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 4

17-0121-ОК-1-П-КР4.4

Том 4.4.4

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 4

17-0121-ОК-1-П-КР4.4

Том 4.4.4

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 4

17-0121-ОК-1-П-КР4.4
Том 4.4.4

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 4

17-0121-ОК-1-П-КР
4.4 Том 4.4.4

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

Главный инженер проекта — Першин Н.Н.

2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. РАСЧЕТ КОРПУСА К1 СЕК.4 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. -0.100 (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, +34.250, +37.250, +40.250, +43.250, +46.250, +49.250, +52.250, +55.250, +58.250, +61.250, +64.250, +67.250, +70.250 (ТИПОВОЙ ЭТАЖ) 66

2.3. РАСЧЕТ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ НА ОТМ. +72.250 77

3. РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ОТМ. -7.200 88

3.1. РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ОТМ. -0.100 112

3.2. РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ОТМ. +4.250 131

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

4.1. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПЛИТЫ НА ОТМ. -0.100 148

4.2. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ТИПОВОЙ ПЛИТЫ С ОТМ. +4.250...+70.250 151

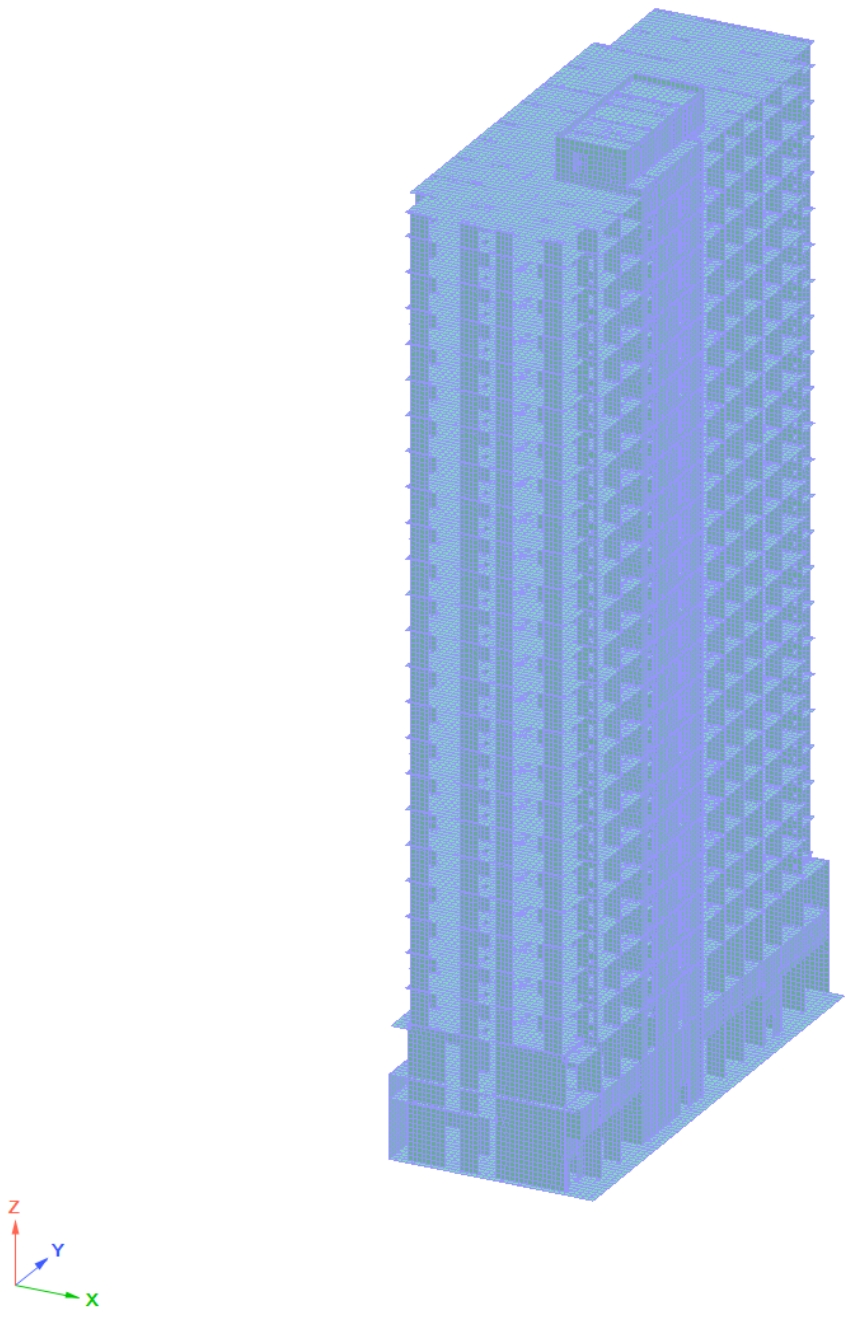
4.3. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ ОТМ. +72.250 154

