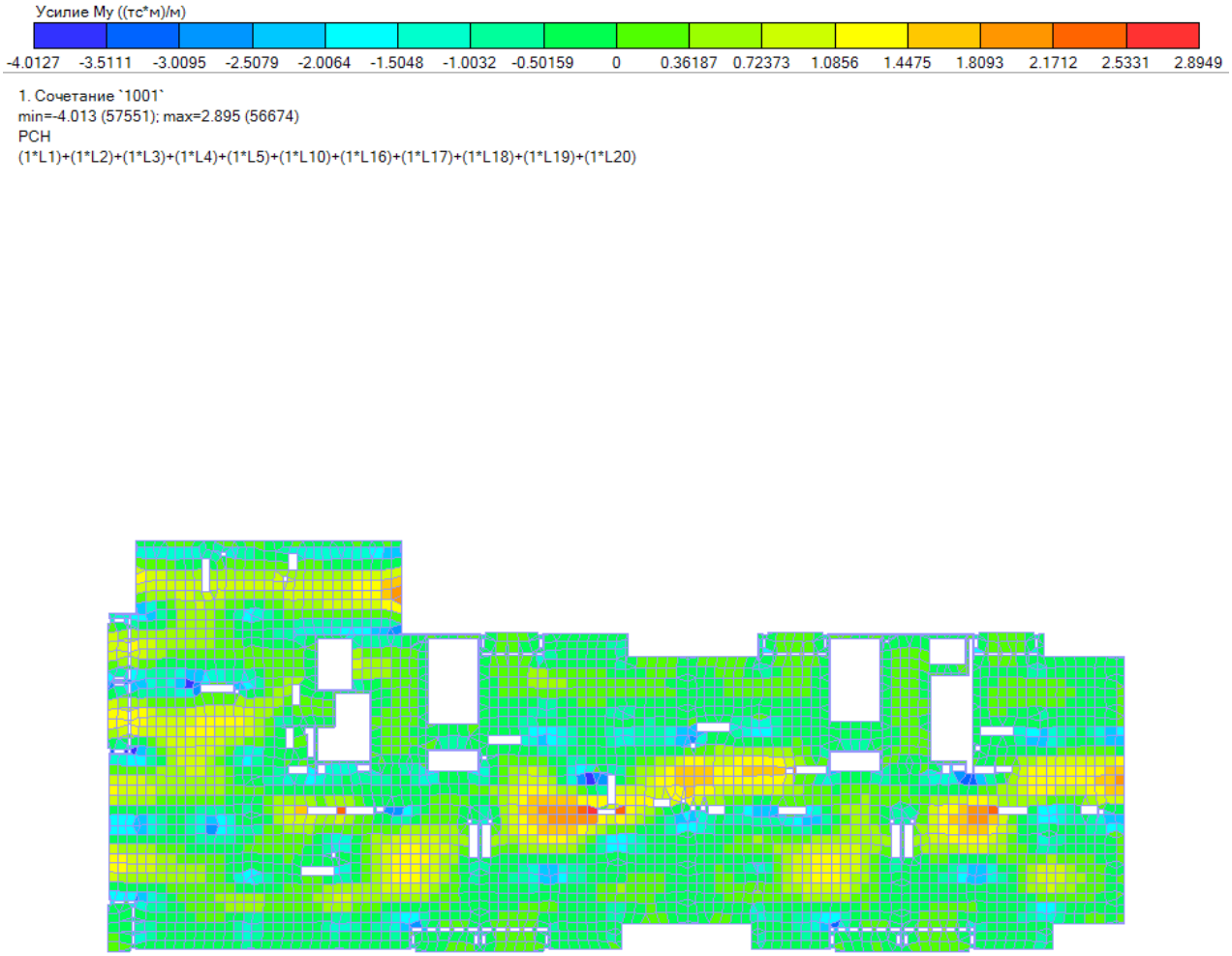
Изополя перемещения по Z, мм



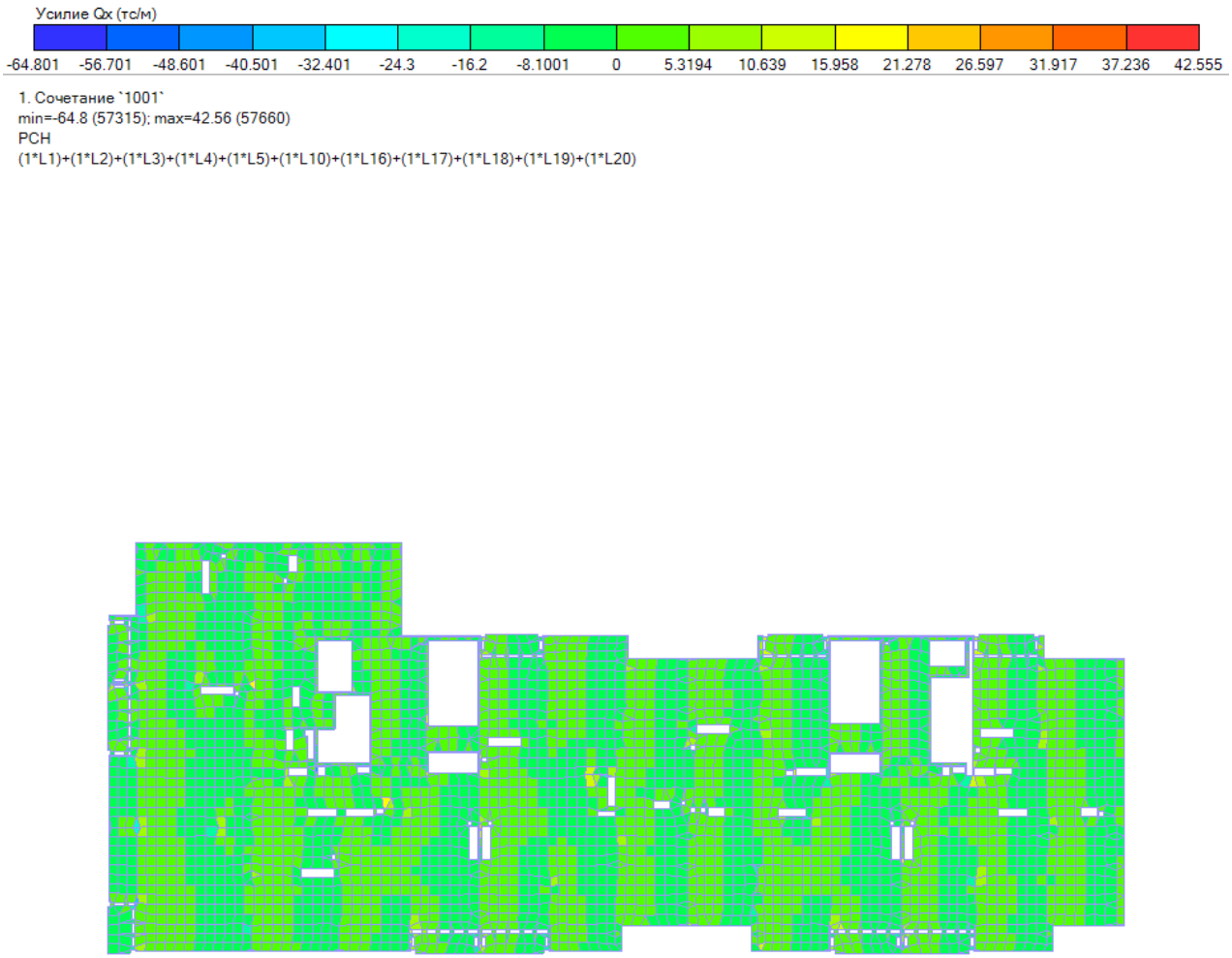




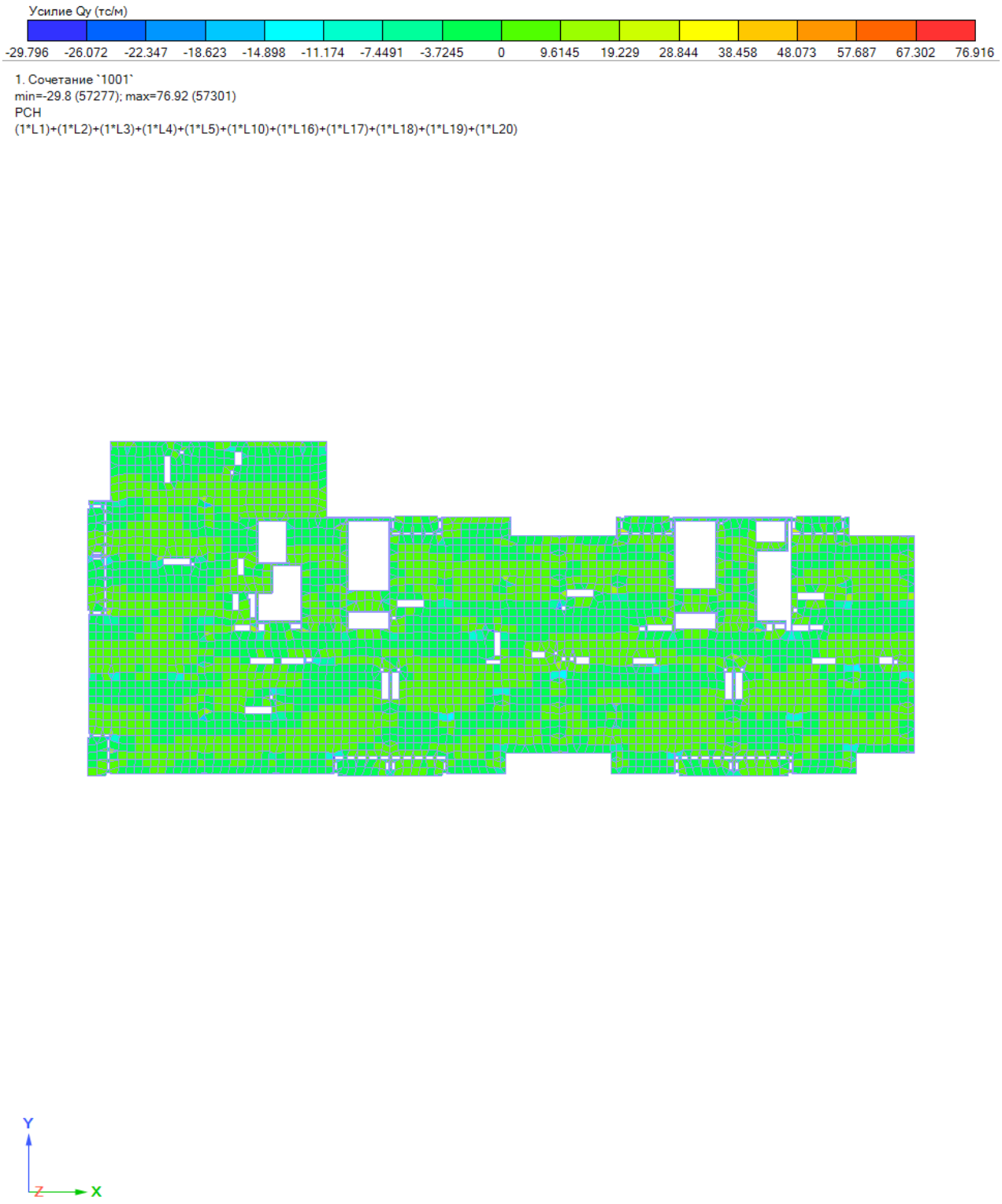
Изополя усилия Mx, тс*м/м



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qx, тс/м



Изополя усилия Qy, тс/м

Проверка сечения плиты в/о 1.2-1.3/1.А на отм. +4.250...+31.250 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продож. 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 $M = 24.7\text{кНм}$
- Изгибающий момент от постоянной и длительной нагрузки $M_l = 23.47\text{кНм}$
- Продольная сила от полной нагрузки $N = -2.7\text{кН}$
- Продольная сила от постоянной и длительной нагрузки $N_l = -2.57\text{кН}$

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 $A_s = 7.7\text{см}^2 = 0.77 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- Площадь сжатой арматуры $A'_s = 3.9\text{см}^2 = 0.39 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- Диаметр арматуры $d_s = 14\text{мм} = 0.014\text{м}$
- 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

$$h_0 = 0.18 - 0.04 = 0.14\text{м}$$

$$h_0' = 0.18 - 0.03 = 0.15\text{м}$$

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

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

$$A_{red} = A + \alpha(A_s + A_s') = 0.18 + 6.15(0.77 \cdot 10^{-3} + 0.39 \cdot 10^{-3}) = 0.1872\text{м}^2$$

$$S_{t,red} = \frac{Ah}{2} + \alpha(A_{sa} + A_s' h_0') = \frac{0.18 \cdot 0.18}{2} + 6.15(0.77 \cdot 10^{-3} \cdot 0.04 + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.15)$$
$$= 0.0168\text{м}^3$$

$$y_t = \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = \frac{0.0168}{0.1872} = 0.09\text{м}$$

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

$$I_s = \alpha A_s(y_t - a)^2 = 6.15 \cdot (0.77 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.09 - 0.04)^2 = 0.01 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

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

$$I_{red} = I + I_s + I_s' = 0.49 \cdot 10^{-3} + 0.01 \cdot 10^{-3} + 0.01 \cdot 10^{-3} = 0.51 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_t} = \frac{0.51 \cdot 10^{-3}}{0.09} = 0.0057\text{м}^3$$

$$W_{pl} = 1.3W_{red} = 1.3 \cdot 0.0057 = 0.0074\text{м}^3$$

$$e_x = \frac{W_{red}}{A_{red}} = \frac{0.0057}{0.1872} = 0.03\text{м}$$

$$M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} + Ne_x = 1750 \cdot 0.0074 + 2.7 \cdot 0.03 = 12.96\text{кНм}$$

$$M = 24.7\text{кНм} > M_{crc} = 12.96\text{кНм}, \text{трещины образуются}$$

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

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

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

$$\mu_s = \frac{A_s}{bh_0} = \frac{0.77 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0.14} = 0.0055$$

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

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

$$= 0.14\left(\sqrt{(0.0055\cdot 13.636+0.0028\cdot 13.636)^2+2(0.0055\cdot 13.636+0.0028\cdot 13.636\cdot 0.03/0.14)}\right.$$

$$\left.-(0.0055\cdot 13.636+0.0028\cdot 13.636)\right) = 0.043\text{м}$$

$$x_m = x_M+\frac{I_{red}N_l}{A_{red}M_l} = 0.043 - \frac{5.065E-004\cdot 2.57}{0.187\cdot 23.47} = 0.044\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.044\cdot 1 = 0.0437\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b+\alpha_{s,1}A'_s+\alpha_{s,2}A_s = 0.0437 + 13.636\cdot 0.39\cdot 10^{-3}+13.636\cdot 0.77\cdot 10^{-3} = 0.0596\text{м}^2$$

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

$$= 0.0437\left(0.18-\frac{0.044}{2}\right)+(0.39\cdot 10^{-3})\cdot 0.15\cdot 13.636+(0.77\cdot 10^{-3})\cdot 0.14$$

$$\cdot 13.636 = 0.0081\text{м}^3$$

$$y_c = h-\frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.18-\frac{0.0081}{0.0596} = 0.043\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0-y_c)^2 = (0.77\cdot 10^{-3})\cdot(0.14-0.043)^2 = 7.183E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c-a')^2 = (0.39\cdot 10^{-3})\cdot(0.043-0.03)^2 = 7.070E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12}+y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1\cdot\frac{0.043^3}{12}+0.043\cdot 1\left(\frac{0.043}{2}\right) = 2.727E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b+I_s\alpha_{s,2}+I'_s\alpha_{s,1} = 2.727E-005 + 7.183E-006\cdot 13.636 + 7.070E-008\cdot 13.636$$

$$= 1.262E-004\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.18 - 0.044 = 0.136\text{м}$$

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

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

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.09}{0.77\cdot 10^{-3}}\,0.014 = 0.818\text{м}$$

l_s принимается в пределах не менее $10d_s = 10\cdot 0.014 = 0.14$м и 0.1м и не более $40d_s = 40\cdot 0.014 = 0.56$м и 0.4м

Принимаем $l_s = 0.4$м

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M_l(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{23.47(0.14 - 0.043)}{1.262E - 004} + \frac{-2.57}{0.0596}\right)13.636 = 244322\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{12.96(0.14 - 0.043)}{1.262E - 004} + \frac{-2.57}{0.0596}\right)13.636 = 134629\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\ \frac{134629.11}{244322.37} = 0.559$$

$$a_{crc1} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.559\ \frac{244322}{200000000}\ 0.4 = 0.000191\text{м} = 0.191\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$a_{crc3} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.559\ \frac{244322}{200000000}\ 0.4 = 0.000137\text{м} = 0.137\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК

$$x_m = x_M + \frac{I_{red}N}{A_{red}M} = 0.043\ - \frac{5.065E - 004 \cdot 2.7}{0.187 \cdot 24.7} = 0.044\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.044 \cdot 1 = 0.0437\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0437 + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 0.77 \cdot 10^{-3} = 0.0596\text{м}^2$$

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

$$= 0.0437\left(0.18 - \frac{0.044}{2}\right) + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.15 \cdot 13.636 + (0.77 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.14$$

$$\cdot 13.636 = 0.0081\text{м}^3$$

$$y_c = h\ - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.18\ - \frac{0.0081}{0.0596} = 0.043\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c) = (0.77 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.14\ - 0.043) = 7.183E - 006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a') = (0.39 \cdot 10^{-3})(0.043\ - 0.03) = 7.070E - 008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.043^3}{12} + 0.043 \cdot 1\left(\frac{0.043}{2}\right) = 2.727E - 005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 2.727E-005 + 7.183E-006 \cdot 13.636 + 7.070E-008 \cdot 13.636 = 1.262E-004\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.18 - 0.044 = 0.136\text{м}$$

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

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

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.09}{0.77 \cdot 10^{-3}}\,0.014 = 0.818\text{м}$$

l_s принимается в пределах не менее $10d_s = 10 \cdot 0.014 = 0.14$м и 0.1м и не более $40d_s = 40 \cdot 0.014 = 0.56$м и 0.4м

Принимаем $l_s = 0.4$м

$$\sigma_s = \left(\frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{24.7(0.14 - 0.043)}{1.262E-004} + \frac{-2.7}{0.0596}\right)13.636 = 257181\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{12.96(0.14 - 0.043)}{1.262E-004} + \frac{-2.7}{0.0596}\right)13.636 = 134598\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\,\frac{134598.21}{257181.44} = 0.581$$

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

$$a_{crc2} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.581\,\frac{257181}{200000000}\,0.4 = 0.000137\text{м} = 0.137\text{мм}$$

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

$$a_{crc1} = 0.191\text{мм} \le a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм}$$

Ширина продолжительного раскрытия трещин не превышает предельной

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.000191 + 0.00015 - 0.000137 = 0.000204\text{м} = 0.204\ \text{мм}$$

$$a_{crc} = 0.204\text{мм} \le a_{crc,ult} = 0.4\text{мм}$$

Ширина непродолжительного раскрытия трещин не превышает предельной.

ПРОВЕРКА ПО ПЕРВОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

$$R_s = 435000\text{кПа}$$

$$R_{sc} = 435000\text{кПа}$$

$$R_b = 17000\text{кПа}$$

$$\varepsilon_{b2} = 0.0042$$

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

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

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b} = \frac{435000 \cdot 0.00077 - 435000 \cdot 0.000393}{17000 \cdot 1} = 0.01\text{м}$$

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{0.01}{0.14} = 0.069$$

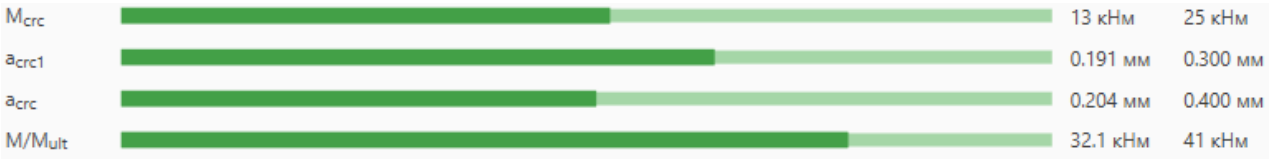
$$\xi = 0.069 < \xi_R = 0.493$$

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0.5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$
$$= 17000 \cdot 1 \cdot 0.01(0.14 - 0.5 \cdot 0.01) + 435000 \cdot 0.000393(0.14 - 0.03) = 41\text{кНм}$$

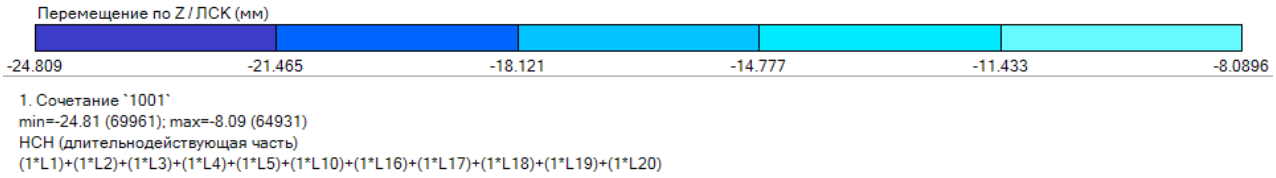
$$M = 32\text{кНм} < M_{ult} = 41\text{кНм}$$