5. РАСЧЕТ ЗАКЛАДНОЙ ДЕТАЛИ 157

6. ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТОВ 161

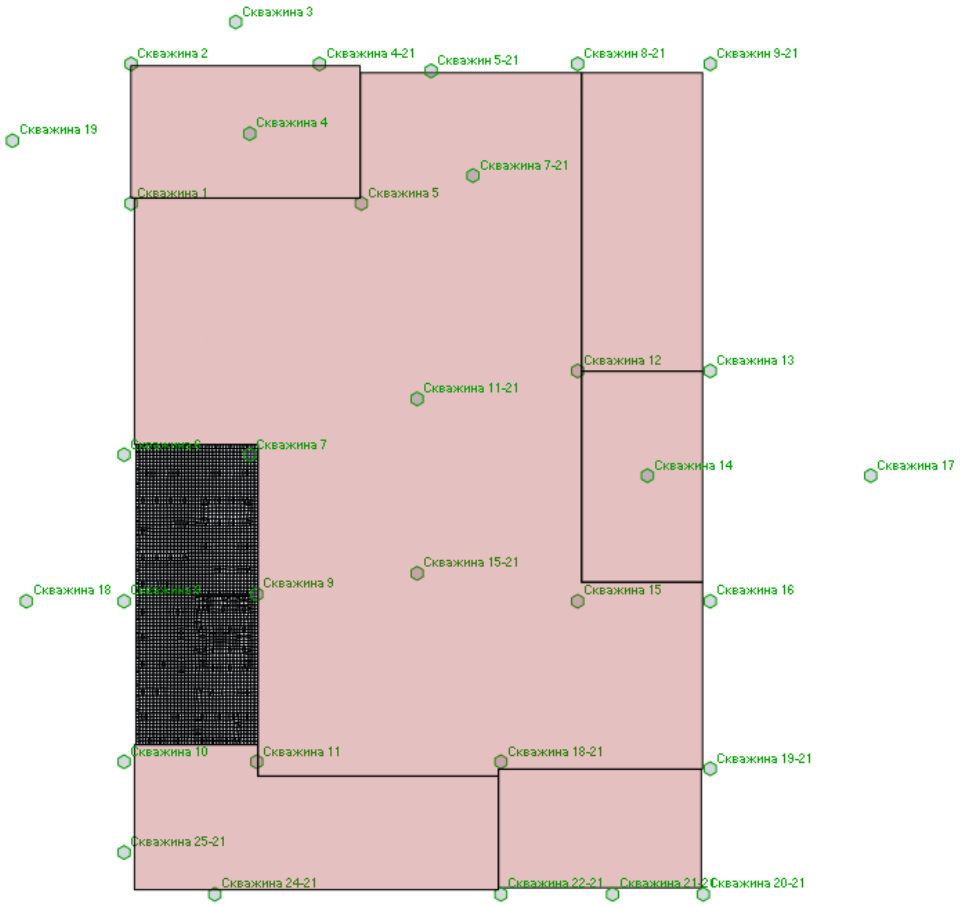
1. РАСЧЕТ КОРПУСА К1 сек.4

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)