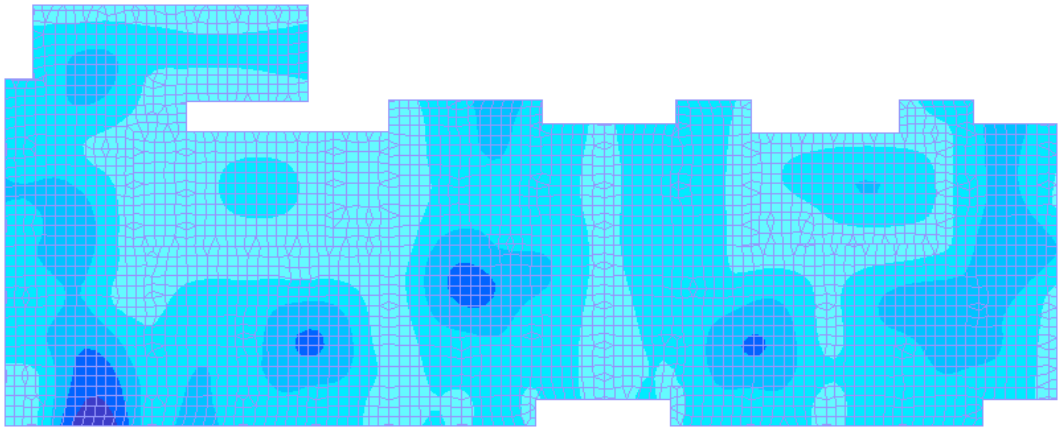
Условие прочности выполняется

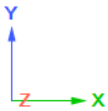
Коэффициент использования 0.7837



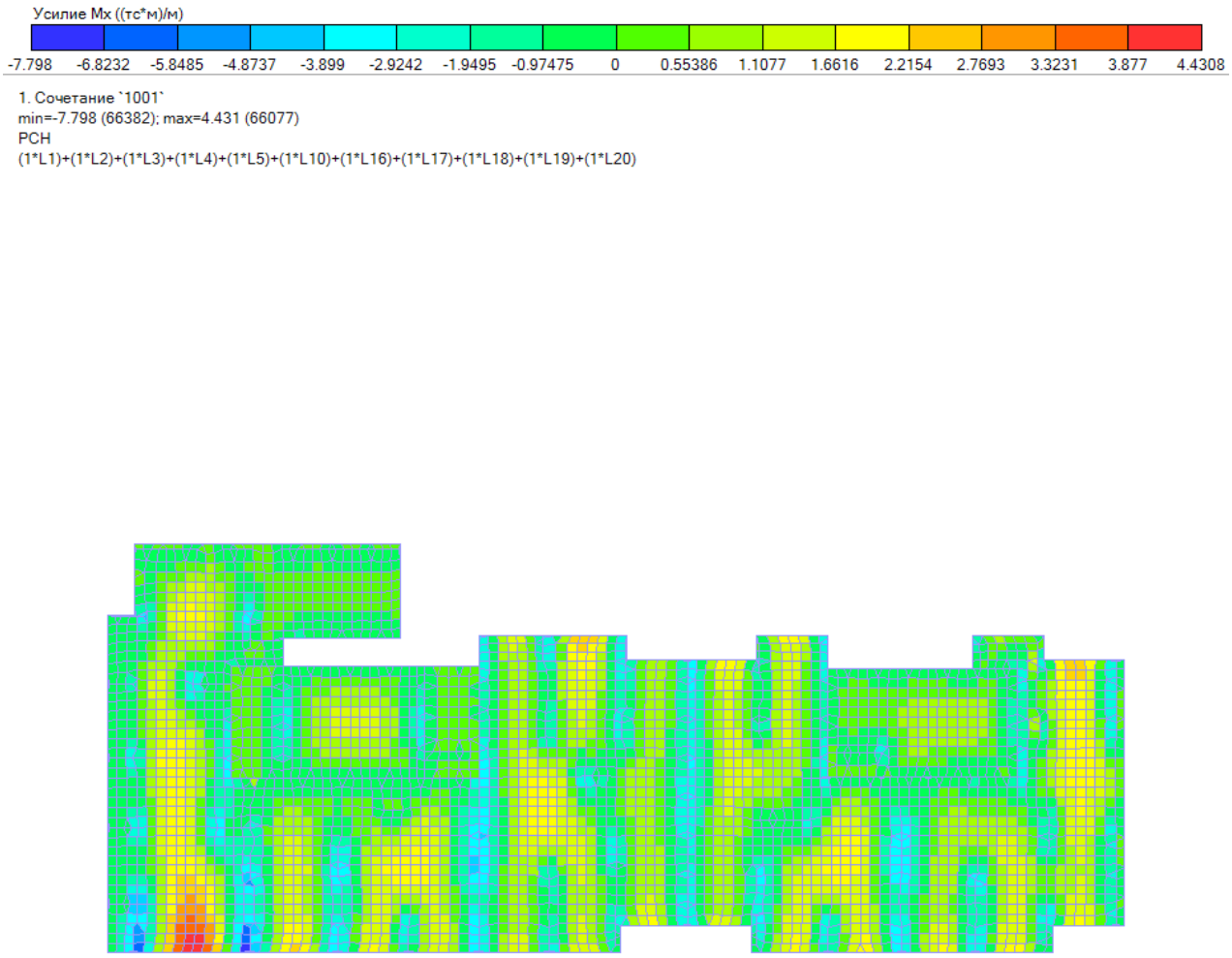
2.3. РАСЧЕТ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ НА ОТМ. +33.250



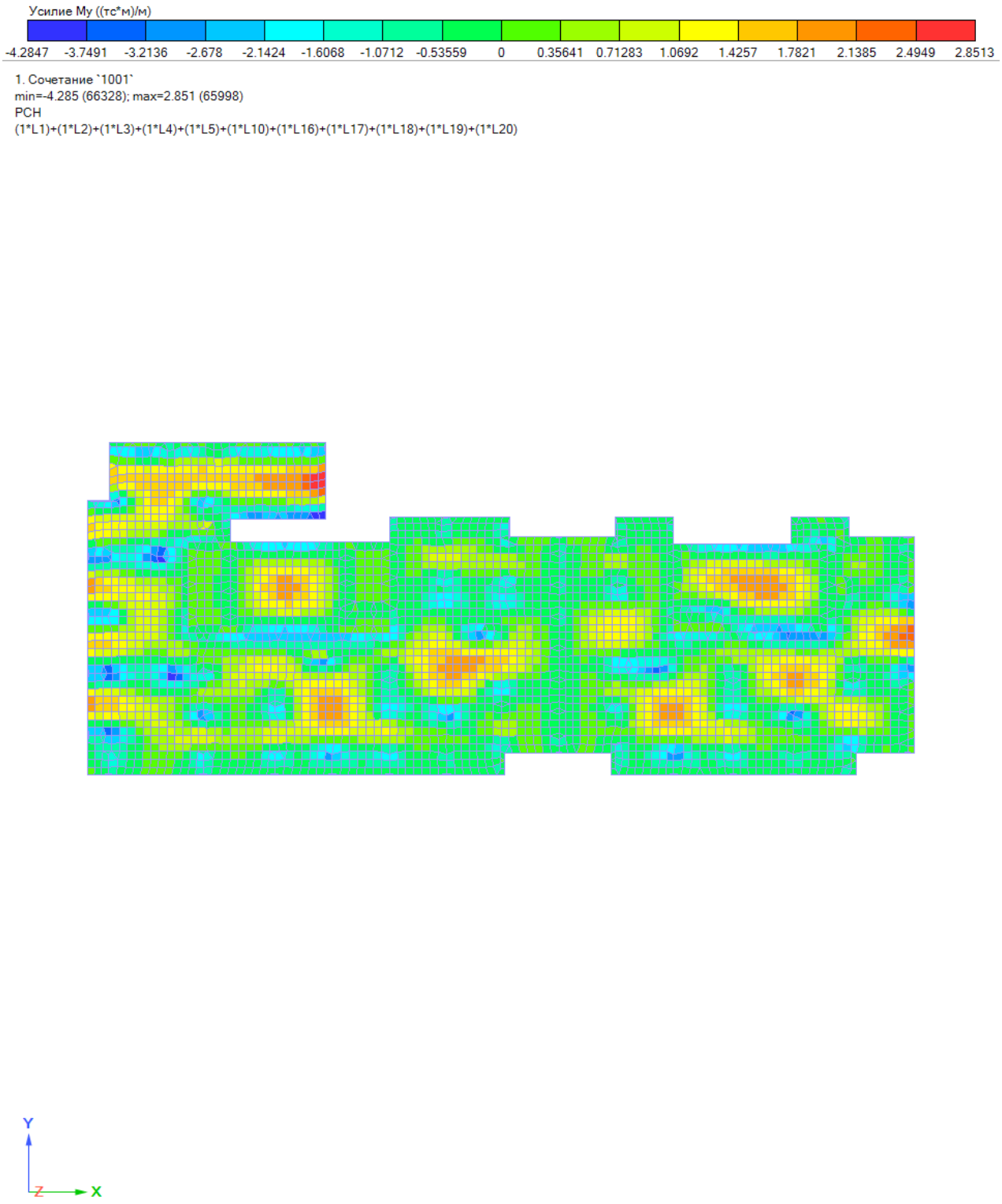




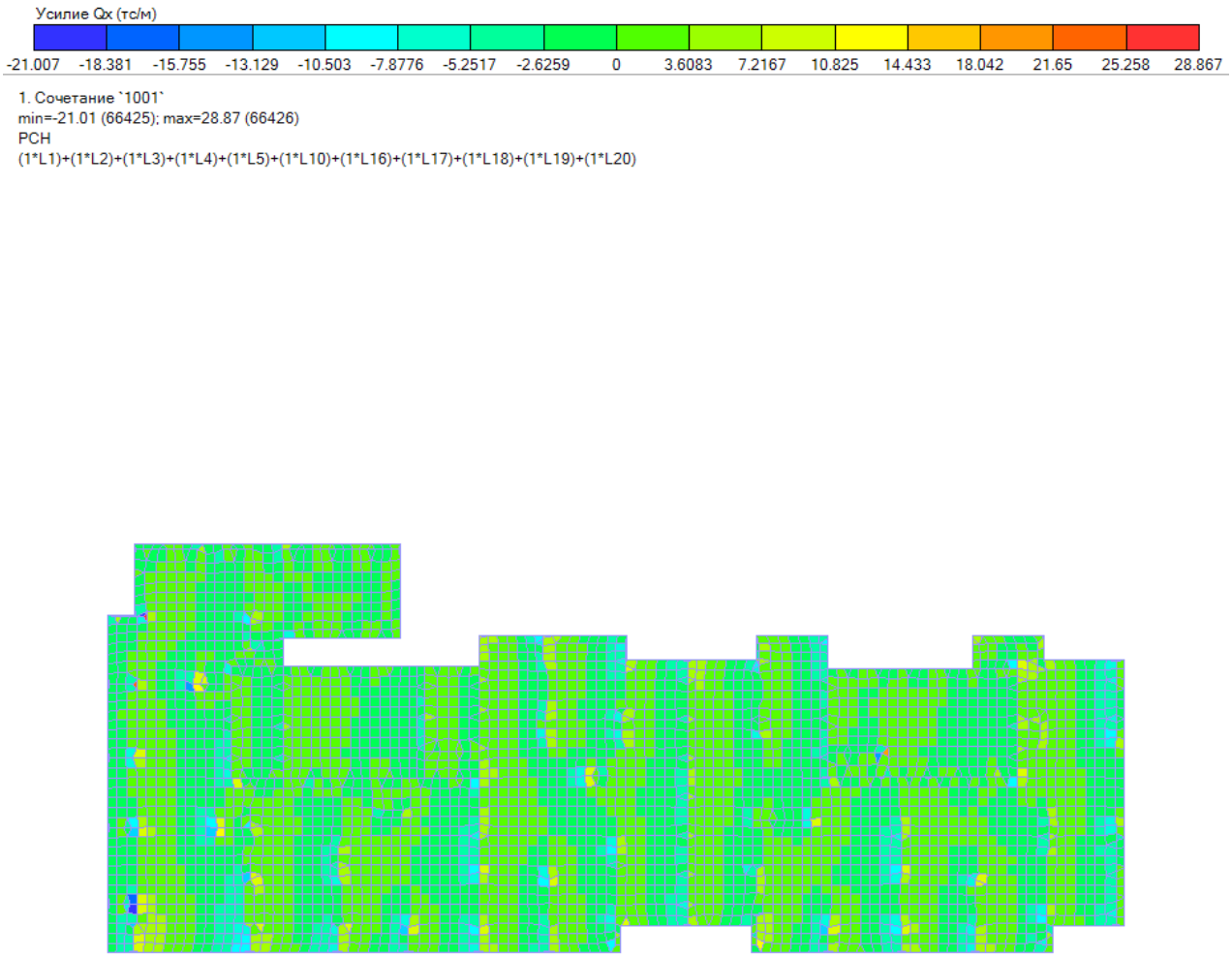
Изополя перемещения по Z, мм



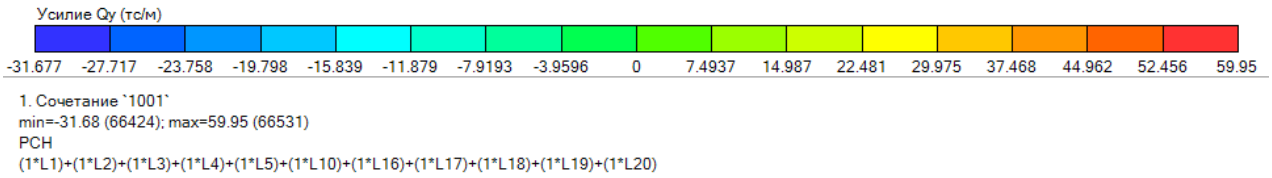
Изополя усилия Mx, тс*м/м

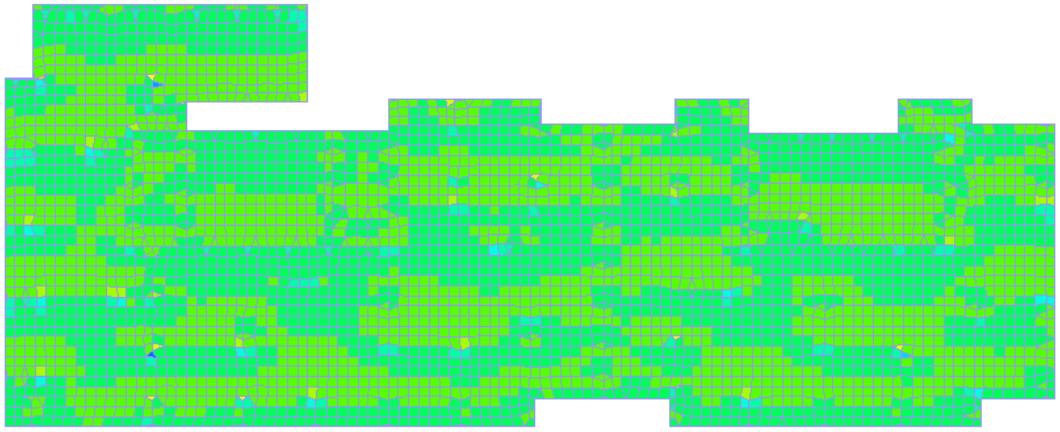


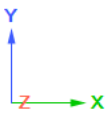
Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qx, тс/м







Изополя усилия Qy, тс/м

Проверка сечения плиты в/о 1.2-1.3/1.А на отм. +33.250 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продож. 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 $M = 35.5\text{кНм}$
- Изгибающий момент от постоянной и длительной нагрузки $M_l = 33.73\text{кНм}$
- Продольная сила от полной нагрузки $N = -18.1\text{кН}$
- Продольная сила от постоянной и длительной нагрузки $N_l = -17.2\text{кН}$

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 $A_s = 7.7\text{см}^2 = 0.77 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- Площадь сжатой арматуры $A'_s = 3.9\text{см}^2 = 0.39 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- Диаметр арматуры $d_s = 14\text{мм} = 0.014\text{м}$
- 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

$$h_0 = 0.2 - 0.04 = 0.16\text{м}$$

$$h_0' = 0.2 - 0.03 = 0.17\text{м}$$

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

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

$$A_{red} = A + \alpha(A_s + A_s') = 0.2 + 6.15(0.77 \cdot 10^{-3} + 0.39 \cdot 10^{-3}) = 0.2072\text{м}^2$$

$$S_{t,red} = \frac{Ah}{2} + \alpha(A_{sa} + A_s'h_0') = \frac{0.2 \cdot 0.2}{2} + 6.15(0.77 \cdot 10^{-3} \cdot 0.04 + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.17) = 0.0206\text{м}^3$$

$$y_t = \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = \frac{0.0206}{0.2072} = 0.099\text{м}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} + A\left(\frac{h}{2} - y_t\right)^2 = 1 \cdot \frac{0.2^3}{12} + 0.2\left(\frac{0.2}{2} - 0.099\right)^2 = 0.67 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_s = \alpha A_s(y_t - a)^2 = 6.15 \cdot (0.77 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.099 - 0.04)^2 = 0.02 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_s' = \alpha A_s'(h_0' - y_t)^2 = 6.15 \cdot (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.17 - 0.099)^2 = 0.01 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_{red} = I + I_s + I_s' = 0.67 \cdot 10^{-3} + 0.02 \cdot 10^{-3} + 0.01 \cdot 10^{-3} = 0.7 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_t} = \frac{0.7 \cdot 10^{-3}}{0.099} = 0.007\text{м}^3$$

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

$$e_x = \frac{W_{red}}{A_{red}} = \frac{0.007}{0.2072} = 0.034\text{м}$$

$$M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} + Ne_x = 1750 \cdot 0.0091 + 18.1 \cdot 0.034 = 16.52\text{кНм}$$

$$M = 35.5\text{кНм} > M_{crc} = 16.52\text{кНм, трещины образуются}$$

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

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

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

$$\mu_s = \frac{A_s}{bh_0} = \frac{0.77 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0.16} = 0.0048$$

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

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

$$= 0.16\left(\sqrt{(0.0048\cdot 13.636+0.0025\cdot 13.636)^2+2(0.0048\cdot 13.636+0.0025\cdot 13.636\cdot 0.03/0.16)}\right.$$

$$\left.-(0.0048\cdot 13.636+0.0025\cdot 13.636)\right) = 0.047\text{м}$$

$$x_m = x_M+\frac{I_{red}N_l}{A_{red}M_l} = 0.047-\frac{6.955E-004\cdot 17.2}{0.207\cdot 33.73} = 0.049\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.049\cdot 1 = 0.0486\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b+\alpha_{s,1}A'_s+\alpha_{s,2}A_s = 0.0486+13.636\cdot 0.39\cdot 10^{-3}+13.636\cdot 0.77\cdot 10^{-3} = 0.0644\text{м}^2$$

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

$$= 0.0486\left(0.2-\frac{0.049}{2}\right)+(0.39\cdot 10^{-3})\cdot 0.17\cdot 13.636+(0.77\cdot 10^{-3})\cdot 0.16$$

$$\cdot 13.636 = 0.0099\text{м}^3$$

$$y_c = h-\frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.2-\frac{0.0099}{0.0644} = 0.047\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0-y_c)^2 = (0.77\cdot 10^{-3})\cdot(0.16-0.047)^2 = 9.853E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c-a')^2 = (0.39\cdot 10^{-3})\cdot(0.047-0.03)^2 = 1.119E-007\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12}+y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1\cdot\frac{0.047^3}{12}+0.047\cdot 1\left(\frac{0.047}{2}\right) = 3.434E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b+I_s\alpha_{s,2}+I'_s\alpha_{s,1} = 3.434E-005+9.853E-006\cdot 13.636+1.119E-007\cdot 13.636$$

$$= 1.702E-004\text{м}^4$$

$$x_t = h-x_m = 0.2-0.049 = 0.151\text{м}$$

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

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

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

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.1}{0.77\cdot 10^{-3}}\,0.014 = 0.909\text{м}$$

l_s принимается в пределах не менее $10d_s = 10\cdot 0.014 = 0.14$м и 0.1м и не более $40d_s = 40\cdot 0.014 = 0.56$м и 0.4м

Принимаем $l_s = 0.4$м

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M_l(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{33.73(0.16 - 0.047)}{1.702E-004} + \frac{-17.2}{0.0644}\right)13.636 = 301968\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{16.52(0.16 - 0.047)}{1.702E-004} + \frac{-17.2}{0.0644}\right)13.636 = 146081\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\ \frac{146081.4}{301967.59} = 0.613$$

$$a_{crc1} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.613\ \frac{301968}{200000000}\ 0.4 = 0.000259\text{м} = 0.259\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$a_{crc3} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.613\ \frac{301968}{200000000}\ 0.4 = 0.000185\text{м} = 0.185\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК

$$x_m = x_M + \frac{I_{red}N}{A_{red}M} = 0.047\ - \frac{6.955E-004 \cdot 18.1}{0.207 \cdot 35.5} = 0.049\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.049 \cdot 1 = 0.0486\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0486 + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 0.77 \cdot 10^{-3} = 0.0644\text{м}^2$$

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

$$= 0.0486\left(0.2 - \frac{0.049}{2}\right) + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.17 \cdot 13.636 + (0.77 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.16 \cdot 13.636$$

$$= 0.0099\text{м}^3$$

$$y_c = h\ - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.2\ - \frac{0.0099}{0.0644} = 0.047\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c) = (0.77 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.16\ -\ 0.047) = 9.853E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a') = (0.39 \cdot 10^{-3})(0.047\ -\ 0.03) = 1.119E-007\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.047^3}{12} + 0.047 \cdot 1\left(\frac{0.047}{2}\right) = 3.434E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 3.434E-005 + 9.853E-006 \cdot 13.636 + 1.119E-007 \cdot 13.636 = 1.702E-004\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.2 - 0.049 = 0.151\text{м}$$

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

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

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

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.1}{0.77 \cdot 10^{-3}}\,0.014 = 0.909\text{м}$$

l_s принимается в пределах не менее $10d_s = 10 \cdot 0.014 = 0.14$м и 0.1м и не более $40d_s = 40 \cdot 0.014 = 0.56$м и 0.4м

Принимаем $l_s = 0.4$м

$$\sigma_s = \left(\frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{35.5(0.16 - 0.047)}{1.702E-004} + \frac{-18.1}{0.0644}\right)13.636 = 317861\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{16.52(0.16 - 0.047)}{1.702E-004} + \frac{-18.1}{0.0644}\right)13.636 = 145890\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\,\frac{145889.85}{317860.62} = 0.633$$

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

$$a_{crc2} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 0.633\,\frac{317861}{200000000}\,0.4 = 0.000185\text{м} = 0.185\text{мм}$$

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

$$a_{crc1} = 0.259\text{мм} \le a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм}$$

Ширина продолжительного раскрытия трещин не превышает предельной

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.000259 + 0.000201 - 0.000185 = 0.000275\text{м} = 0.275\ \text{мм}$$

$$a_{crc} = 0.275\text{мм} \le a_{crc,ult} = 0.4\text{мм}$$

Ширина непродолжительного раскрытия трещин не превышает предельной.

ПРОВЕРКА ПО ПЕРВОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

$$R_s = 435000\text{кПа}$$

$$R_{sc} = 435000\text{кПа}$$

$$R_b = 17000\text{кПа}$$

$$\varepsilon_{b2} = 0.0042$$

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

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

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b} = \frac{435000 \cdot 0.00077 - 435000 \cdot 0.000393}{17000 \cdot 1} = 0.01\text{м}$$

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{0.01}{0.16} = 0.06$$

$$\xi = 0.06 < \xi_R = 0.493$$

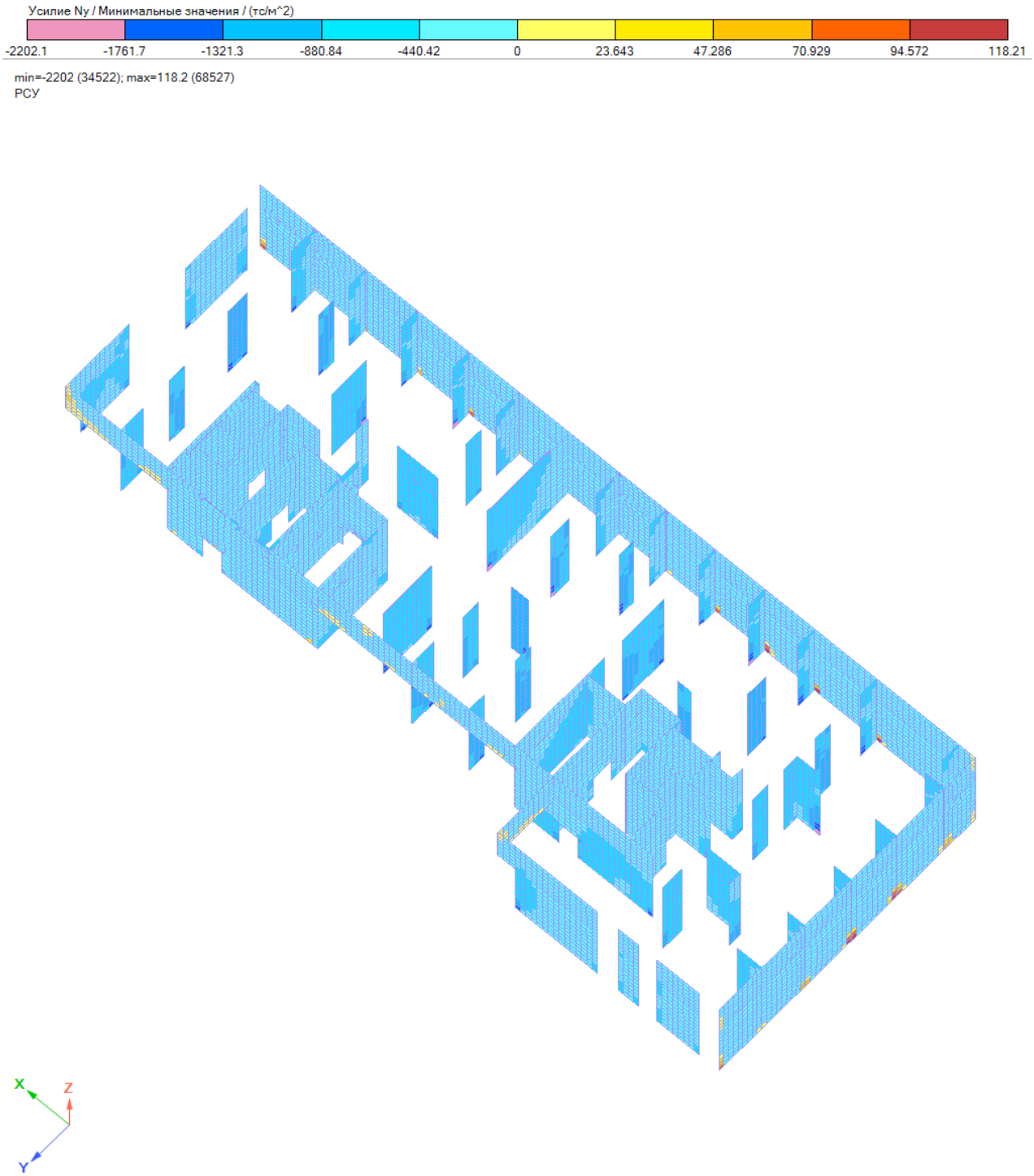
$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0.5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$
$$= 17000 \cdot 1 \cdot 0.01(0.16 - 0.5 \cdot 0.01) + 435000 \cdot 0.000393(0.16 - 0.03) = 48\text{кНм}$$

$$M = 46\text{кНм} < M_{ult} = 48\text{кНм}$$

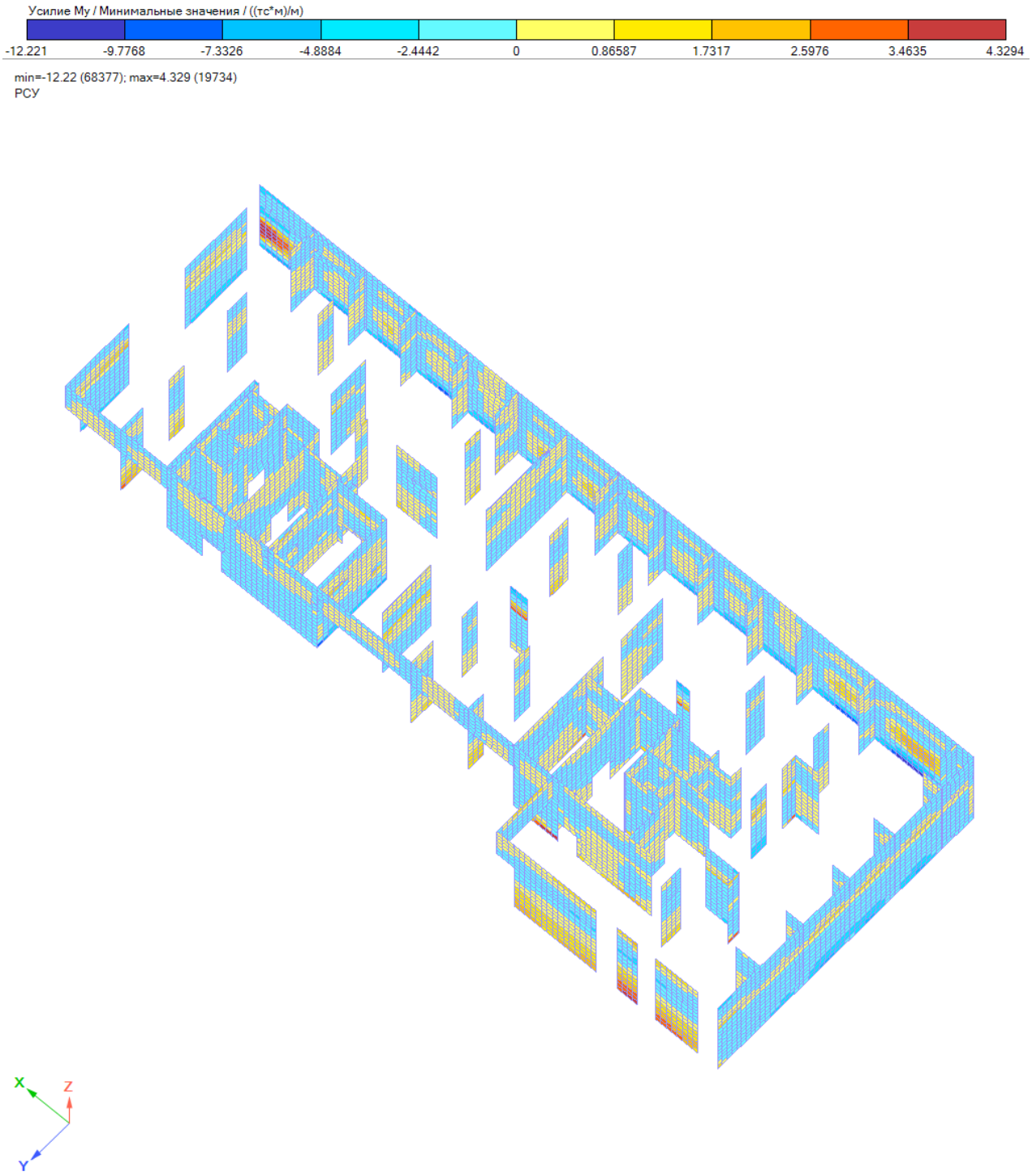
Условие прочности выполняется

Коэффициент использования 0.9681

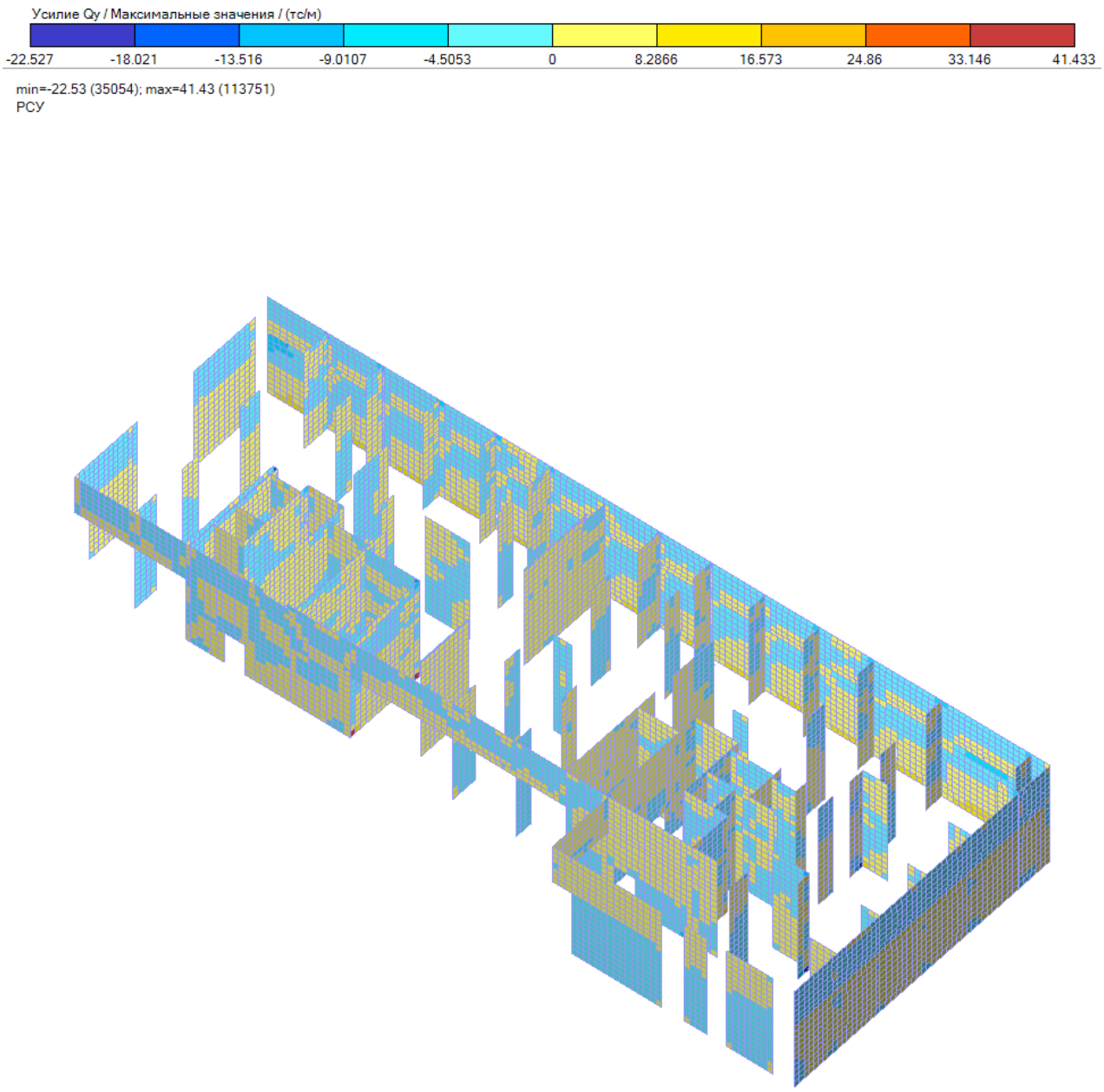




Изополя усилия Ny, тс*/м2



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qy, тс/м

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 250ММ В/О 1.11/1.Д-1.В 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 $N = -3311{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 17{,}0$ 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 - 2хØ20, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 6хØ20, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}91$ 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:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}91 = 3{,}928 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}91 = 3{,}928 \text{ м}$$

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:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}928}{0{,}217} = 18{,}1 \leq 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}928}{0{,}072} = 54{,}4 \leq 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \geq \frac{L}{600} = \frac{4{,}91}{600} = 0{,}008 \text{ м}$$

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

$$e_{a(x,y)} \geq 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-3311{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{17{,}0}{-3311{,}0}\right| = 0{,}005 \text{ м}$$

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:

$$e_{0,x} = 0{,}025 \text{ м};\ e_{0,y} = 0{,}010 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

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

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:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}008789 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000221 = 79755{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000977 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000025 = 8892{,}8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 79755{,}0}{3{,}928^2} = 51017{,}0 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 8892{,}8}{3{,}928^2} = 5688{,}5 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{3311{,}0}{51017{,}0}} = 1{,}069$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{3311{,}0}{5688{,}5}} = 2{,}393$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1{,}069 \cdot 0{,}0 = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 2{,}393 \cdot 17{,}0 = 40{,}7 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 169930{,}1\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 19986{,}4\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

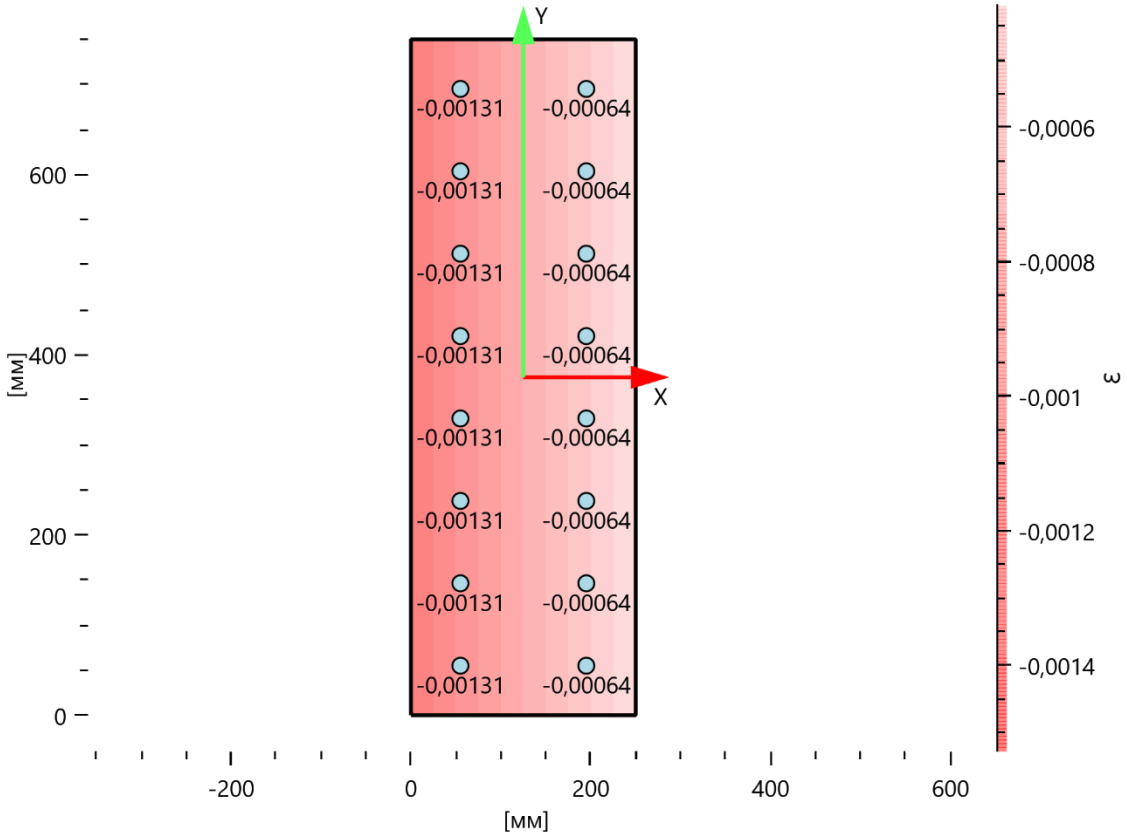
$$D_{12} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 57350{,}6\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 3687716{,}5\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

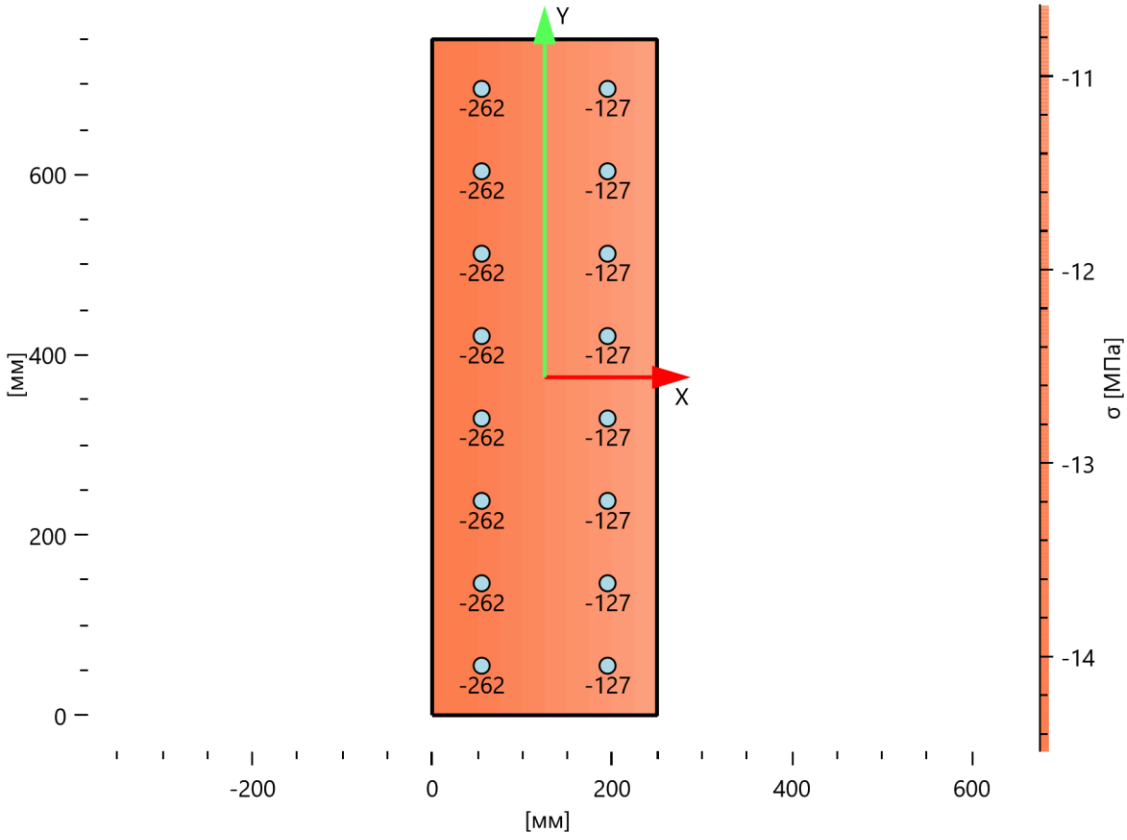
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00482684;\ \varepsilon_0 = -0{,}00097292$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}001516$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000430}{-0{,}001516} = 0{,}003075$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001516| = 0{,}001516 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003075$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	54.4	120	
Деформации сжатия в бетоне	-1.52‰	-3.07‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	85%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	39%		

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ ПОДВАЛА В/О 1.2-1.3/1.А 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 $N = -662{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 122{,}0$ 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 - 2xØ16, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 8xØ16, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}91$ 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:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}91 = 3{,}928 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}91 = 3{,}928 \text{ м}$$

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:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}928}{0{,}289} = 13{,}6 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}928}{0{,}072} = 54{,}4 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}91}{600} = 0{,}008 \text{ м}$$

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-662{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{122{,}0}{-662{,}0}\right| = 0{,}184 \text{ м}$$

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:

$$e_{0,x} = 0{,}033 \text{ м};\ e_{0,y} = 0{,}184 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

$$0{,}15 \le \delta_{e,y} = \frac{e_{0,y}}{b} = \frac{0{,}184}{0{,}25} = 0{,}737 \le 1{,}5$$

Окончательно принимается:

$$\delta_{e,x} = 0{,}150;\ \delta_{e,y} = 0{,}737$$

Коэффициенты k_b:

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

$$k_{b,y} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,y})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}737)} = 0{,}076$$

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}020833 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000327 = 162757{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}076 \cdot 32500000 \cdot 0{,}001302 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000021 = 6096{,}9 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 162757{,}0}{3{,}928^2} = 104110{,}9 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 6096{,}9}{3{,}928^2} = 3900{,}0 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{662{,}0}{104110{,}9}} = 1{,}006$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{662{,}0}{3900{,}0}} = 1{,}204$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1{,}006 \cdot 0{,}0 = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1{,}204 \cdot 122{,}0 = 146{,}9 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 229823{,}2 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 13617{,}5 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

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

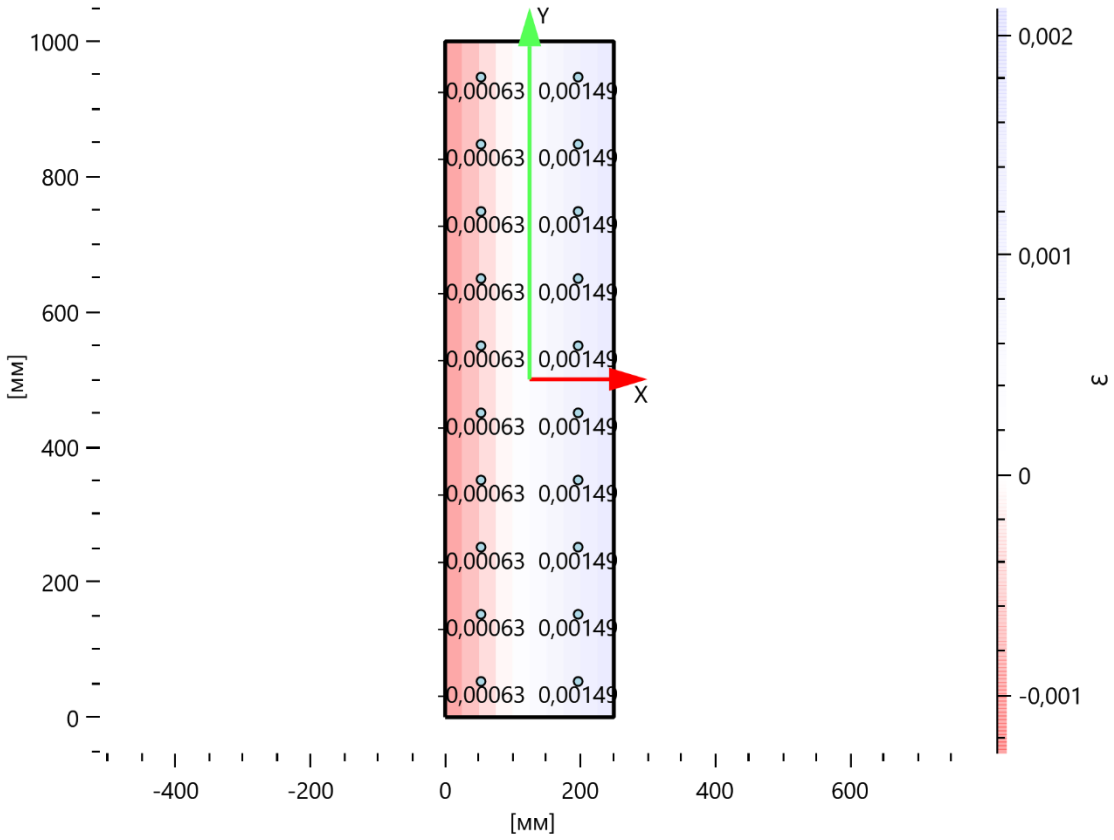
$$D_{23} = -125749{,}2 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 2776910{,}7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}01476252;\ \varepsilon_0 = 0{,}00043011$$

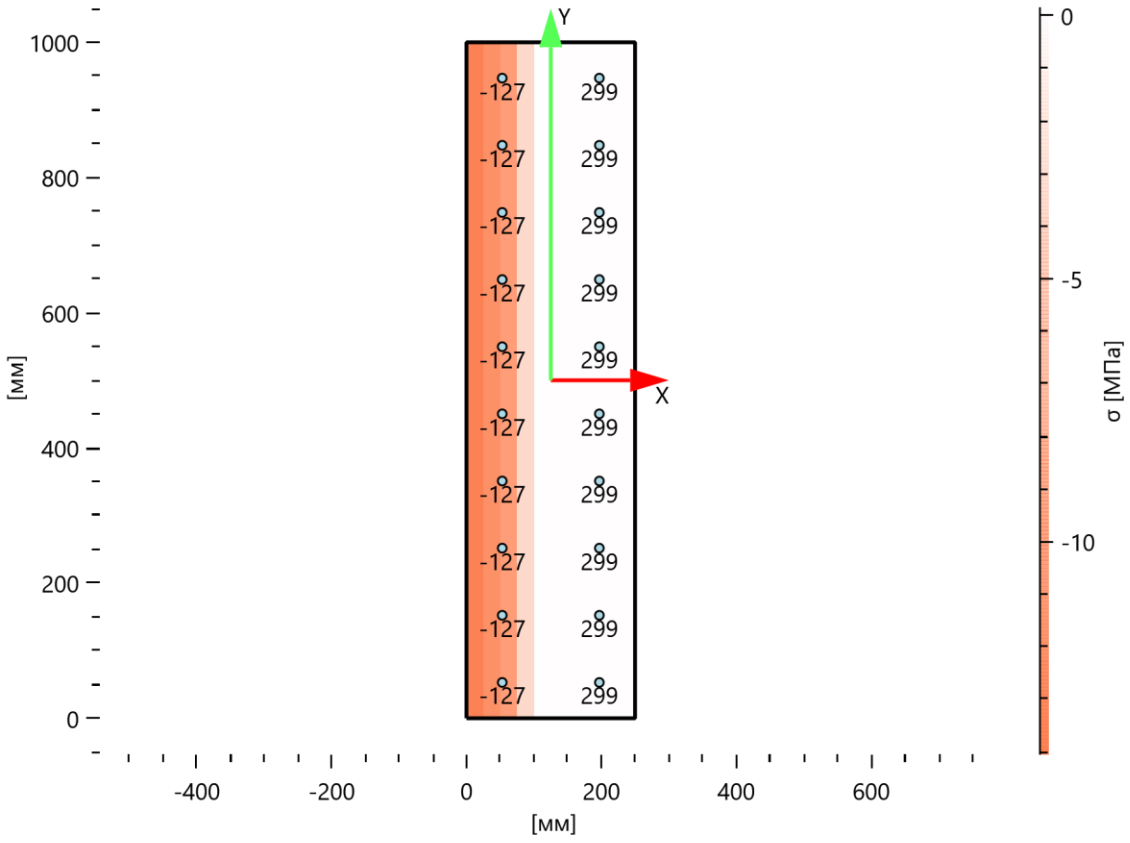
Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}001231$