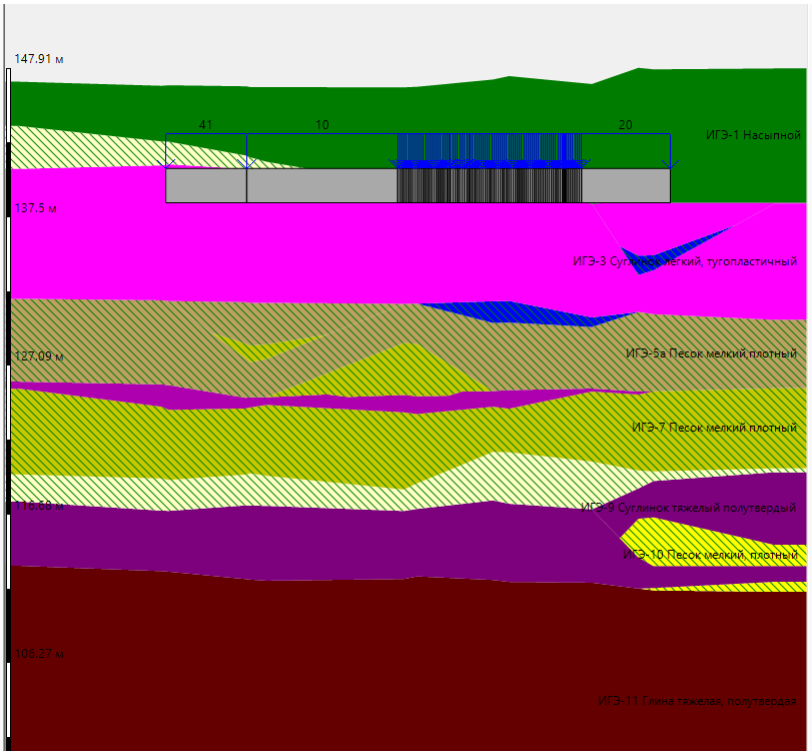


Общий вид здания

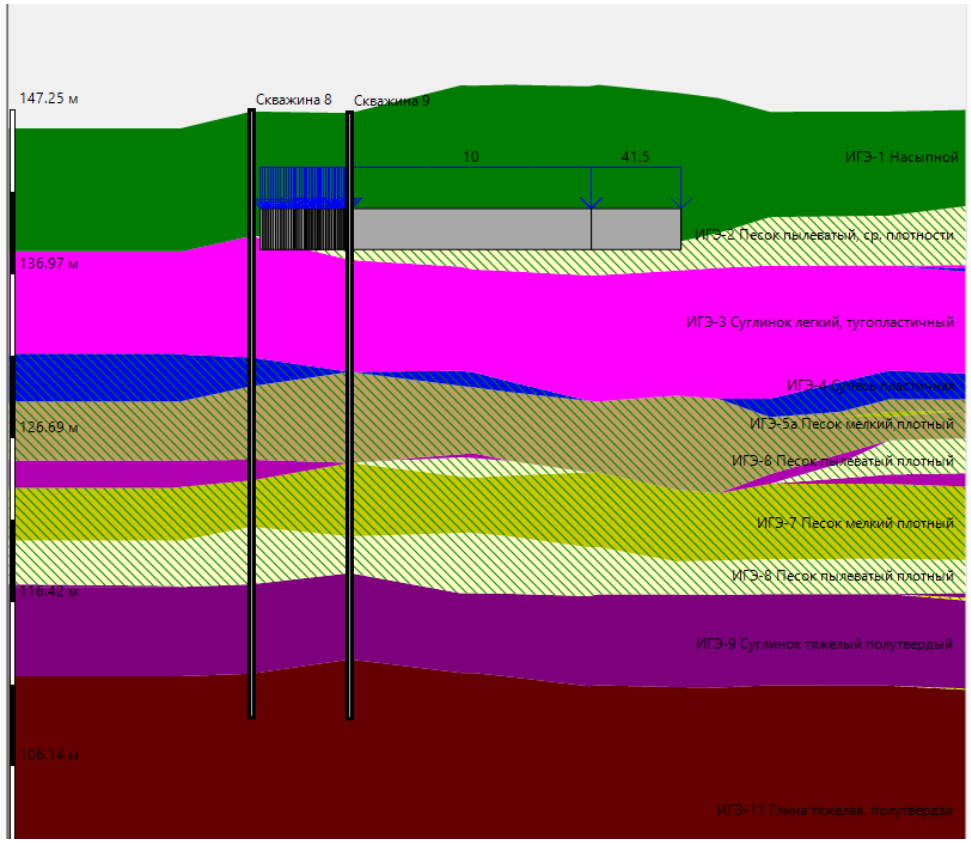
1.1. ПОСАДКА НА ГЕОЛОГИЮ



План скважин



Разрез по скв. 6/10

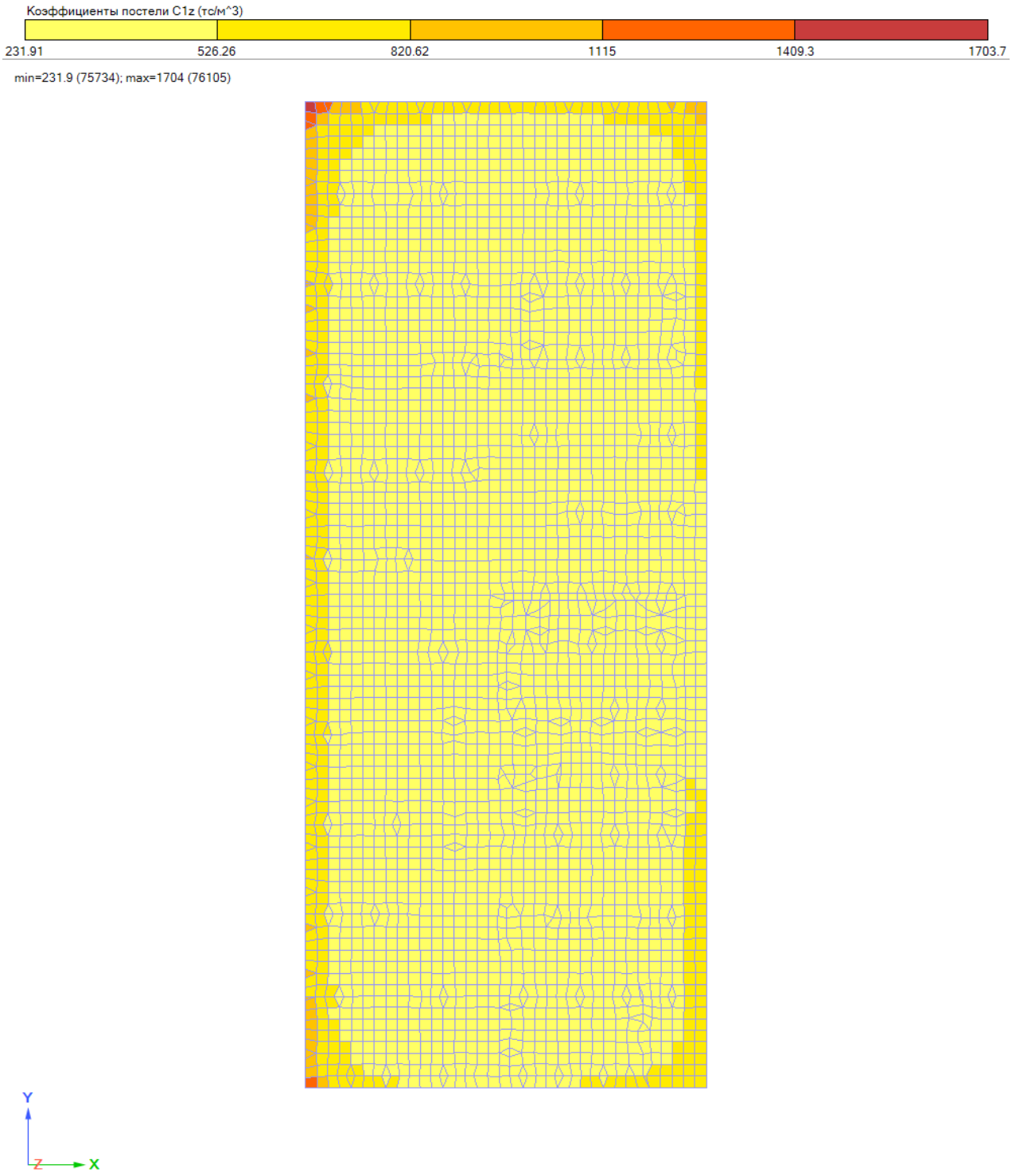


Разрез по скв. 6/9

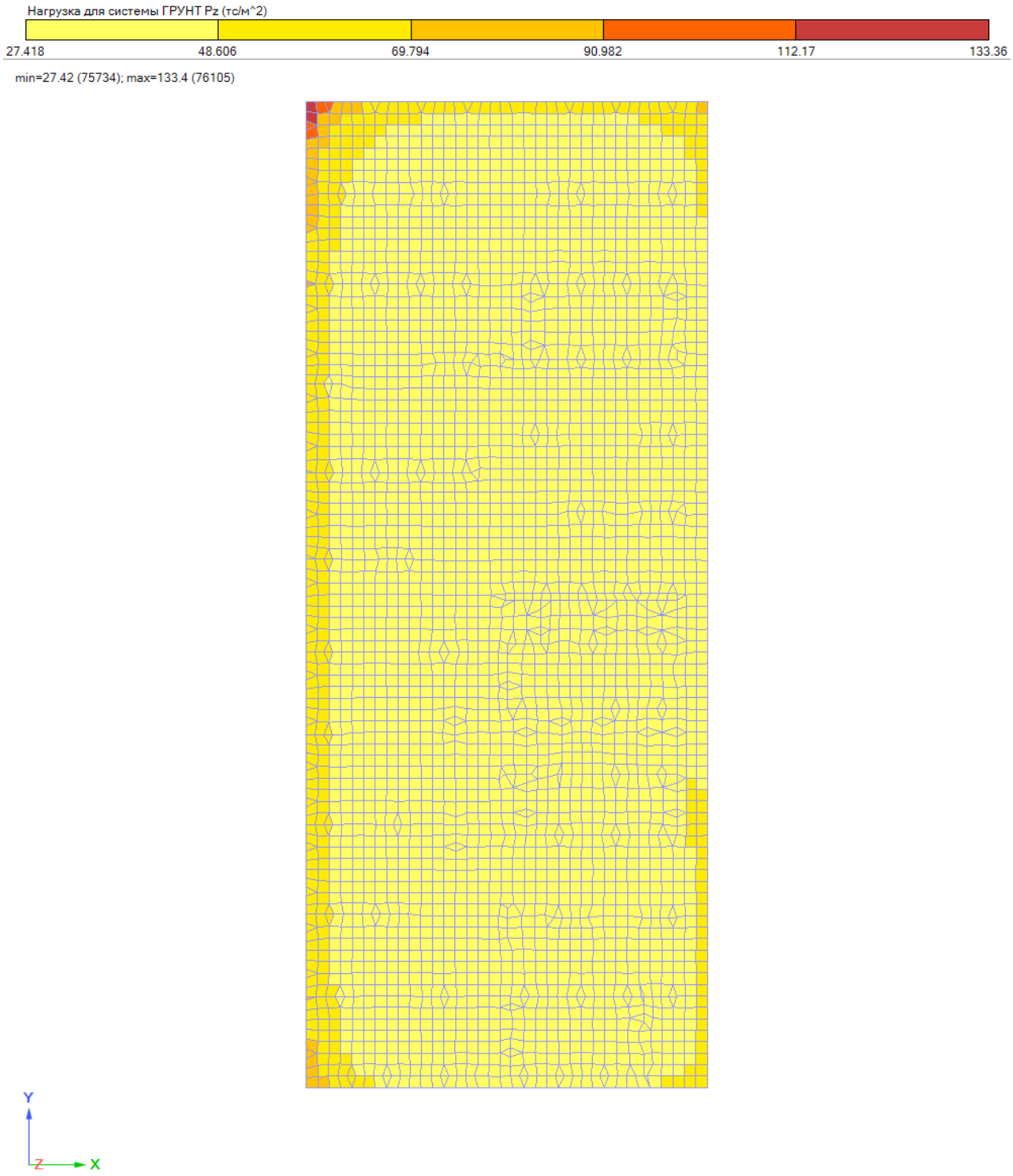
№	Усл. обозн	Наименование грунта	Насыпной грунт	Цвет	Модуль деформации, тс/м^2	Коэффициент Пуассона	Удельный вес грунта, тс/м^3		Коэффициент перехода ко 2 модулю деформации	Природная влажность, д.е.	Показатель текучести	Вода	Коэффициент пористости	Удельное сцепление, тс/м^2		Угол внутреннего трения,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