Максимальная отн. деформация наиболее растянутого стержня арматуры $\varepsilon_{s,max} = 0{,}001493$

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:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001231| = 0{,}001231 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003500$$

$$\varepsilon_{s,max} = 0{,}001493 \leq \varepsilon_{s,ult} = 0{,}025$$

выполняются, то прочность сечения колонны обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость		54.4	120
Деформации сжатия в бетоне		-1.23‰	-3.50‰
Деформации растяжения в арматуре		1.49‰	25.00‰
Процент использования по N		28%	
Процент использования по Mx		0%	
Процент использования по My		78%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 220ММ В/О 1.12/1.И-1.К 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 $N = -2704{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 8{,}0$ 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 - 6xØ20, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}91$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}22$ м
- Высота сечения $h = 0{,}66$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}8$, $\mu_y = 0{,}8$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}91 = 3{,}928 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}91 = 3{,}928 \text{ м}$$

Радиусы инерции сечения:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}005271}{0{,}22 \cdot 0{,}66}} = 0{,}191 \text{ м};\ i_y = \sqrt{\frac{I_y}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}000586}{0{,}22 \cdot 0{,}66}} = 0{,}064 \text{ м}$$

Гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}928}{0{,}191} = 20{,}6 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}928}{0{,}064} = 61{,}8 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}91}{600} = 0{,}008 \text{ м}$$

$$e_{a,x} \ge \frac{h}{30} = \frac{0{,}66}{30} = 0{,}022 \text{ м};\ e_{a,y} \ge \frac{b}{30} = \frac{0{,}22}{30} = 0{,}007 \text{ м}$$

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-2704{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{8{,}0}{-2704{,}0}\right| = 0{,}003 \text{ м}$$

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:

$$e_{0,x} = 0{,}022 \text{ м};\ e_{0,y} = \ 0{,}010 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

$$0{,}15 \le \delta_{e,x} = \frac{e_{0,x}}{h} = \frac{0{,}022}{0{,}66} = 0{,}033 \le 1{,}5$$

$$0{,}15 \le \delta_{e,y} = \frac{e_{0,y}}{b} = \frac{0{,}010}{0{,}22} = 0{,}045 \le 1{,}5$$

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:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}005271 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000163$$
$$= 51948{,}8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000586 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000015$$
$$= 5398{,}1 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 51948{,}8}{3{,}928^2} = 33230{,}1 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 5398{,}1}{3{,}928^2} = 3453{,}0 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{2704,0}{33230,1}} = 1,089$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{2704,0}{3453,0}} = 4,610$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1,089 \cdot 0,0 = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 4,610 \cdot 8,0 = 36,9 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 115570,4 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 13661,8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

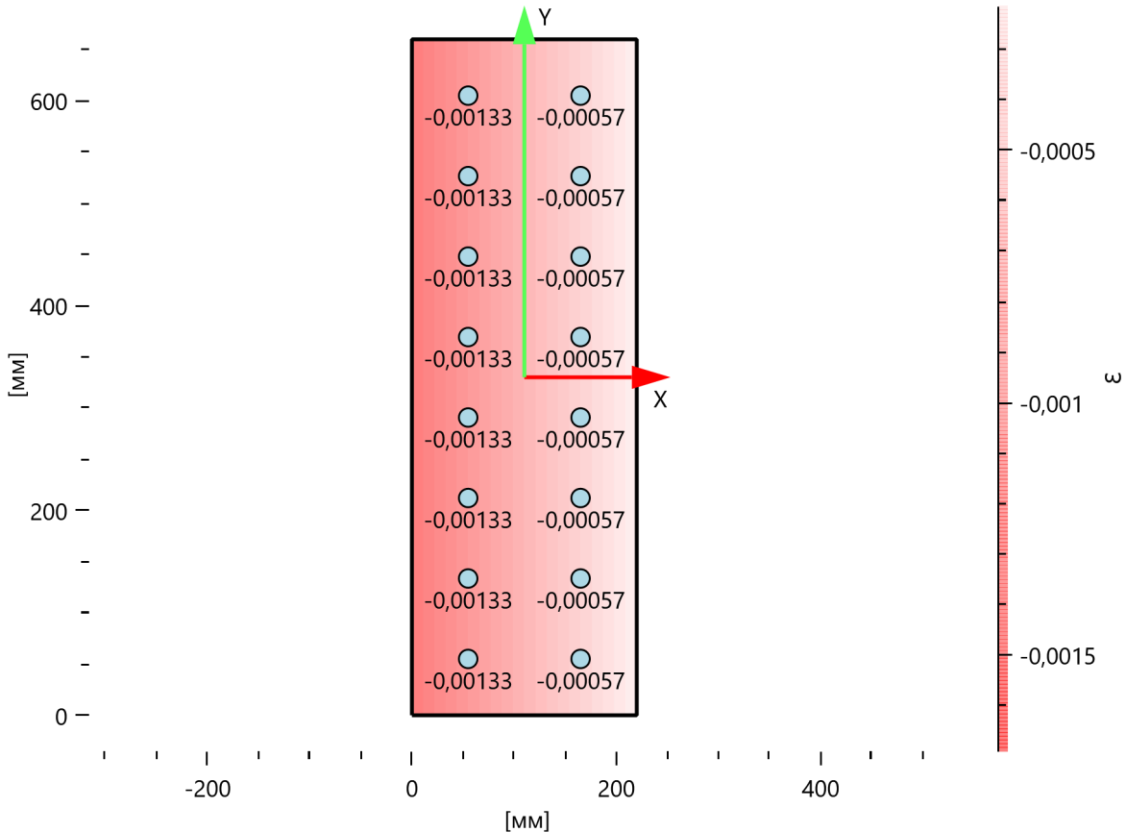
$$D_{12} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 60670,2 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 3283919,2 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

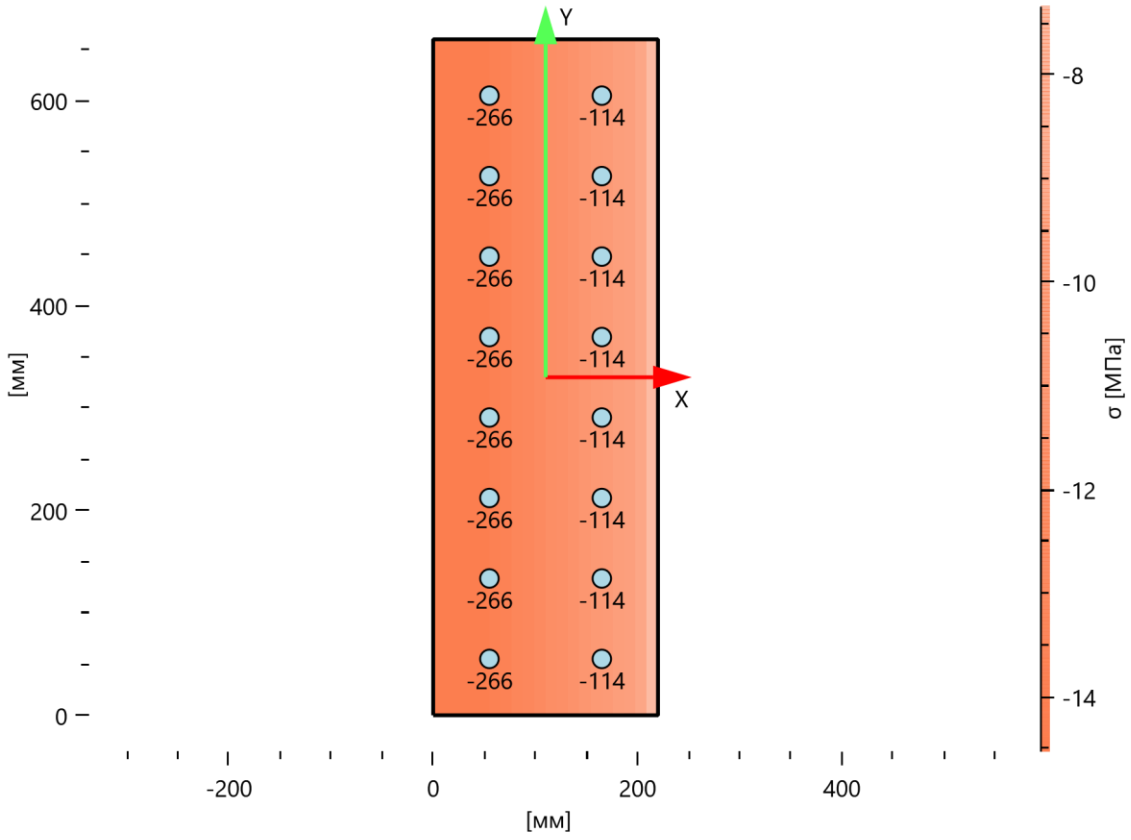
$$\frac{1}{r_x} = 0,00000000; \frac{1}{r_y} = 0,00692429;\ \varepsilon_0 = -0,00095133$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0,001675$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



						17-0121-ОК-1-П-КР4.3	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		105

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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000228}{-0{,}001675} = 0{,}003296$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001675| = 0{,}001675 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003296$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	61.8	120
Деформации сжатия в бетоне	-1.67‰	-3.30‰
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰
Процент использования по N	89%	
Процент использования по Mx	0%	
Процент использования по My	42%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 200ММ В/О 1.4/1.К-1.Л 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 $N = -1614{,}0$ 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 - 2xØ16, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 6xØ16, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}91$ 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:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}91 = 3{,}928 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}91 = 3{,}928 \text{ м}$$

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:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}928}{0{,}173} = 22{,}7 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}928}{0{,}058} = 68{,}0 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}91}{600} = 0{,}008 \text{ м}$$

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-1614{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{7{,}0}{-1614{,}0}\right| = 0{,}004 \text{ м}$$

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:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}003600 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000084 = 31829{,}7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000400 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000007 = 3242{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 31829{,}7}{3{,}928^2} = 20360{,}5 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 3242{,}0}{3{,}928^2} = 2073{,}8 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{1614,0}{20360,5}} = 1,086$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{1614,0}{2073,8}} = 4,510$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1,086 \cdot 0,0 = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 4,510 \cdot 7,0 = 31,6 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 88059,8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 9424,8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

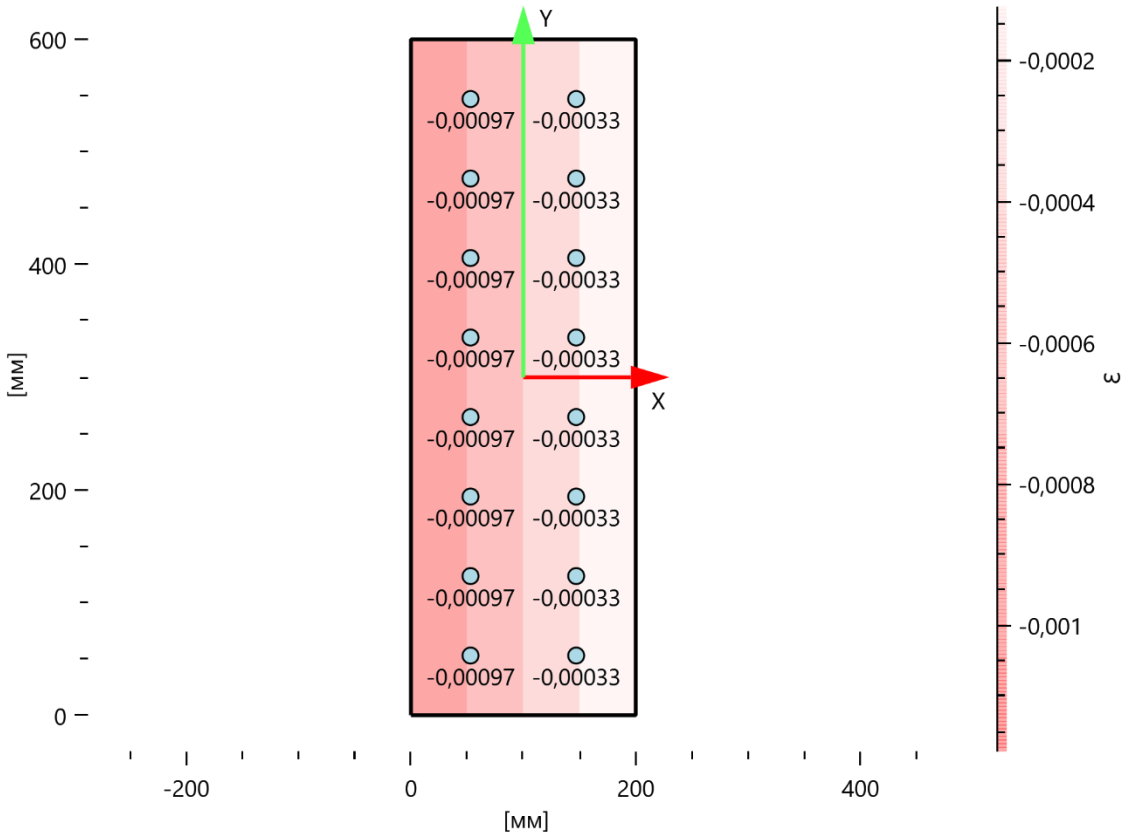
$$D_{12} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 51323,3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 3025786,5 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

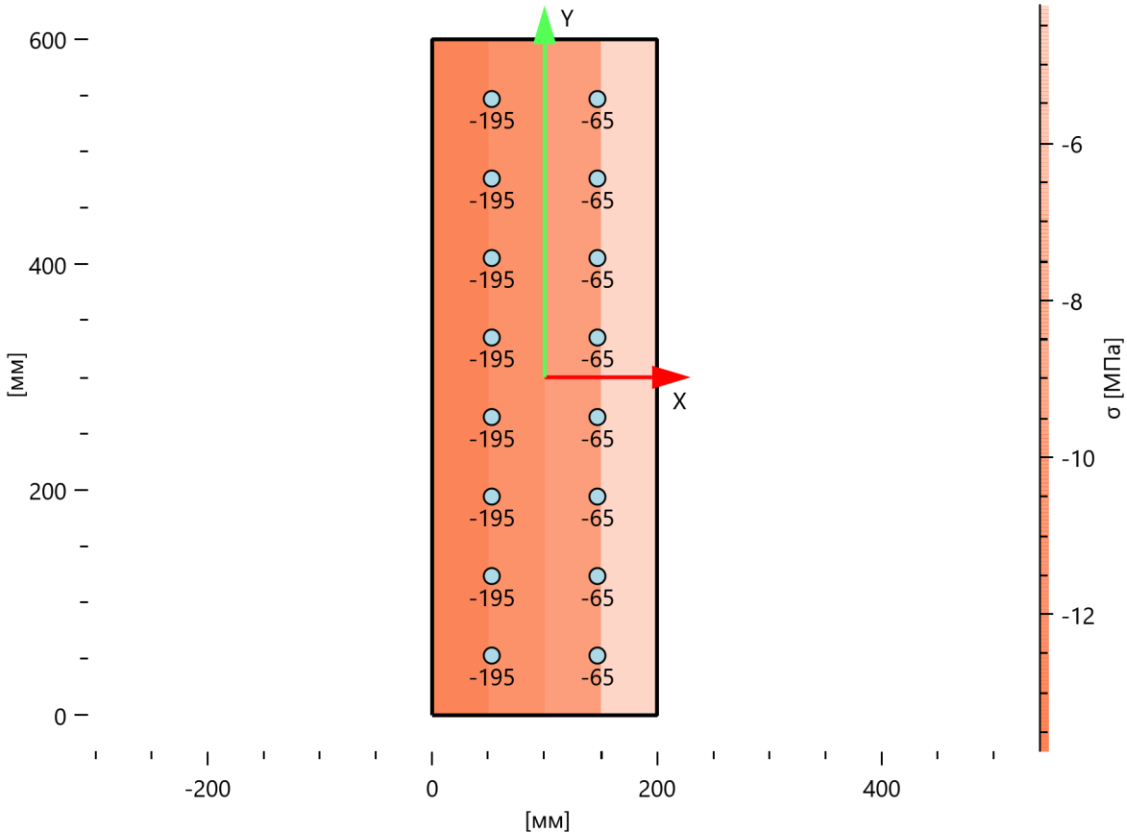
$$\frac{1}{r_x} = 0,00000000; \frac{1}{r_y} = 0,00689112;\ \varepsilon_0 = -0,00065031$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0,001167$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



						17-0121-ОК-1-П-КР4.3	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		110

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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000133}{-0{,}001167} = 0{,}003328$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001167| = 0{,}001167 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003328$$

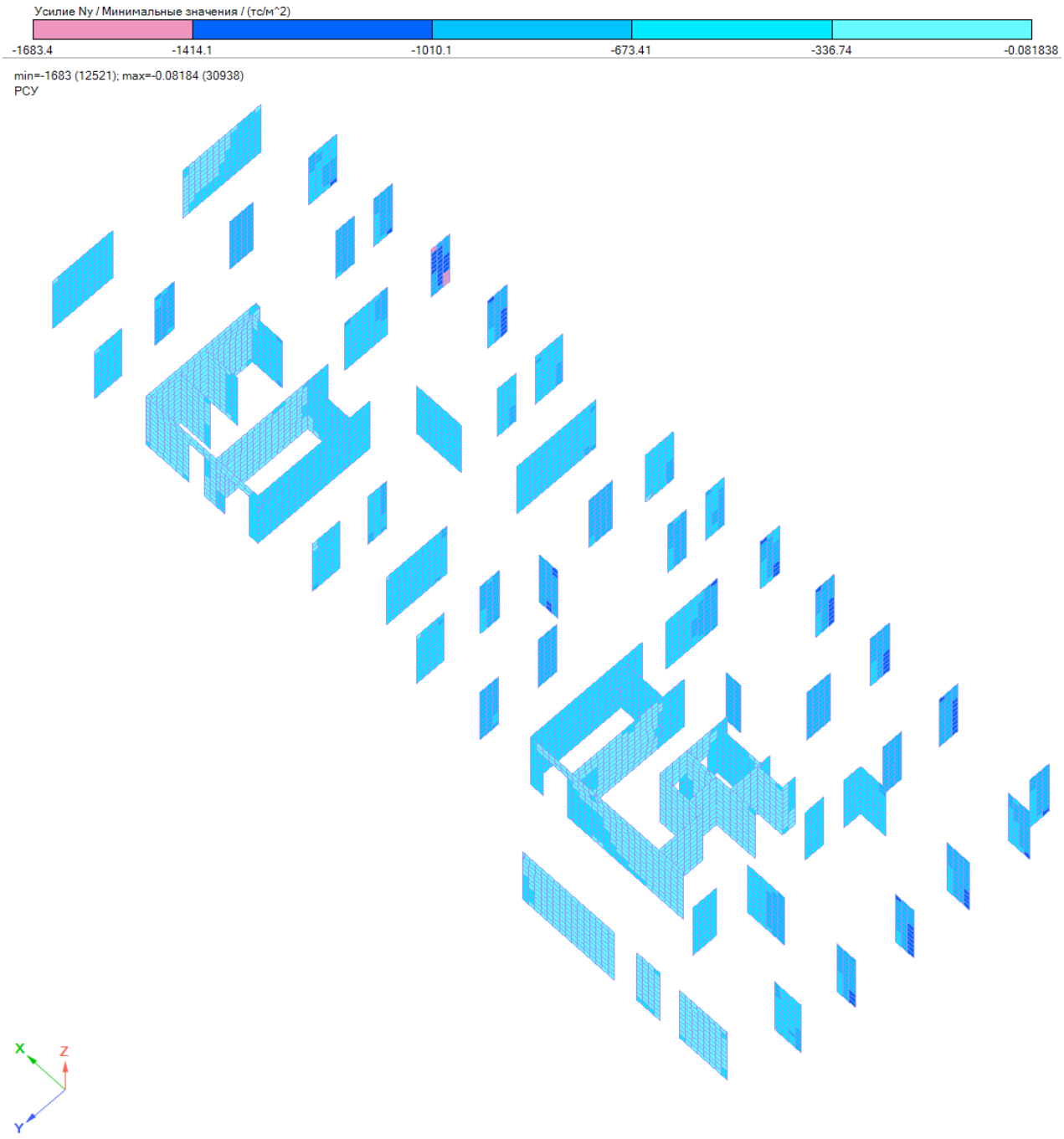
выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

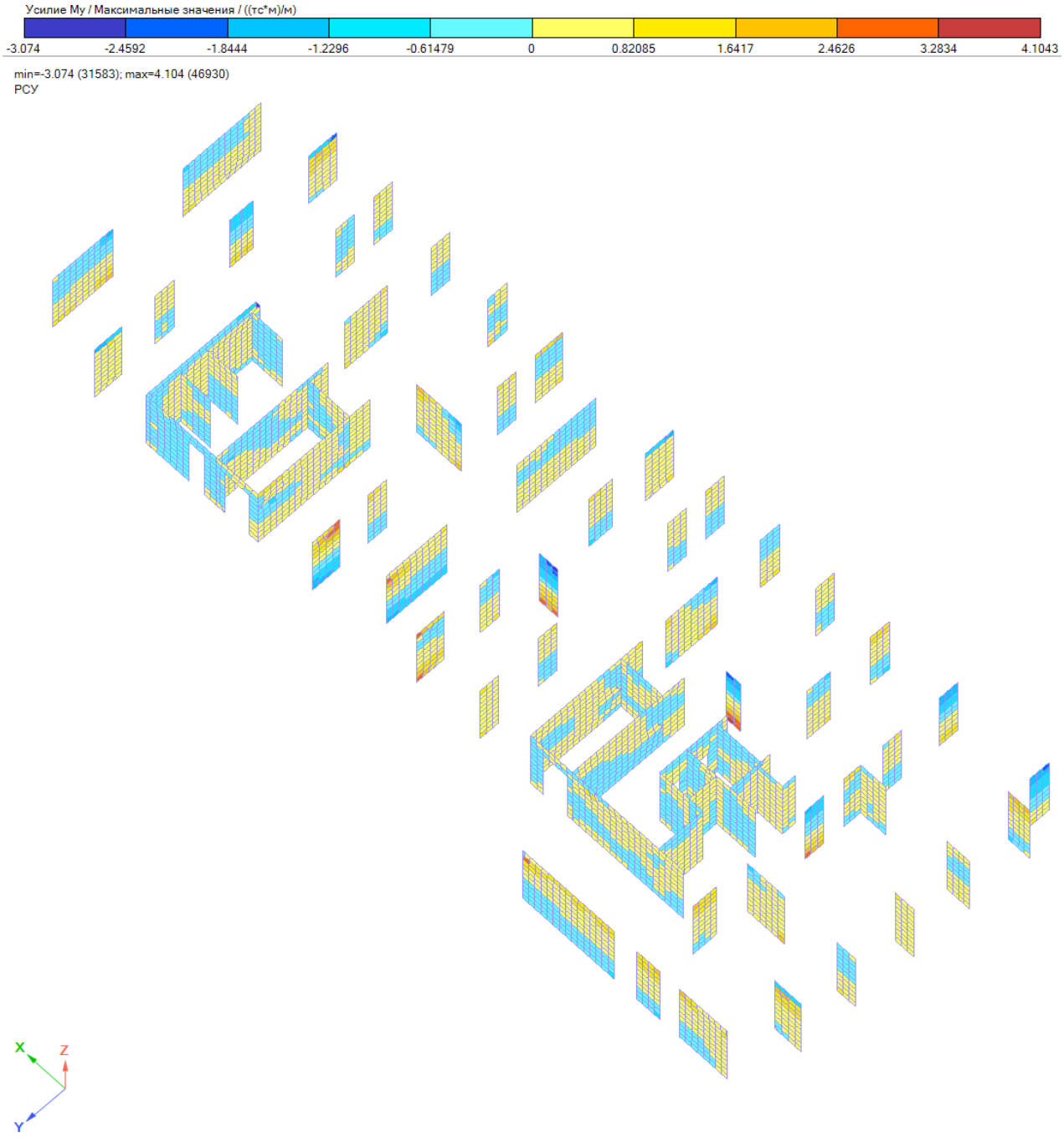
Гибкость	68.0	120
Деформации сжатия в бетоне	-1.17‰	-3.33‰
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰
Процент использования по N	88%	
Процент использования по Mx	0%	
Процент использования по My	42%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