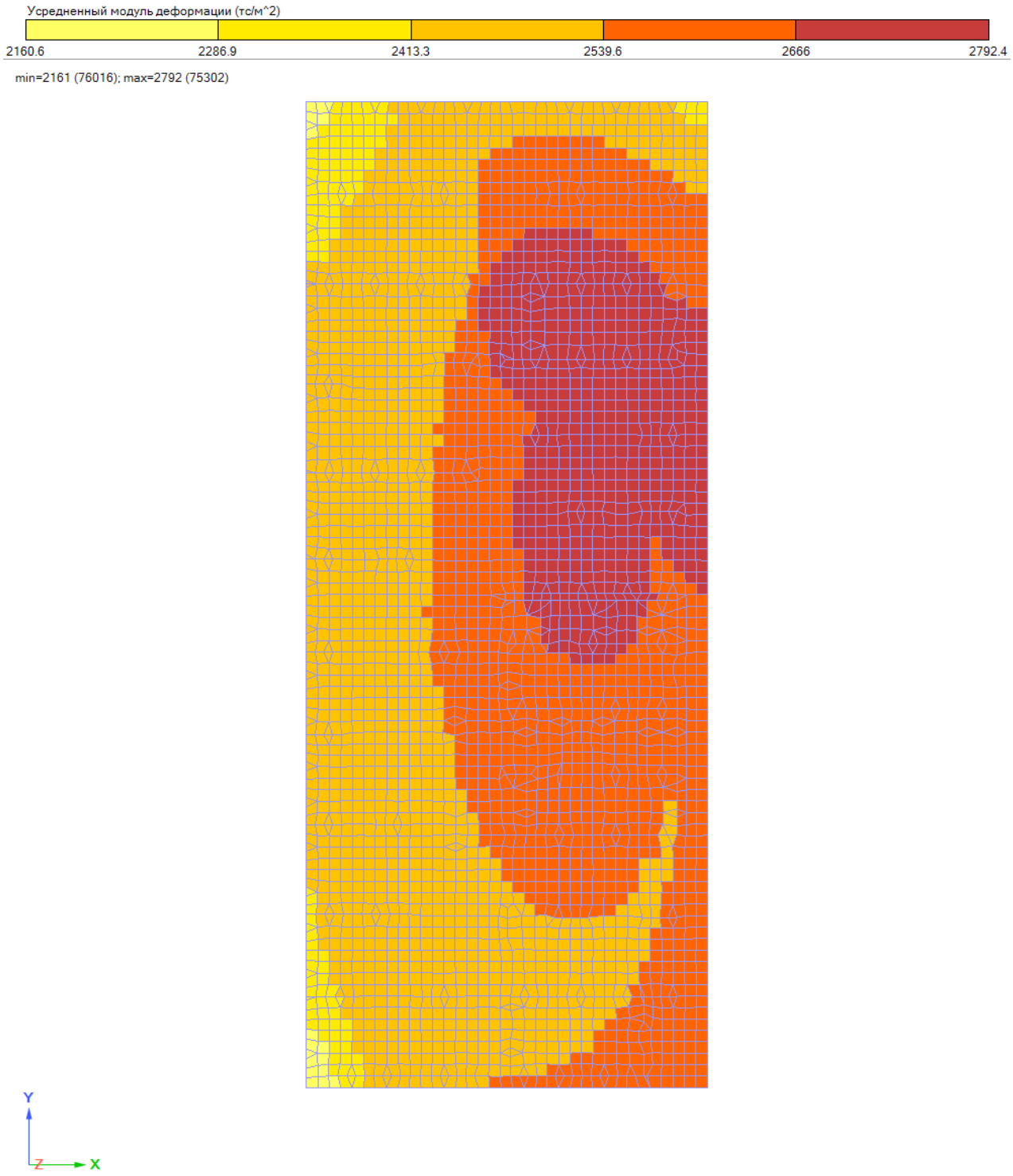
1.2. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОСТЕЛИ, ОСАДКИ, ГЛУБИНЫ СЖИМАЕМОЙ ТОЛЩИ, РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА



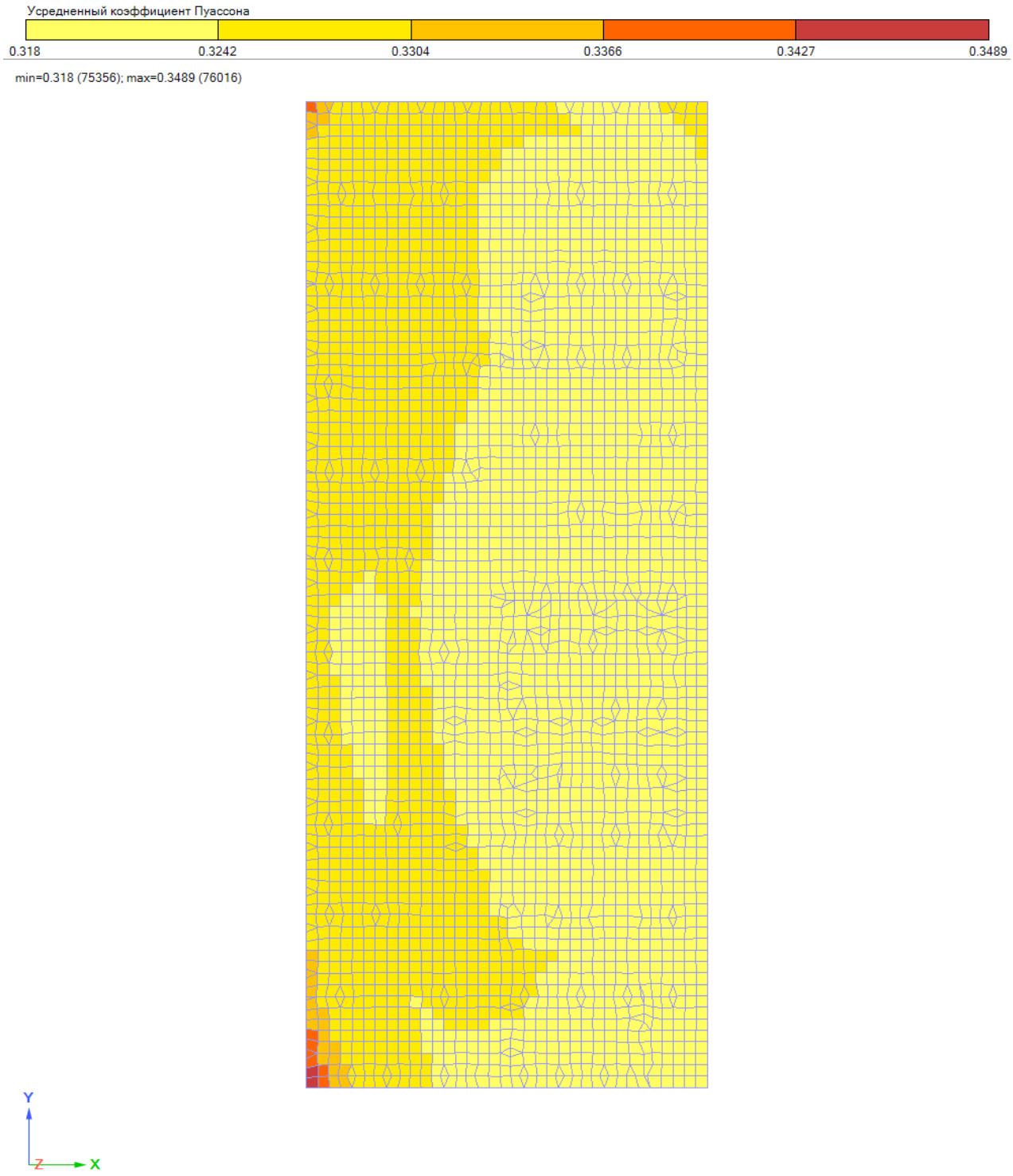
Коэффициенты постели С1 (тс/м3)