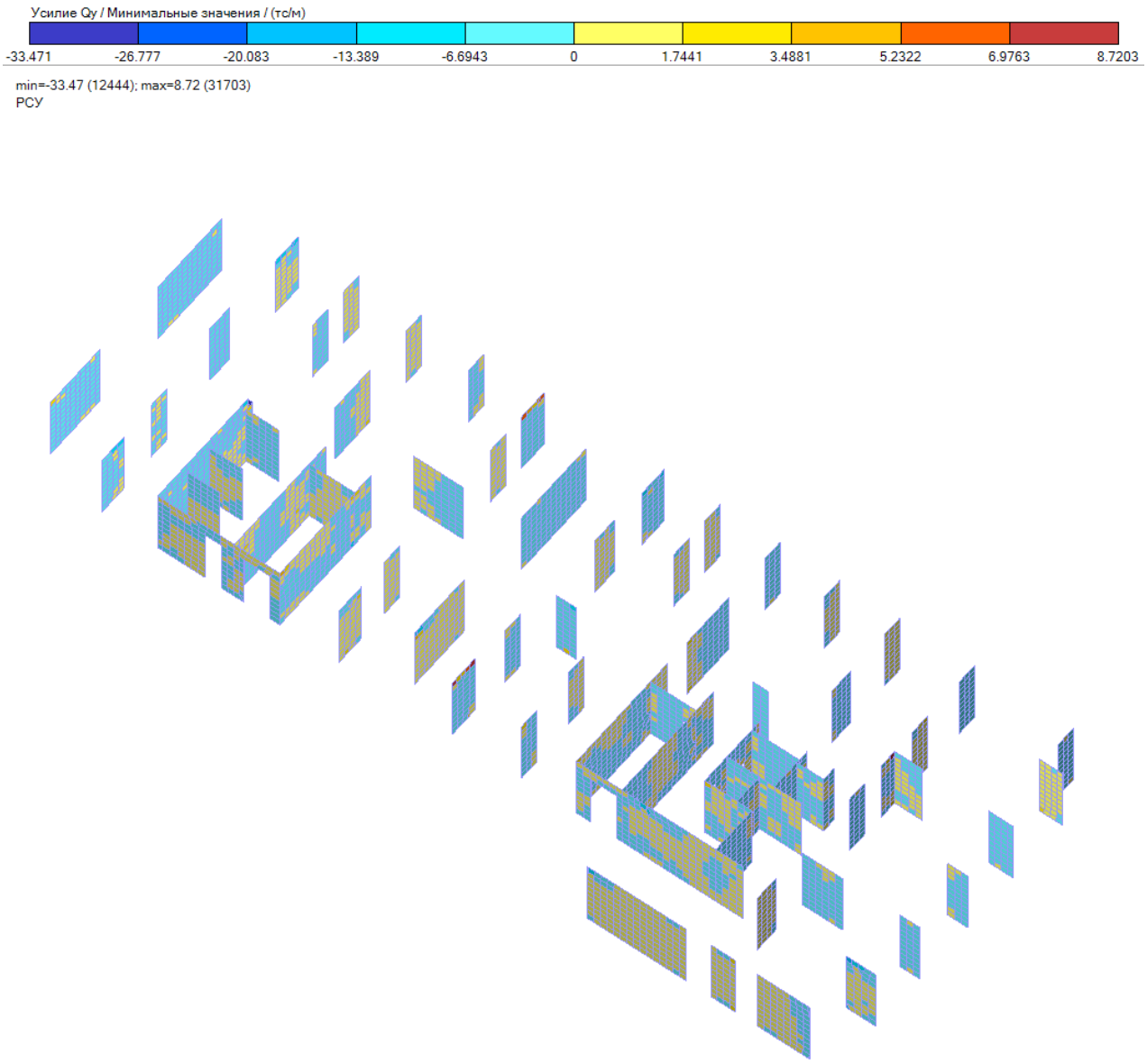
3.1. РАСЧЕТ СТЕН С ОТМ. -0.750, -0.250, -0.100



Изополя усилия Ny, тс*/м2



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qy, тс/м

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 250ММ 1.15/1.А-1.Б НА ОТМ. -0.750 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 $N = -3156{,}0$ 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 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 - 2хØ20, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 6хØ20, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}82$ 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:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}82 = 3{,}856 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}82 = 3{,}856 \text{ м}$$

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:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}856}{0{,}217} = 17{,}8 \leq 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}856}{0{,}072} = 53{,}4 \leq 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \geq \frac{L}{600} = \frac{4{,}82}{600} = 0{,}008 \text{ м}$$

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

$$e_{a(x,y)} \geq 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-3156{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{11{,}0}{-3156{,}0}\right| = 0{,}003 \text{ м}$$

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:

$$e_{0,x} = 0{,}025 \text{ м};\ e_{0,y} = 0{,}010 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

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

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:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}008789 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000221 = 79755{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000977 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000025 = 8892{,}8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 79755{,}0}{3{,}856^2} = 52940{,}0 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 8892{,}8}{3{,}856^2} = 5902{,}9 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{3156{,}0}{52940{,}0}} = 1{,}063$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{3156{,}0}{5902{,}9}} = 2{,}149$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1{,}063 \cdot 0{,}0 = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 2{,}149 \cdot 11{,}0 = 23{,}6 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 170629{,}6\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 19281{,}9\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

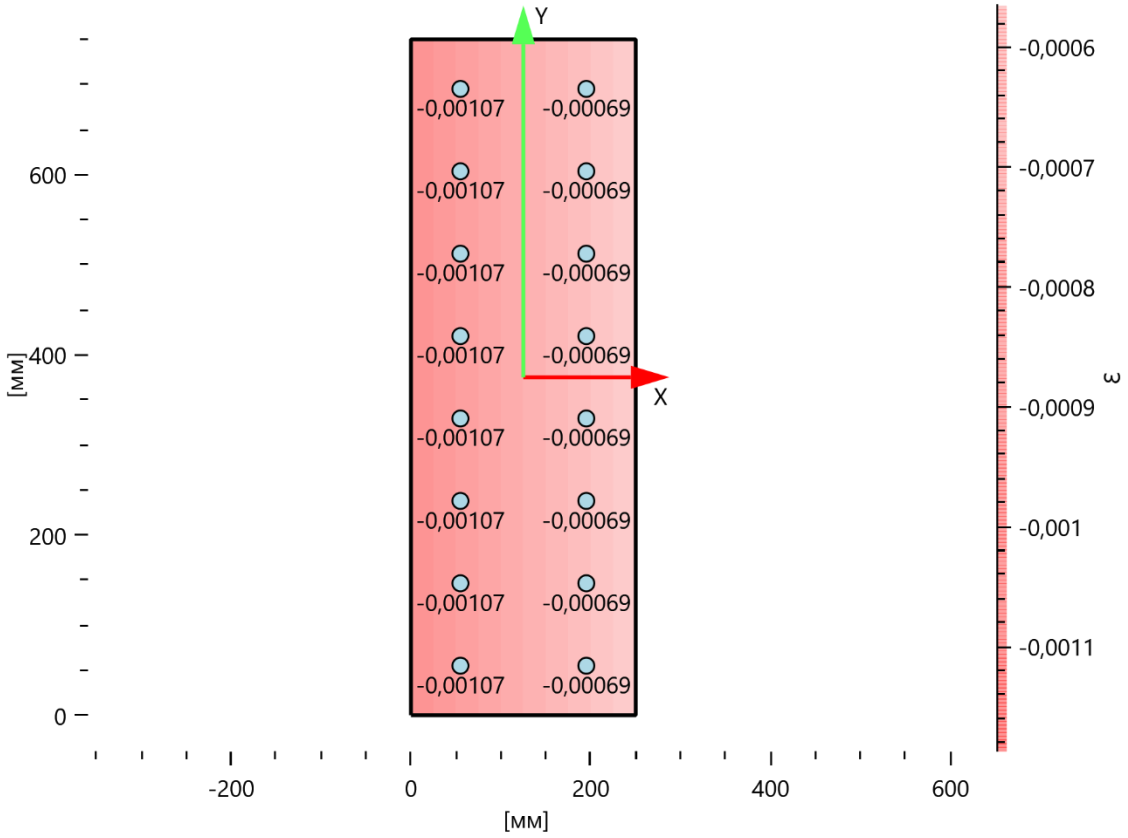
$$D_{12} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 32635{,}4\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 3702574{,}1\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

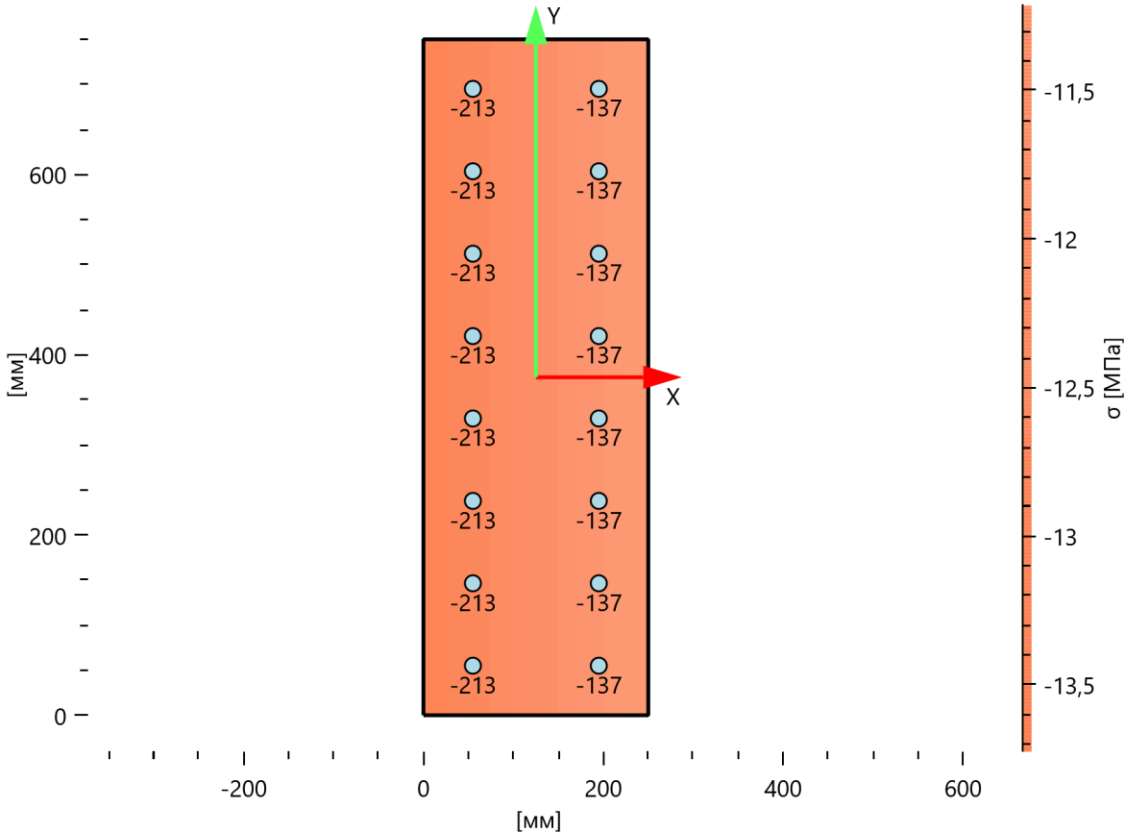
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00270902;\ \varepsilon_0 = -0{,}00087626$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}001181$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



						17-0121-ОК-1-П-КР4.3	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		119

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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000571}{-0{,}001181} = 0{,}002774$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001181| = 0{,}001181 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}002774$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	53.4	120	
Деформации сжатия в бетоне	-1.18‰	-2.77‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	76%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	20%		

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 220ММ В/О 1.12/1.А-1.Б НА ОТМ. -0.250 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 $N = -1223{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 8{,}0$ 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 - 2xØ12, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 2xØ12, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}82$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}22$ м
- Высота сечения $h = 0{,}66$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}8$, $\mu_y = 0{,}8$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}82 = 3{,}856 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}82 = 3{,}856 \text{ м}$$

Радиусы инерции сечения:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}005271}{0{,}22 \cdot 0{,}66}} = 0{,}191 \text{ м};\ i_y = \sqrt{\frac{I_y}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}000586}{0{,}22 \cdot 0{,}66}} = 0{,}064 \text{ м}$$

Гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}856}{0{,}191} = 20{,}2 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}856}{0{,}064} = 60{,}7 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}82}{600} = 0{,}008 \text{ м}$$

$$e_{a,x} \ge \frac{h}{30} = \frac{0{,}66}{30} = 0{,}022 \text{ м};\ e_{a,y} \ge \frac{b}{30} = \frac{0{,}22}{30} = 0{,}007 \text{ м}$$

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-1223{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{8{,}0}{-1223{,}0}\right| = 0{,}007 \text{ м}$$

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:

$$e_{0,x} = 0{,}022 \text{ м};\ e_{0,y} = \ 0{,}010 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

$$0{,}15 \le \delta_{e,x} = \frac{e_{0,x}}{h} = \frac{0{,}022}{0{,}66} = 0{,}033 \le 1{,}5$$

$$0{,}15 \le \delta_{e,y} = \frac{e_{0,y}}{b} = \frac{0{,}010}{0{,}22} = 0{,}045 \le 1{,}5$$

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:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}005271 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000039 = 35308{,}4 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000586 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000003 = 3763{,}2 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 35308{,}4}{3{,}856^2} = 23437{,}1 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 3763{,}2}{3{,}856^2} = 2498{,}0 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{1223,0}{23437,1}} = 1,055$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{1223,0}{2498,0}} = 1,959$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1,055 \cdot 0,0 = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1,959 \cdot 8,0 = 15,7 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 176312,5 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 19133,3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

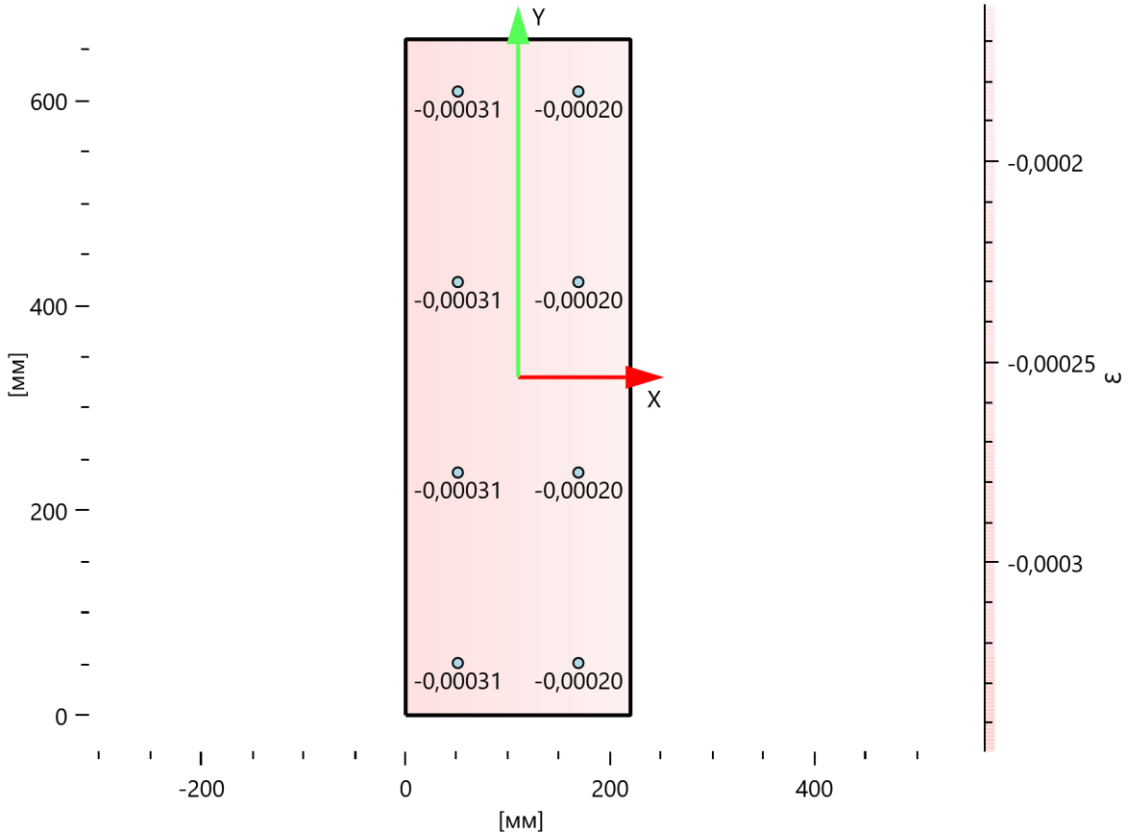
$$D_{12} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 3934,8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 4829397,9 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

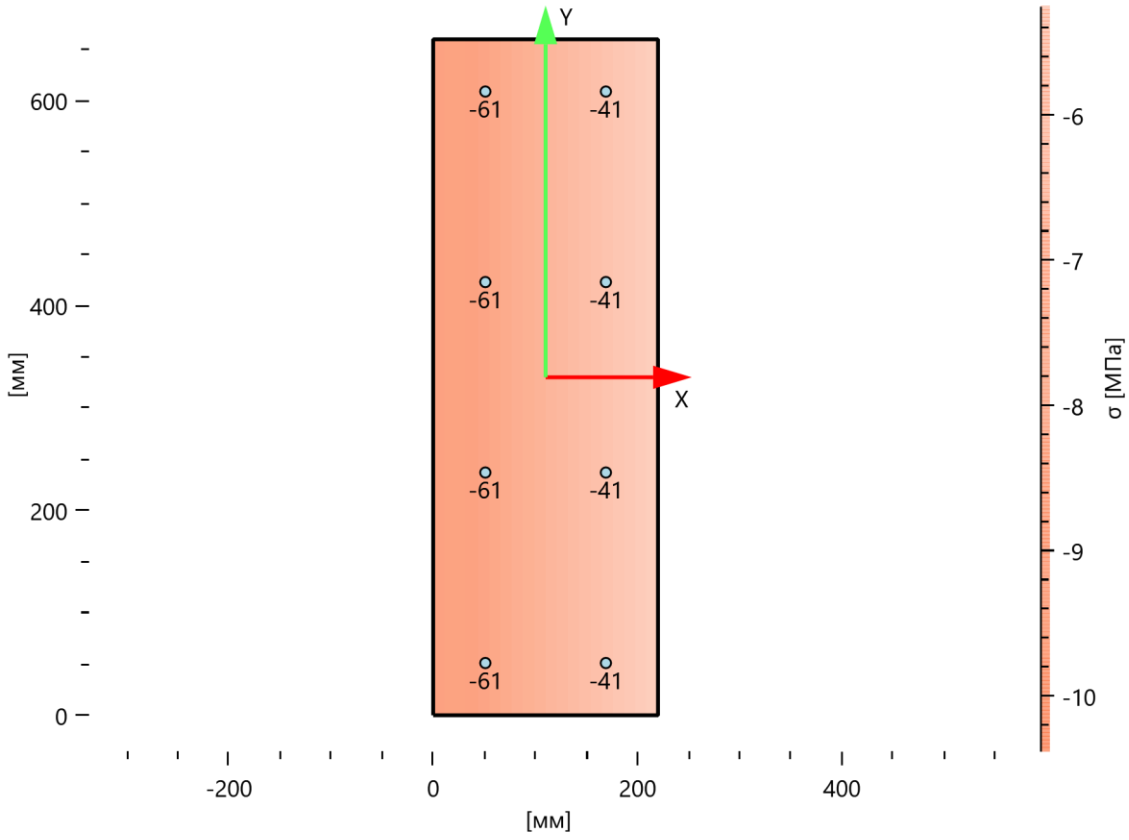
$$\frac{1}{r_x} = 0,00000000; \frac{1}{r_y} = 0,00087142;\ \varepsilon_0 = -0,00025395$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0,000345$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000163}{-0{,}000345} = 0{,}002792$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}000345| = 0{,}000345 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}002792$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	60.7	120
Деформации сжатия в бетоне	-0.35‰	-2.79‰
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰
Процент использования по N	62%	
Процент использования по Mx	0%	
Процент использования по My	22%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 200ММ В/О 1.14-1.15/1.Е-1.Ж НА ОТМ. -0.750 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 $N = -864{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 8{,}0$ 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 - 2xØ12, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 2xØ12, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}82$ 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:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}82 = 3{,}856 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}82 = 3{,}856 \text{ м}$$

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:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}856}{0{,}173} = 22{,}3 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}856}{0{,}058} = 66{,}8 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}82}{600} = 0{,}008 \text{ м}$$

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-864{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{8{,}0}{-864{,}0}\right| = 0{,}009 \text{ м}$$

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:

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

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:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}003600 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000031$$
$$= 24712{,}8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000400 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000002$$
$$= 2573{,}5 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 24712{,}8}{3{,}856^2} = 16403{,}9 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2573{,}5}{3{,}856^2} = 1708{,}3 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{864{,}0}{16403{,}9}} = 1{,}056$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{864{,}0}{1708{,}3}} = 2{,}023$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1{,}056 \cdot 0{,}0 = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 2{,}023 \cdot 8{,}0 = 16{,}2 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 121407{,}7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 12551{,}4 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

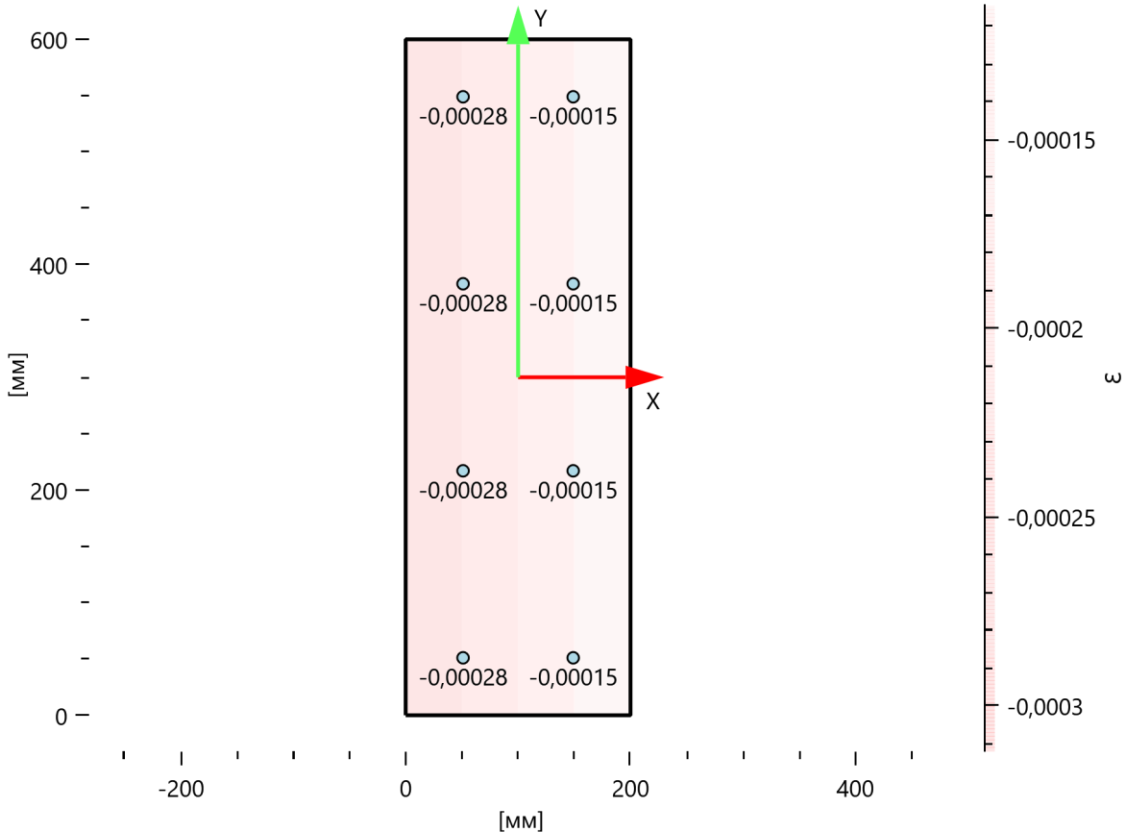
$$D_{12} = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 4051550{,}4 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

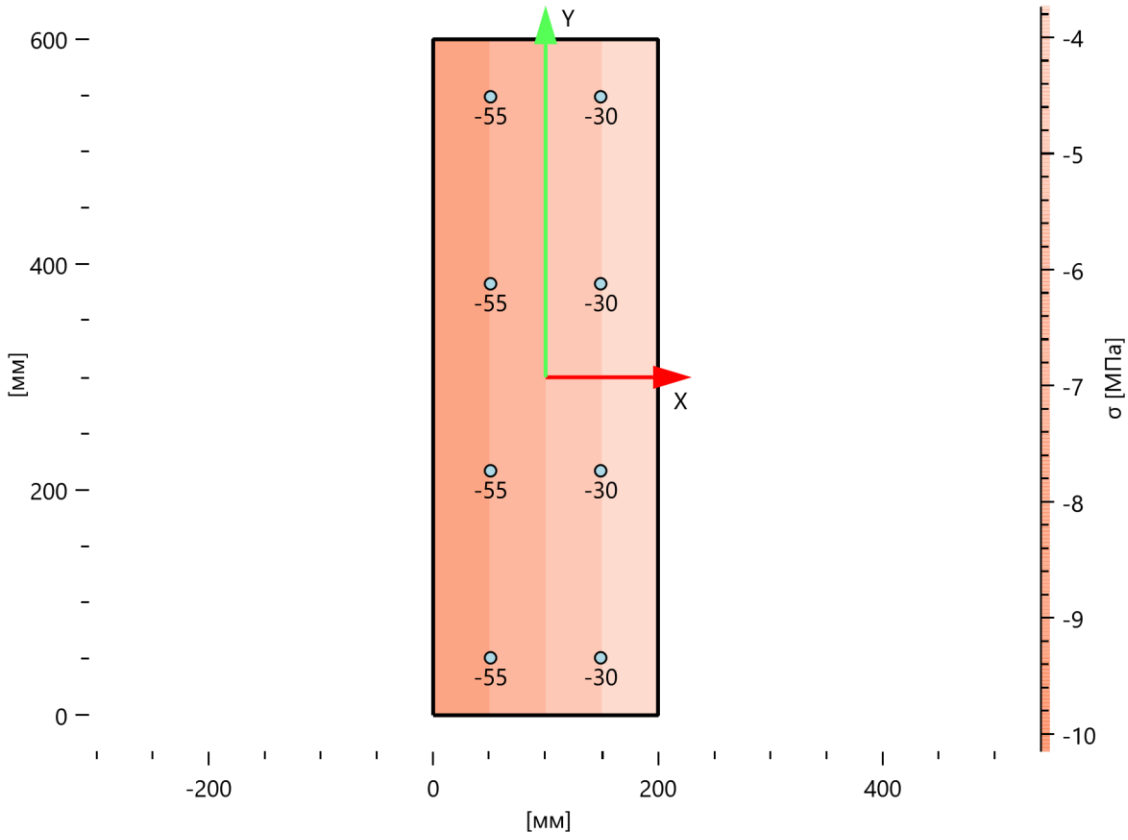
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00128966;\ \varepsilon_0 = -0{,}00021325$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}000310$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



						17-0121-ОК-1-П-КР4.3	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		129

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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000117}{-0{,}000310} = 0{,}002936$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}000310| = 0{,}000310 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}002936$$

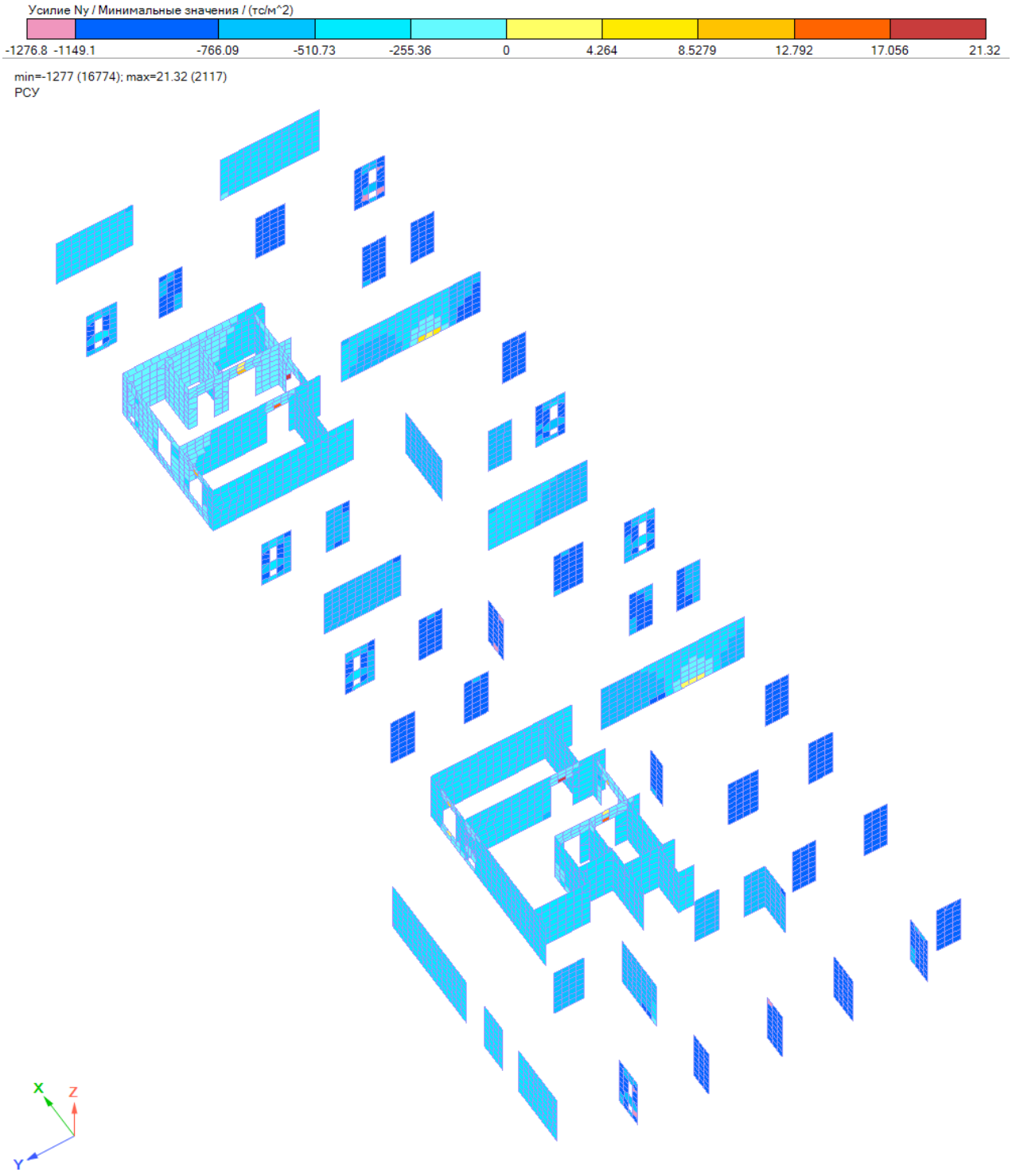
выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

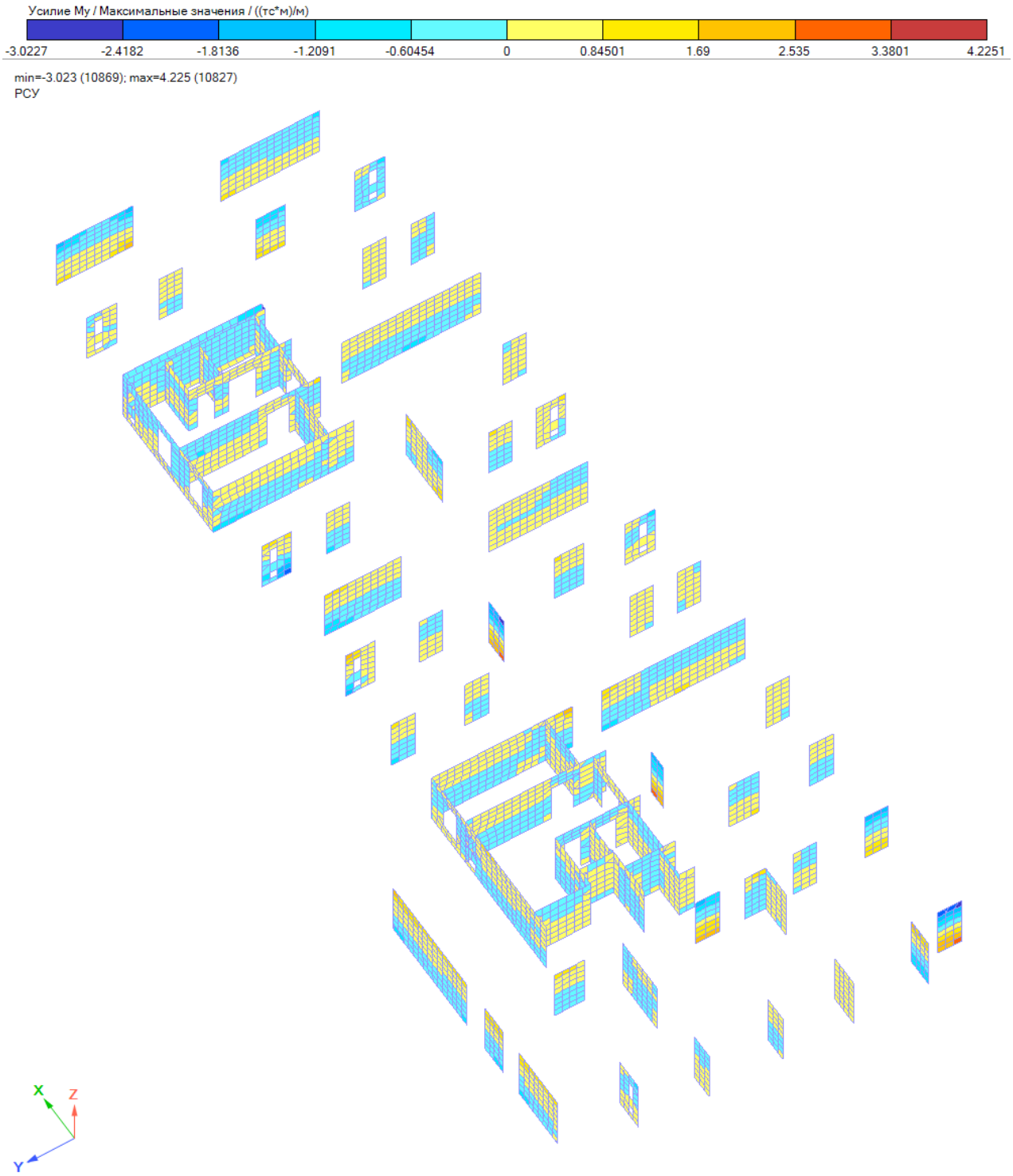
Гибкость	66.8	120	
Деформации сжатия в бетоне	-0.31‰	-2.94‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	62%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	28%		

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

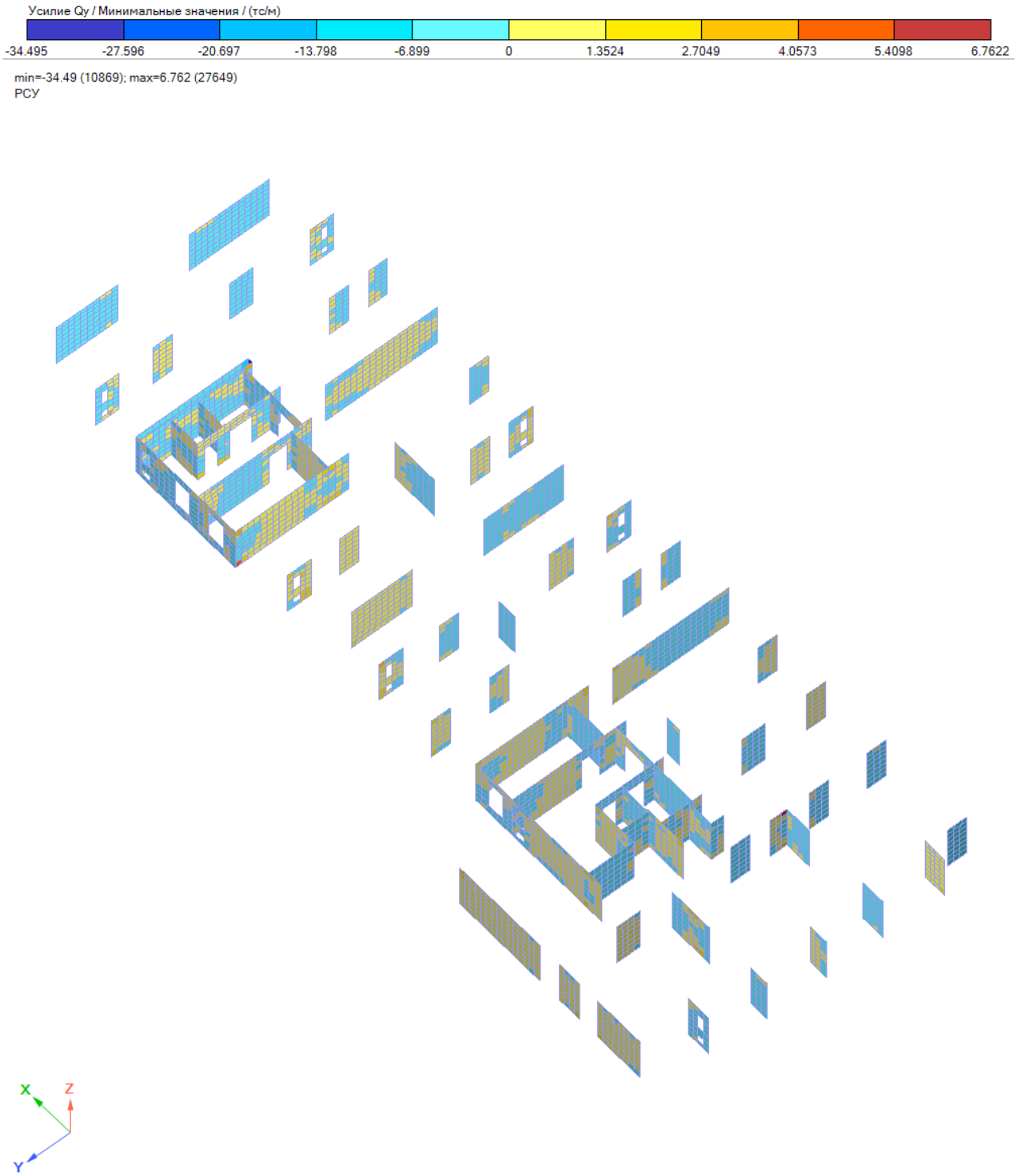
3.2. РАСЧЕТ СТЕН С ОТМ. +4.250



Изополя усилия Ny, тс*/м2



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qy, тс/м

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 220ММ В/О 1.17/1.А-1.Б С ОТМ. +4.250 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 $N = -1083{,}0$ 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 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 - 2хØ16, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 2{,}82$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}22$ 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:

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}001173}{0{,}22 \cdot 0{,}4}} = 0{,}115 \text{ м};\ i_y = \sqrt{\frac{I_y}{bh}} = \sqrt{\frac{0{,}000355}{0{,}22 \cdot 0{,}4}} = 0{,}064 \text{ м}$$

Гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{2{,}256}{0{,}115} = 19{,}5 \leq 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{2{,}256}{0{,}064} = 35{,}5 \leq 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

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

$$e_{a,x} \geq \frac{h}{30} = \frac{0{,}4}{30} = 0{,}013 \text{ м};\ e_{a,y} \geq \frac{b}{30} = \frac{0{,}22}{30} = 0{,}007 \text{ м}$$

$$e_{a(x,y)} \geq 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-1083{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{11{,}0}{-1083{,}0}\right| = 0{,}010 \text{ м}$$

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:

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

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

$$0{,}15 \leq \delta_{e,y} = \frac{e_{0,y}}{b} = \frac{0{,}010}{0{,}22} = 0{,}046 \leq 1{,}5$$

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:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}001173 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000019 = 9286{,}8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000355 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000005 = 2729{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 9286{,}8}{2{,}256^2} = 18008{,}9 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2729{,}0}{2{,}256^2} = 5292{,}1 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{1083{,}0}{18008{,}9}} = 1{,}064$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{1083{,}0}{5292{,}1}} = 1{,}257$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

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

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1{,}257 \cdot 11{,}0 = 13{,}8 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 29789{,}6\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 9124{,}7\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

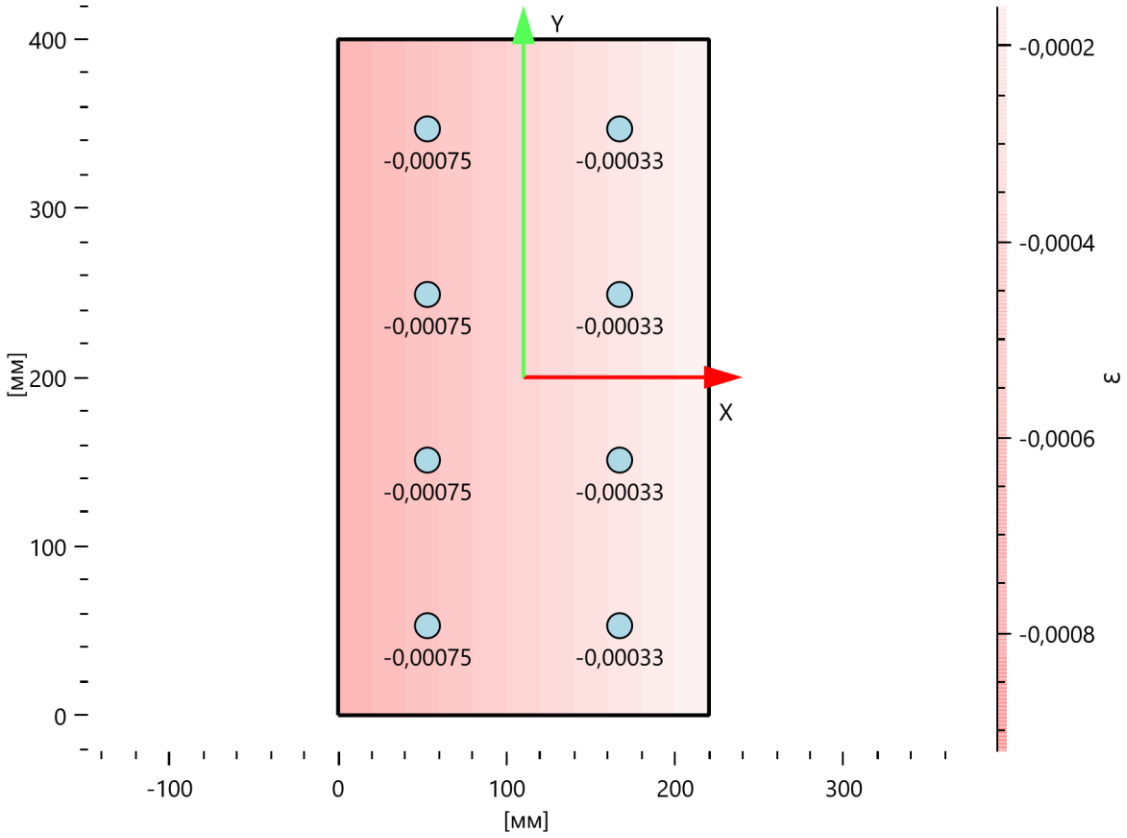
$$D_{12} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 37544{,}3\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 2267439{,}4\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

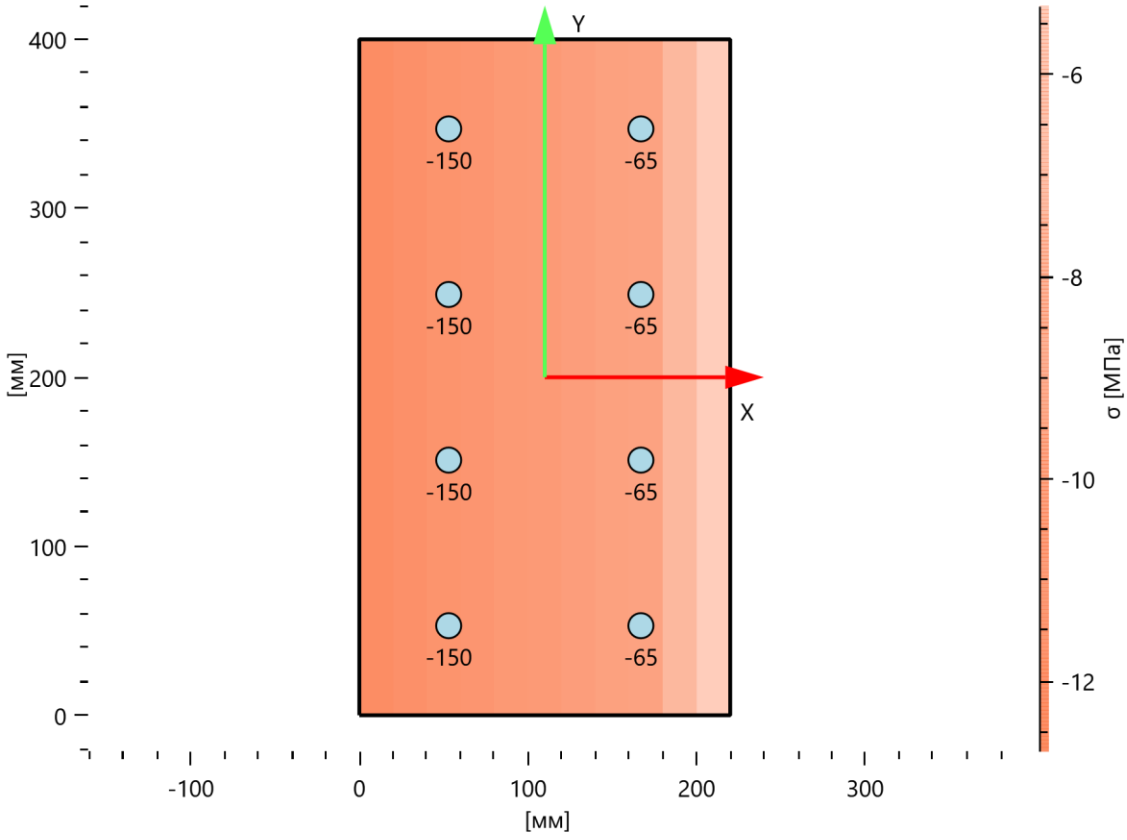
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00373547;\ \varepsilon_0 = -0{,}00053949$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}000913$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000166}{-0{,}000913} = 0{,}003227$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}000913| = 0{,}000913 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003227$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	35.5	120
Деформации сжатия в бетоне	-0.91‰	-3.23‰
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰
Процент использования по N	66%	
Процент использования по Mx	0%	
Процент использования по My	27%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 200ММ В/О 1.10-1.11/1.Е С ОТМ. +4.250 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 $N = -1361{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 8{,}0$ 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 - 2xØ12, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 4xØ12, 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:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-1361{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{8{,}0}{-1361{,}0}\right| = 0{,}006 \text{ м}$$