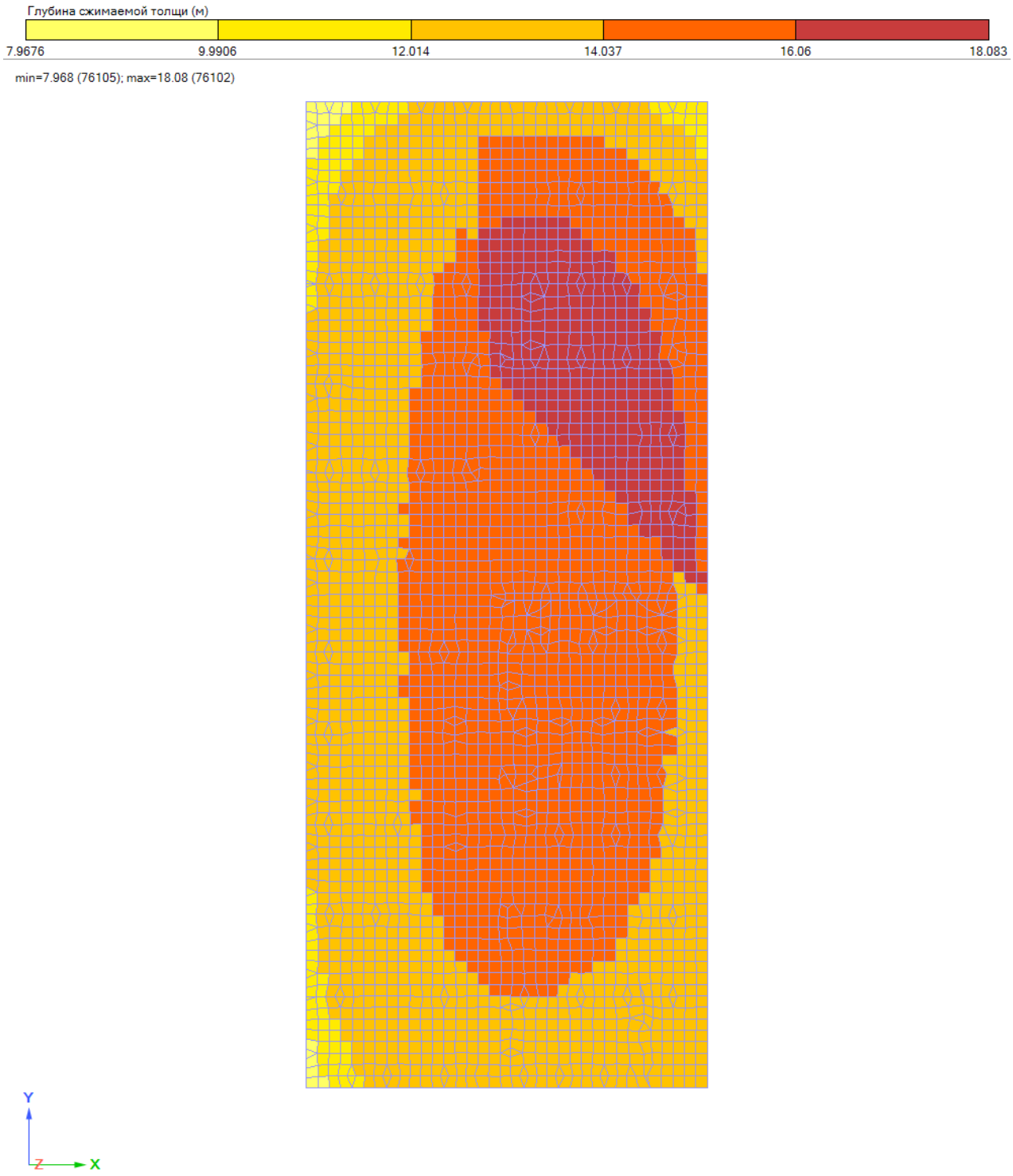
Нагрузка Pz (тс/м2)



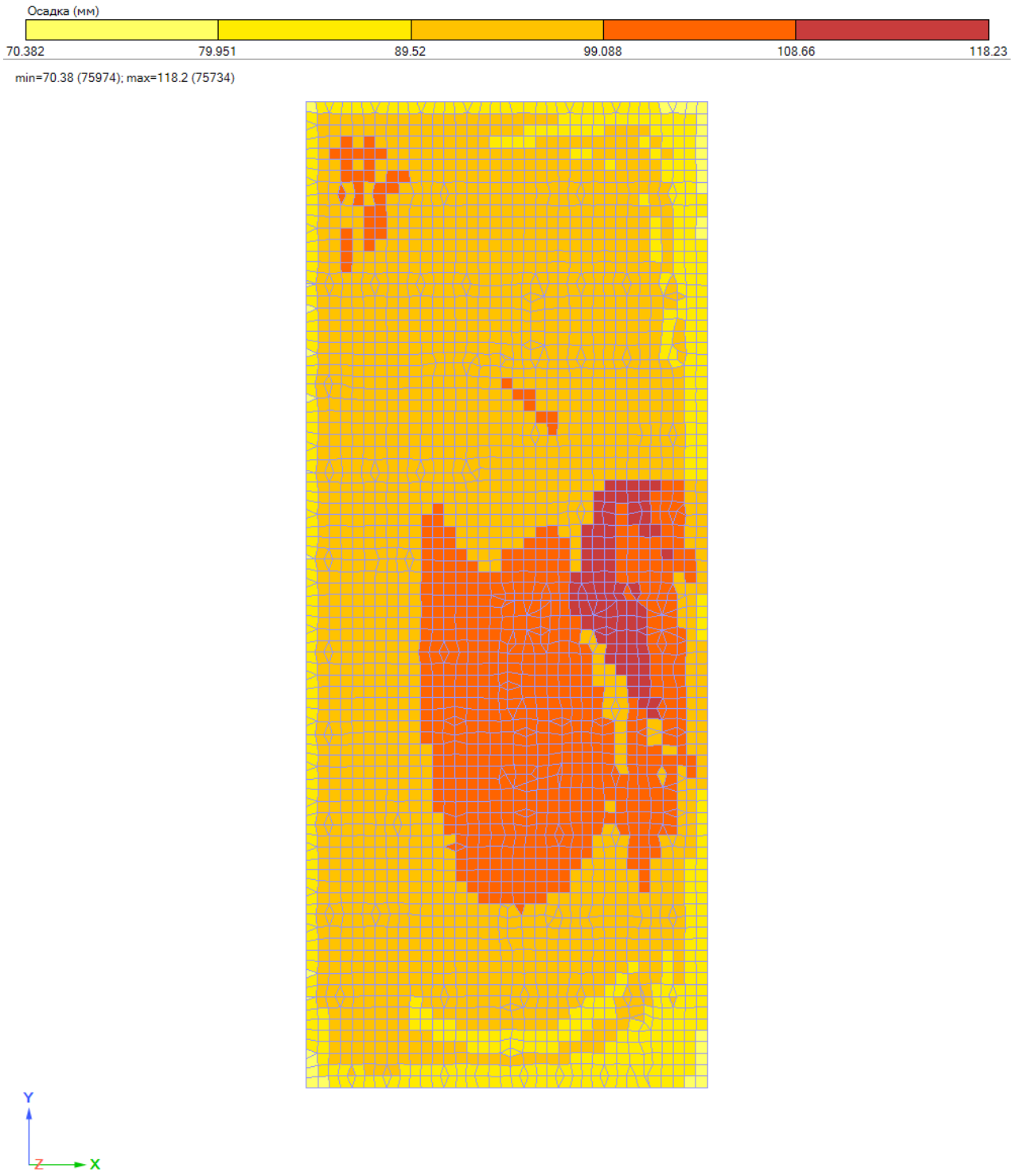
Усредненный модуль деформации (тс/м2)