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:

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

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:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}003600 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000039 = 25801{,}6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000400 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000003 = 2720{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 25801{,}6}{2{,}256^2} = 50034{,}3 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2720{,}0}{2{,}256^2} = 5274{,}5 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{1361,0}{50034,3}} = 1,028$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{1361,0}{5274,5}} = 1,348$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1,028 \cdot 0,0 = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1,348 \cdot 8,0 = 10,8 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 92455,9 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 9746,5 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

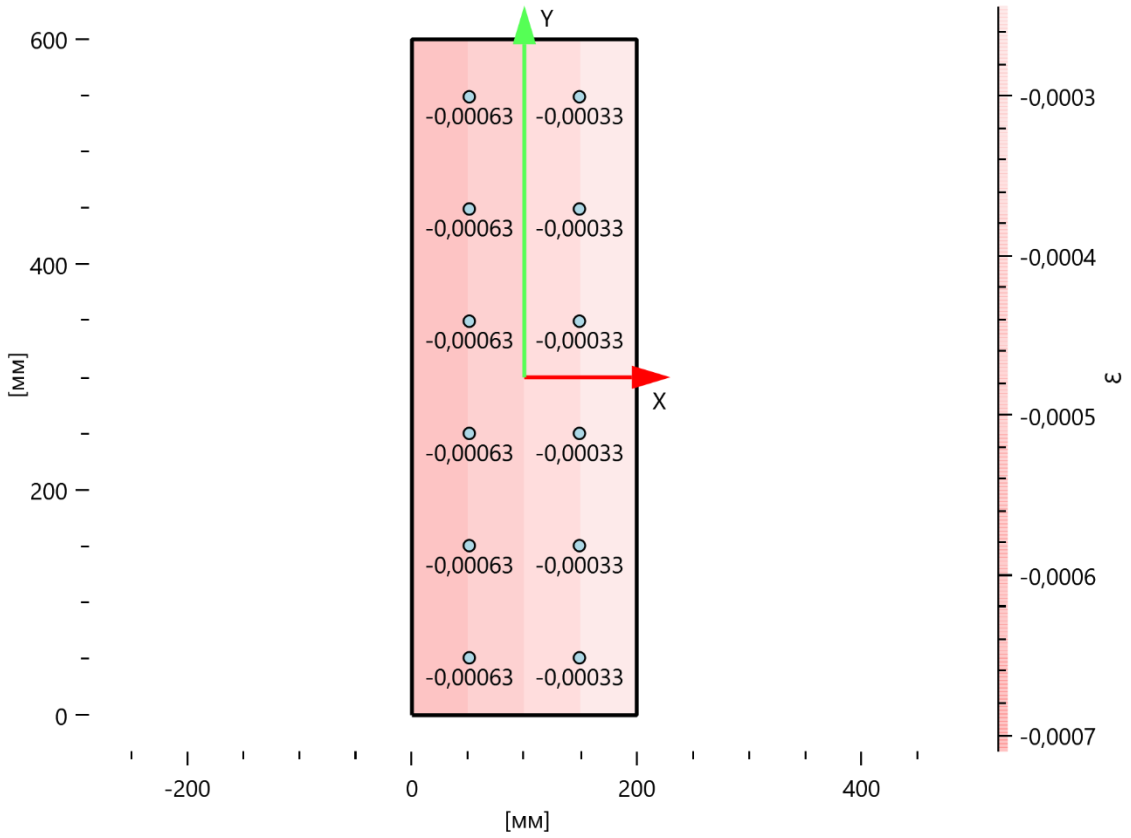
$$D_{12} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 39726,6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 3110259,7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

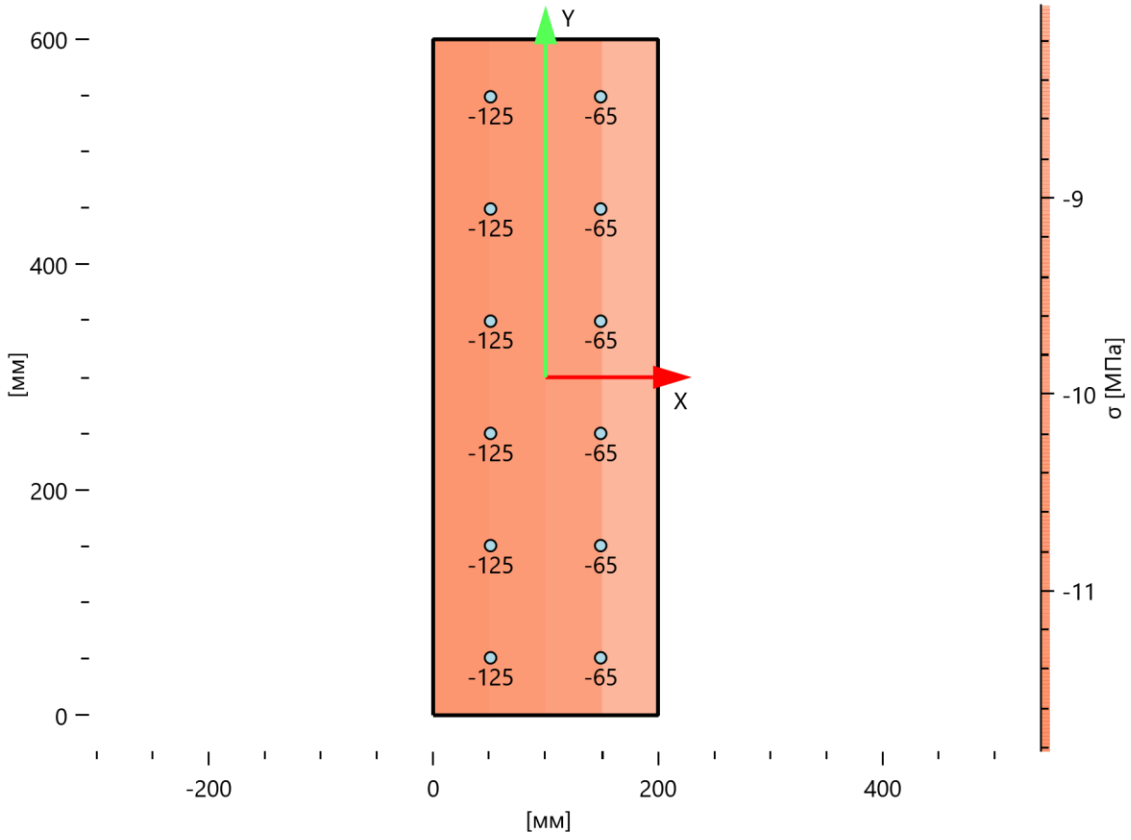
$$\frac{1}{r_x} = 0,00000000; \frac{1}{r_y} = 0,00304855;\ \varepsilon_0 = -0,00047652$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0,000705$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000248}{-0{,}000705} = 0{,}002973$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}000705| = 0{,}000705 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}002973$$

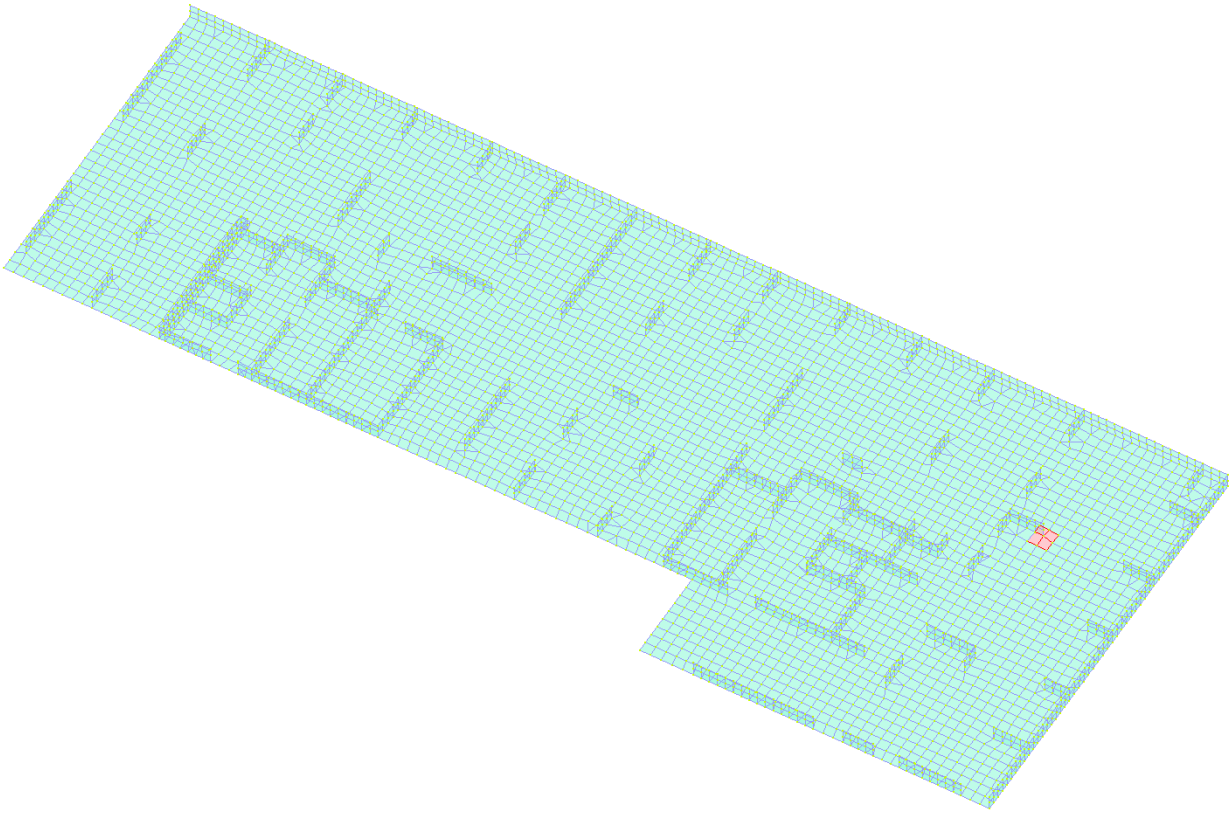
выполняется, то прочность сечения обеспечена.

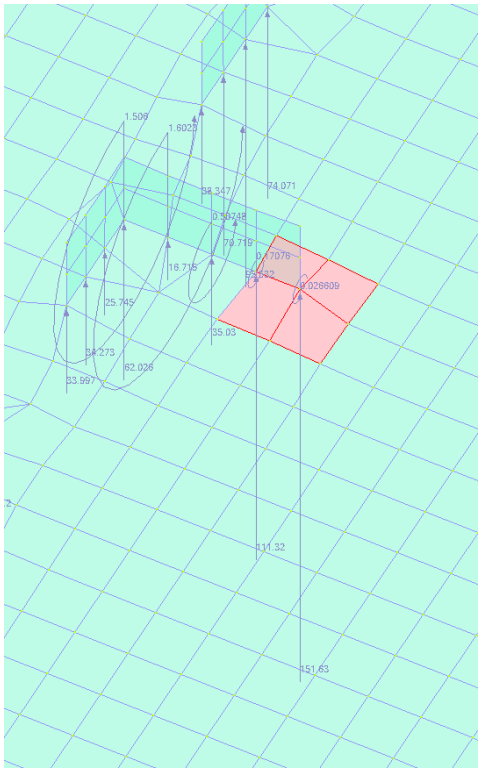
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	39.1	120
Деформации сжатия в бетоне	-0.71‰	-2.97‰
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰
Процент использования по N	67%	
Процент использования по Mx	0%	
Процент использования по My	21%	

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 1.3/1.Д на отм. -7.200

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Ширина сечения $b_1 = 25$ см $= 0.25$ м
- Толщина плиты $h = 60$ см $= 0.6$ 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 $N_{sup} = 2970$ кН;
- Изгибающий момент , $M_{y,sup} = 15$ кНм
- Нагрузка на перекрытие $q_{int} = 210$ кН/м^2

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

$$h_{0x} = h - a_x = 0.6 - 0.05 = 0.55 \text{ м}$$

$$h_{0y} = h - a_y = 0.6 - 0.05 = 0.55 \text{ м}$$

$$h_0 = 0.5\left(h_{0x} + h_{0y}\right) = 0.5(0.55 + 0.55) = 0.55 \text{ м}$$

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

$$F_q = q_{int} A_q$$

$$A_q = (b_1 + h_0)\left(b_1 + \frac{h_0}{2}\right) = (0.25 + h_0)\left(0.25 + \frac{h_0}{2}\right) = 0.42 \text{ м}^2$$

$$F_q = q_{int} A_q = 210 \cdot 0.42 = 88.2 \text{ кН}$$

$$F = N_{sup} - F_q = 2970 - 88.2 = 2881.8 \text{ кН}$$

$$M_y = \frac{M_{y,sup}}{2} = \frac{15}{2} = 7.5 \text{ кНм}$$

$$b = b_1 + h_0 = 0.25 + 0.55 = 0.8 \text{ м}$$

$$a = b_1 + h_0 = 0.25 + 0.55 = 0.8 \text{ м}$$

$$U_b = b + 2a = 0.8 + 2 \cdot 0.8 = 2.4 \text{ м}$$

$$F_{b,ult} = R_{bt}\gamma_b U_b h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 2.4 \cdot 0.55 = 1518 \text{ кН}$$

$$M_{b,y,ult} = R_{bt}\gamma_b W_{by} h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 3.2000E-001 \cdot 0.55 = 202.4 \text{ кНм}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} = \frac{2881.8}{1518} = 1.898$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = \frac{7.5}{202.4} = 0.037$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 1.898 + 0.037 = 1.935$$

Коэффициент использования $1.935 > 1$, установка поперечной арматуры требуется

$$U_s = U_b = 2.4 \text{ м}$$

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

$$F_{sw,ult} = 0.8q_{sw}U_s = 0.8 \cdot 4241.15 \cdot 2.4 = 8143.01 \text{ кН}$$

Условие $F_{sw,ult} = 8143\text{кН} \geq 0.25F_{b,ult} = 379.5\text{кН}$ выполняется.

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 1518 + 8143.01 = 9661.01 \text{ кН}$$

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 9661.01 > 2F_{b,ult} = 2 \cdot 1518 = 3036 \Rightarrow F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 3036 \text{ кН}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{2881.8}{3036} = 0.949$$

$$W_{sw,y} = W_{by} = 3.2000E-001 \text{ м}^2$$

$$M_{sw,y,ult} = 0.8q_{sw}W_{sw,y} = 0.8 \cdot 4241.15 \cdot 3.2000E-001 = 1085.73 \text{ кНм}$$

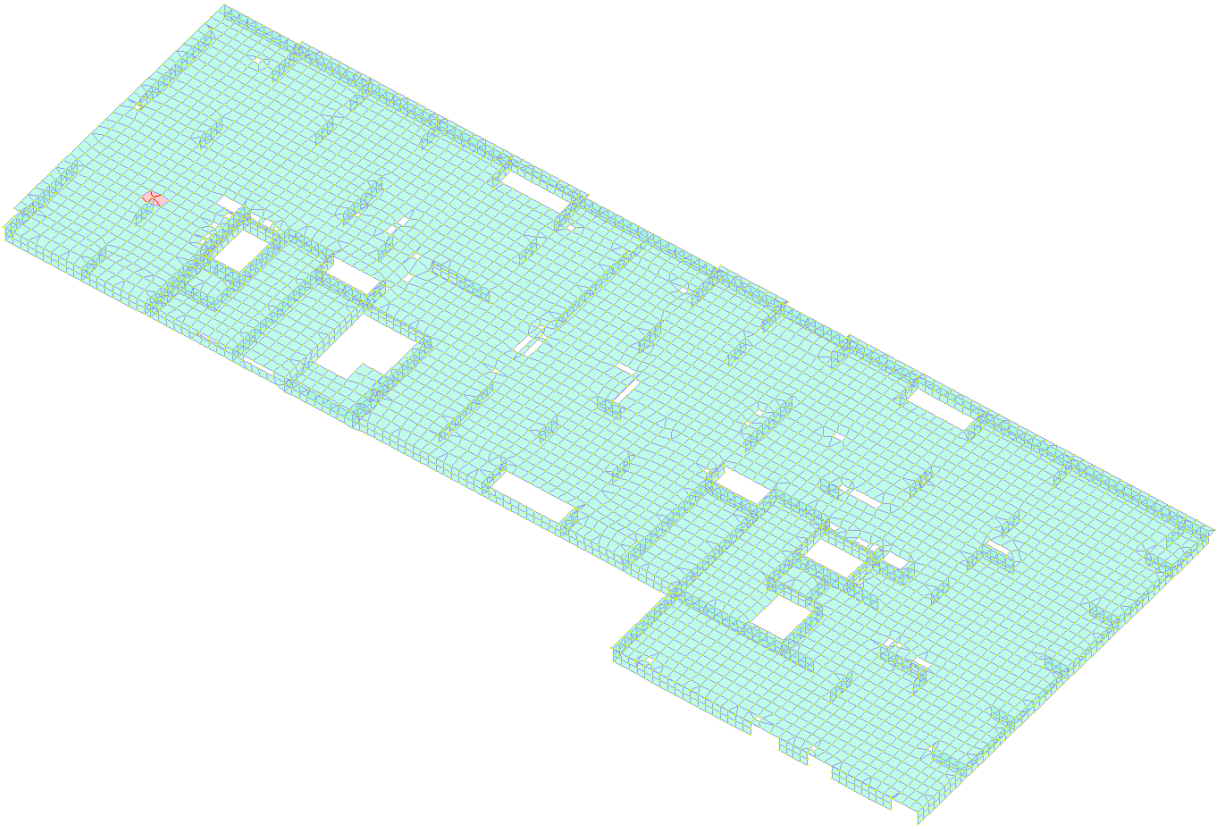
$$M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult} = 202.4 + 1085.73 = 1288.13 \text{ кНм}$$

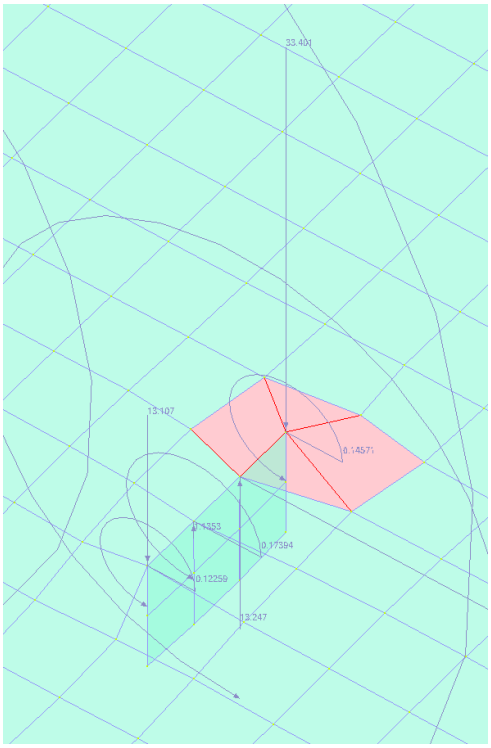
$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{7.5}{404.8} = 0.019$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.949 + 0.019 = 0.968$$

Коэффициент использования составляет $K = 0.968$. Условие прочности выполняется

4.1. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПЛИТЫ НА ОТМ. -0.750, -0.250, -0.100





Расчет на продавливание согласно СП 63.13330.2018.

Конструкция - плита, рядовая стена в/о 1.16-1.17/1.Ж-1.И на отм. -0.750

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 $N_{sup} = 223$ кН;
- Изгибающий момент , $M_{y,sup} = 12$ кНм

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

$$h_{0x} = h - a_x = 0.2 - 0.03 = 0.17 \text{ м}$$

$$h_{0y} = h - a_y = 0.2 - 0.04 = 0.16 \text{ м}$$

$$h_0 = 0.5\left(h_{0x} + h_{0y}\right) = 0.5(0.17 + 0.16) = 0.165 \text{ м}$$

$$F = N_{sup} = 223 \text{ кН}$$

$$M_y = \frac{M_{y,sup}}{2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ кНм}$$

$$b = b_1 + h_0 = 0.25 + 0.165 = 0.415 \text{ м}$$

$$a = b_1 + h_0 = 0.25 + 0.165 = 0.415 \text{ м}$$

$$U_b = b + 2a = 0.415 + 2 \cdot 0.415 = 1.245 \text{ м}$$

$$F_{b,ult} = R_{bt}\gamma_b U_b h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 1.245 \cdot 0.165 = 236.24 \text{ кН}$$

$$M_{b,y,ult} = R_{bt}\gamma_b W_{by} h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 8.6113E - 002 \cdot 0.165 = 16.34 \text{ кНм}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} = \frac{223}{236.24} = 0.944$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = \frac{6}{16.34} = 0.367$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 0.944 + 0.367 = 1.311$$

Коэффициент использования $1.311 > 1$, 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.

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 236.24 + 5406.96 = 5643.2 \text{ кН}$$

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 5643.2 > 2F_{b,ult} = 2 \cdot 236.24 = 472.48 \Rightarrow F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 472.48 \text{ кН}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{223}{472.48} = 0.472$$

$$W_{sw,y} = W_{by} = 8.6113E-002 \text{ м}^2$$

$$M_{sw,y,ult} = 0.8 q_{sw} W_{sw,y} = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 8.6113E-002 = 373.98 \text{ кНм}$$

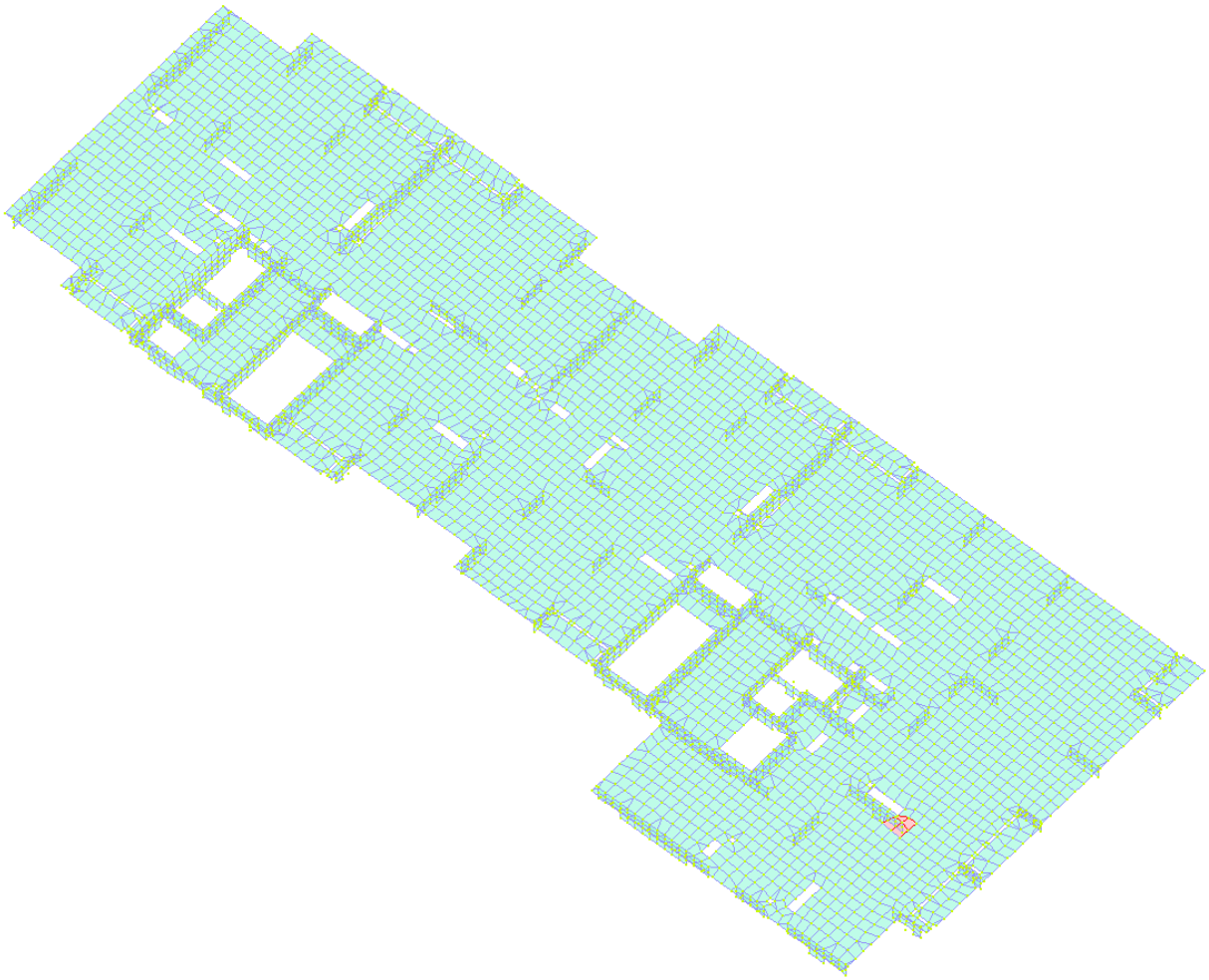
$$M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult} = 16.34 + 373.98 = 390.32 \text{ кНм}$$

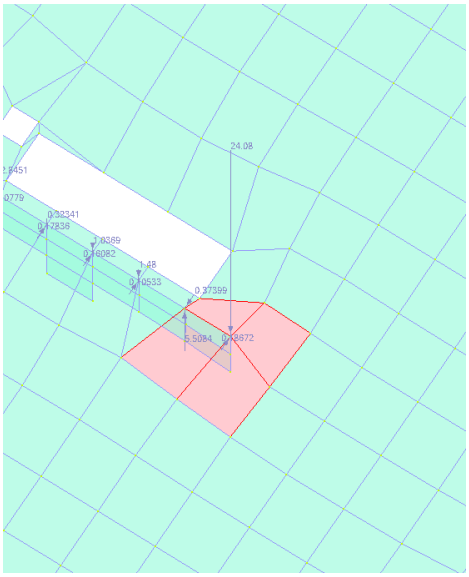
$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{6}{32.68} = 0.184$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.472 + 0.184 = 0.656$$

Коэффициент использования составляет $K = 0.656$. Условие прочности выполняется

4.1. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ТИПОВОЙ ПЛИТЫ С ОТМ. +4.250...+31.250





Расчет на продавливание согласно СП 63.13330.2018.

Конструкция - плита, рядовая стена в/о 1.3/1.И на отм. +4.250...+31.250

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Ширина сечения $b_1 = 20$ см $= 0.2$ 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 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 $N_{sup} = 185$ кН;
- Изгибающий момент , $M_{y,sup} = 7$ кНм

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

$$h_{0x} = h - a_x = 0.18 - 0.03 = 0.15 \text{ м}$$

$$h_{0y} = h - a_y = 0.18 - 0.04 = 0.14 \text{ м}$$

$$h_0 = 0.5\left(h_{0x} + h_{0y}\right) = 0.5(0.15 + 0.14) = 0.145 \text{ м}$$

$$F = N_{sup} = 185 \text{ кН}$$

$$M_y = \frac{M_{y,sup}}{2} = \frac{7}{2} = 3.5 \text{ кНм}$$

$$b = b_1 + h_0 = 0.2 + 0.145 = 0.345 \text{ м}$$

$$a = b_1 + h_0 = 0.2 + 0.145 = 0.345 \text{ м}$$

$$U_b = b + 2a = 0.345 + 2 \cdot 0.345 = 1.035 \text{ м}$$

$$F_{b,ult} = R_{bt}\gamma_b U_b h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 1.035 \cdot 0.145 = 172.59 \text{ кН}$$

$$M_{b,y,ult} = R_{bt}\gamma_b W_{by} h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 5.9513E-002 \cdot 0.145 = 9.92 \text{ кНм}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} = \frac{185}{172.59} = 1.072$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = \frac{3.5}{9.92} = 0.353$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 1.072 + 0.353 = 1.425$$

Коэффициент использования $1.425 > 1$, установка поперечной арматуры требуется

$$U_s = U_b = 1.035 \text{ м}$$

$$q_{sw} = \frac{R_{sw}A_{sw}}{s_w} = \frac{300000 \cdot 9.0478E-004}{0.05} = 5428.67 \text{ кН/м}$$

$$F_{sw,ult} = 0.8 q_{sw} U_s = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 1.035 = 4494.94 \text{ кН}$$

Условие $F_{sw,ult} = 4494.9\text{кН} \geq 0.25F_{b,ult} = 43.1\text{кН}$ выполняется.

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 172.59 + 4494.94 = 4667.53 \text{ кН}$$

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 4667.53 > 2F_{b,ult} = 2 \cdot 172.59 = 345.17 \Rightarrow F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 345.17 \text{ кН}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{185}{345.17} = 0.536$$

$$W_{sw,y} = W_{by} = 5.9513E-002 \text{ м}^2$$

$$M_{sw,y,ult} = 0.8 q_{sw} W_{sw,y} = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 5.9513E-002 = 258.46 \text{ кНм}$$

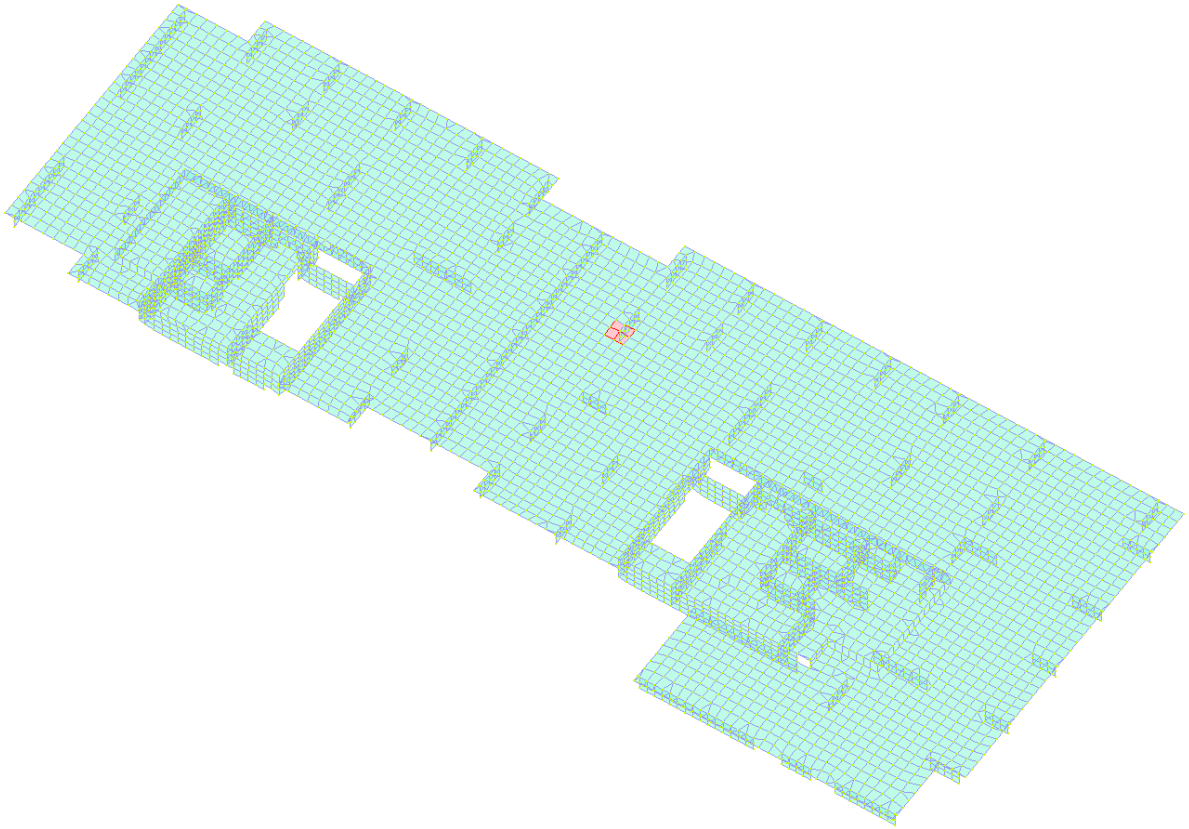
$$M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult} = 9.92 + 258.46 = 268.38 \text{ кНм}$$

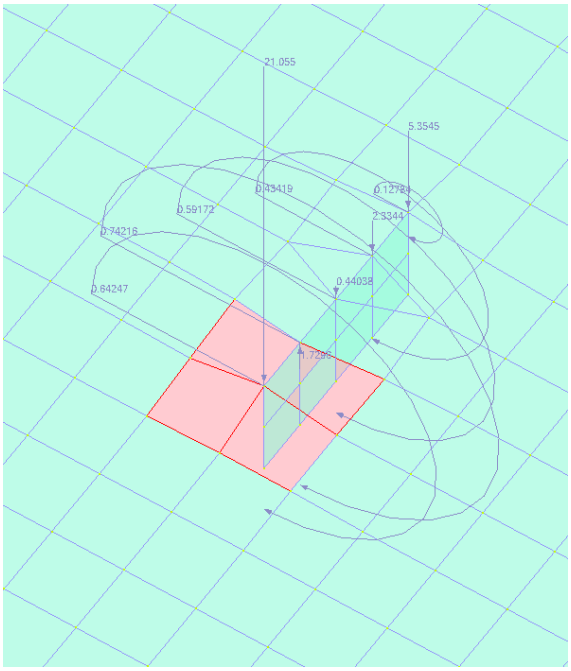
$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{3.5}{19.85} = 0.176$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.536 + 0.176 = 0.712$$

Коэффициент использования составляет $K = 0.712$. Условие прочности выполняется

4.2. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ ОТМ. +33.250





Расчет на продавливание согласно СП 63.13330.2018.

Конструкция - плита, рядовая стена в/о 1.10/1.В на отм. +33.250

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 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 $N_{sup} = 195$ кН;
- Изгибающий момент , $M_{y,sup} = 14$ кНм

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

$$h_{0x} = h - a_x = 0.2 - 0.03 = 0.17 \text{ м}$$

$$h_{0y} = h - a_y = 0.2 - 0.04 = 0.16 \text{ м}$$

$$h_0 = 0.5\left(h_{0x} + h_{0y}\right) = 0.5(0.17 + 0.16) = 0.165 \text{ м}$$

$$F = N_{sup} = 195 \text{ кН}$$

$$M_y = \frac{M_{y,sup}}{2} = \frac{14}{2} = 7 \text{ кНм}$$

$$b = b_1 + h_0 = 0.2 + 0.165 = 0.365 \text{ м}$$

$$a = b_1 + h_0 = 0.2 + 0.165 = 0.365 \text{ м}$$

$$U_b = b + 2a = 0.365 + 2 \cdot 0.365 = 1.095 \text{ м}$$

$$F_{b,ult} = R_{bt}\gamma_b U_b h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 1.095 \cdot 0.165 = 207.78 \text{ кН}$$

$$M_{b,y,ult} = R_{bt}\gamma_b W_{by} h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 6.6613E-002 \cdot 0.165 = 12.64 \text{ кНм}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} = \frac{195}{207.78} = 0.939$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = \frac{7}{12.64} = 0.554$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 0.939 + 0.469 = 1.408$$

Коэффициент использования $1.408 > 1$, установка поперечной арматуры требуется

$$U_s = U_b = 1.095 \text{ м}$$

$$q_{sw} = \frac{R_{sw}A_{sw}}{s_w} = \frac{300000 \cdot 9.0478E-004}{0.05} = 5428.67 \text{ кН/м}$$

$$F_{sw,ult} = 0.8 q_{sw} U_s = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 1.095 = 4755.52 \text{ кН}$$

Условие $F_{sw,ult} = 4755.5\text{кН} \geq 0.25F_{b,ult} = 51.9\text{кН}$ выполняется.

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 207.78 + 4755.52 = 4963.29 \text{ кН}$$

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 4963.29 > 2F_{b,ult} = 2 \cdot 207.78 = 415.55 \Rightarrow F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 415.55 \text{ кН}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{195}{415.55} = 0.469$$

$$W_{sw,y} = W_{by} = 6.6613E-002 \text{ м}^2$$

$$M_{sw,y,ult} = 0.8 q_{sw} W_{sw,y} = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 6.6613E-002 = 289.29 \text{ кНм}$$

$$M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult} = 12.64 + 289.29 = 301.93 \text{ кНм}$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{7}{25.28} = 0.277$$

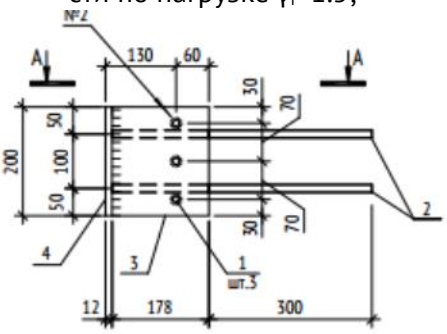
$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.469 + 0.235 = 0.704$$

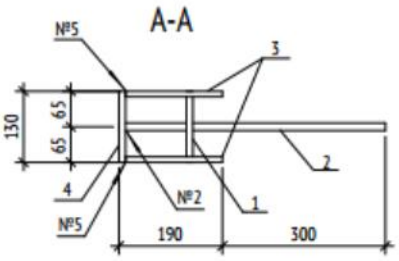
Коэффициент использования составляет $K = 0.704$. Условие прочности выполняется

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:

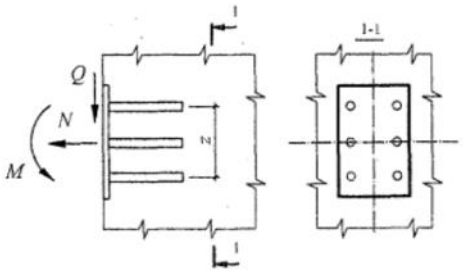
- На краю панели в пилонах и стенах N=1.3 т.с без учёта коэффициента надёжности по нагрузке γ_f=1.5, моментная составляющая 0.13 тм без учёта коэффициента надёжности по нагрузке γ_f=1.5;





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

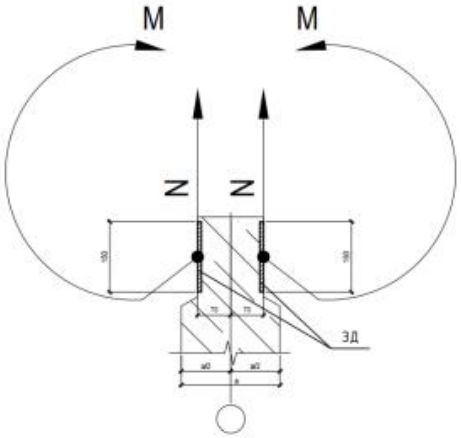
Расчетное сопротивление стали на срез(по СП 16.13330):

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

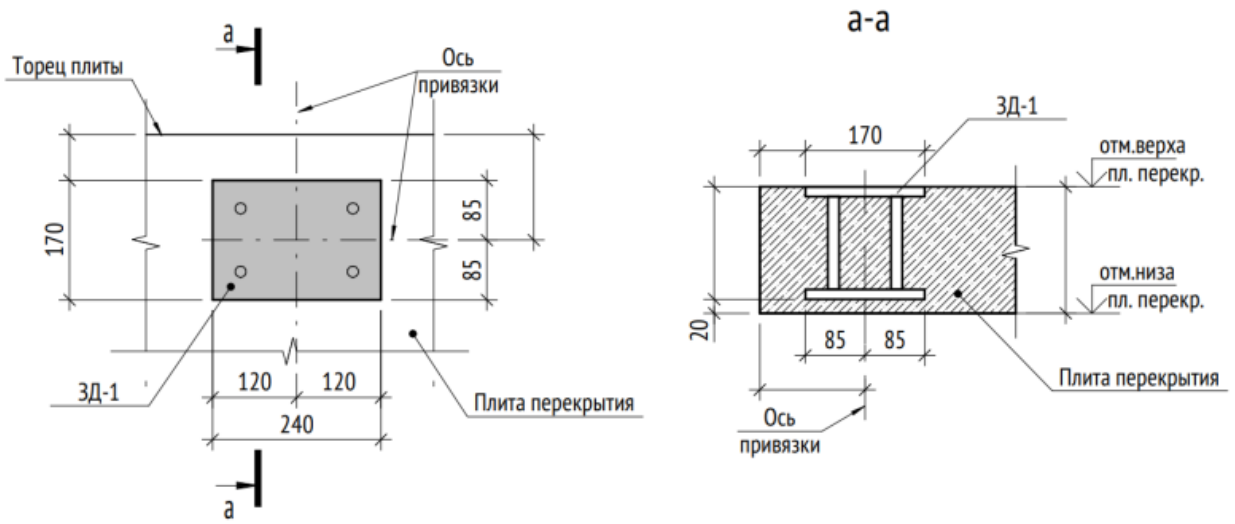
$$t \geq 0,25d_{an}\frac{R_s}{R_{sq}} = 0.87 \text{ см}$$

Проверочный расчёт закладной детали в перекрытии

Исходные данные:

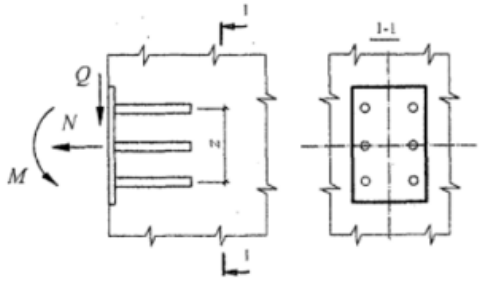
Расчётная нагрузка на панели с пролётом в осях 7м с учётом пиковой ветровой нагрузки для проектирования закладных деталей на пилонах и стенах, в перекрытиях для навесных панелей с применёнными узлами равна:

- 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

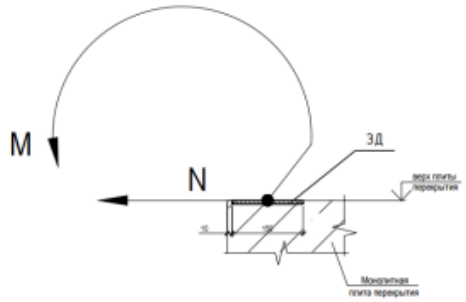
Расчетное сопротивление стали на срез(по СП 16.13330):

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

$$\varphi = \frac{4,75\sqrt[3]{R_b}}{(1 + 0,15A_{an1})\sqrt{R_s}}\overline{\beta} = 0.5$$

$$\varphi_1 = \frac{1}{\sqrt{1+\omega}} = 0.25$$

-толщина пластины закладной детали

$$t \geq 0,25 d_{an}\frac{R_s}{R_{sq}} = 0.82 \text{ см}$$

6. ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТОВ

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА КОРПУСА 1 СЕКЦИЯ 2-3

№ П/П	ПОКАЗАТЕЛЬ	ЗНАЧЕНИЕ ПОЛУЧЕННОЕ ПО РАСЧЕТУ	ПРЕДЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ	ПРИМЕЧАНИЕ
1	Средняя осадка фундаментной плиты отм. −7.200, мм	39.6	150	СП 22.13330.2016, прил. Г, табл. Г.1
2	Среднее давление под подошвой фундамента, т/м2	22.5	-	
3	Расчетное сопротивление грунта, т/м2	74.9	-	СП 22.13330.2016, п. 5.6.7
4	Относительная разность осадок фундамента, $\Delta s/L$	0.0012	0.003	СП 22.13330.2016, прил. Г, табл. Г.1
5	Максимальный прогиб плиты перекрытия толщ. 200мм в/о 1.5-1.9/1.Б-1.Д на отм -0.750, -0.250, -0.100, мм	7.6	5850/200=29.25	СП 20.13330.2016, табл. Д.1, п. 2
6	Максимальный прогиб плиты перекрытия толщ. 180мм в/о 1.2-1.3/1.А отм. +4.250, +7.250, +10.250, +13.250, +16.250, +19.250, +22.250, +25.250, +26.900, +28.250, +31.250, мм	10.5	5650/200=28.25	СП 20.13330.2016, табл. Д.1, п. 2
7	Максимальный прогиб плиты покрытия толщ. 200мм в/о 1.2-1.3/1.А на отм. +33,250, мм	13.3	5650/200=28.25	СП 20.13330.2016, табл. Д.1, п. 2
8	Горизонтальное перемещение верха здания по оси X, мм	21.0	40250/500=80.5	СП 20.13330.2016, табл. Д.4, п. 1
9	Горизонтальное перемещение верха здания по оси Y, мм	56.8	40250/500=80.5	СП 20.13330.2016, табл. Д.4, п. 1
10	Максимальное ускорение верхнего этажа по оси X, м/с2	0.014	0.08	СП 20.13330.2016, В.3
11	Максимальное ускорение верхнего этажа по оси Y, м/с2	0.043	0.08	СП 20.13330.2016, В.3

12	Максимальный коэффициент использования сечения фундаментной плиты в/о 1.3/1.Д отм. −7.200 при расчете на продавливание (с учетом поперечной арматуры)	0.968
13	Максимальный коэффициент использования сечения фундаментной плиты в/о 1.9/1.В-1.Д на отм. -7.200 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)	0.933
14	Максимальный коэффициент использования сечения плиты перекрытия толщ. 200мм в/о 1.16-1.17/1.Ж-1.И на отм. -0.750, -0.250, -0.100 при расчете на продавливание (с учетом поперечной арматуры)	0.656
15	Максимальный коэффициент использования сечения плиты толщ. 200мм в/о 1.5-1.9/1.В-1.Д на отм. -0.100 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)	0.863
16	Максимальный коэффициент использования сечения плиты перекрытия толщ. 180мм в/о 1.3/1.И отм. +4.250…+31.250 при расчете на продавливание (с учетом поперечной арматуры)	0.712
17	Максимальный коэффициент использования сечения плиты толщ. 180мм в/о в/о 1.2-1.3/1.А на отм. +4.250…+31.250 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)	0.783
18	Максимальный коэффициент использования сечения плиты покрытия толщ. 200мм в/о 1.10/1.В на отм. +33.250 при расчете на продавливание (с учетом поперечной арматуры)	0.704
19	Максимальный коэффициент использования сечения плиты толщ. 200мм в/о 1.2-1.3/1.А на отм. +33.250 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)	0.968
20	Максимальный коэффициент использования стен в/о 1.11/1.Д-1.В на отм. -7.200 толщиной 250мм (по критическому фактору)	0.85
21	Максимальный коэффициент использования наружной стены подвала в/о 1.2-1.3/1.А на отм. -7.200 толщиной 250мм (по критическому фактору)	0.78
22	Максимальный коэффициент использования стен в/о 1.12/1.И-1.К на отм. -7.200 толщиной 220мм (по критическому фактору)	0.89
23	Максимальный коэффициент использования стен в/о 1.4/1.К-1.Л на отм. -7.200 толщиной 200мм (по критическому фактору)	0.88

24	Максимальный коэффициент использования стен в/о 1.15/1.А-1.Б на отм. -0.750 толщиной 250мм (по критическому фактору)	0.76
25	Максимальный коэффициент использования стен в/о 1.12/1.А-1.Б на отм. -0.250 толщиной 220мм (по критическому фактору)	0.62
26	Максимальный коэффициент использования стен в/о 1.14-1.15/1.Е-1.Ж на отм. -0.750 толщиной 200мм (по критическому фактору)	0.62
27	Коэффициент использования стен в/о 1.17/1.А-1.Б на отм. +4.250...+31.250 толщиной 220мм (по критическому фактору)	0.66
28	Коэффициент использования стен в/о 1.10-1.11/1.Е на отм. +4.250...+31.250 толщиной 200мм (по критическому фактору)	0.67

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.