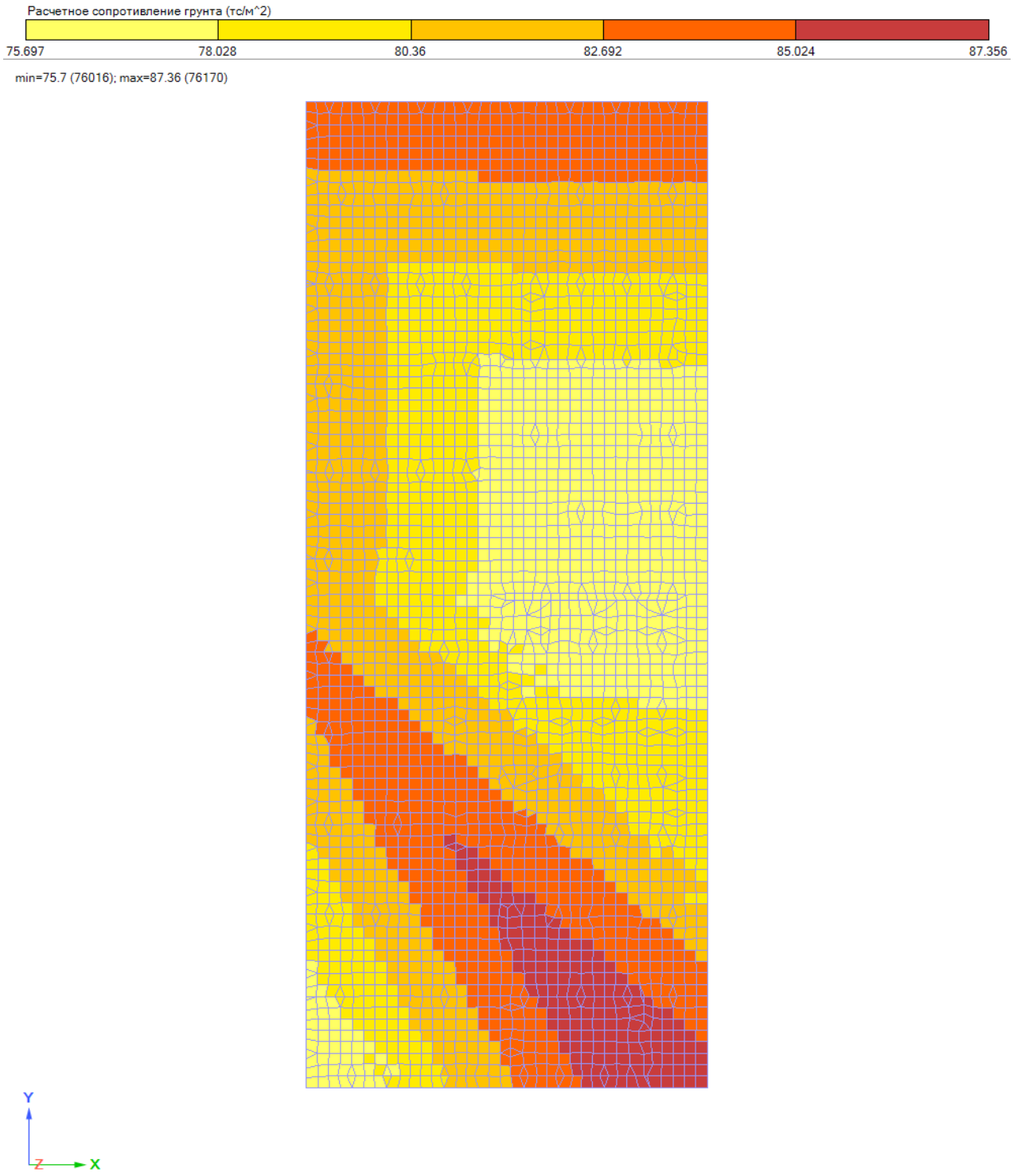
Усредненный коэффициент Пуассона



Глубина сжимаемой толщи (м)

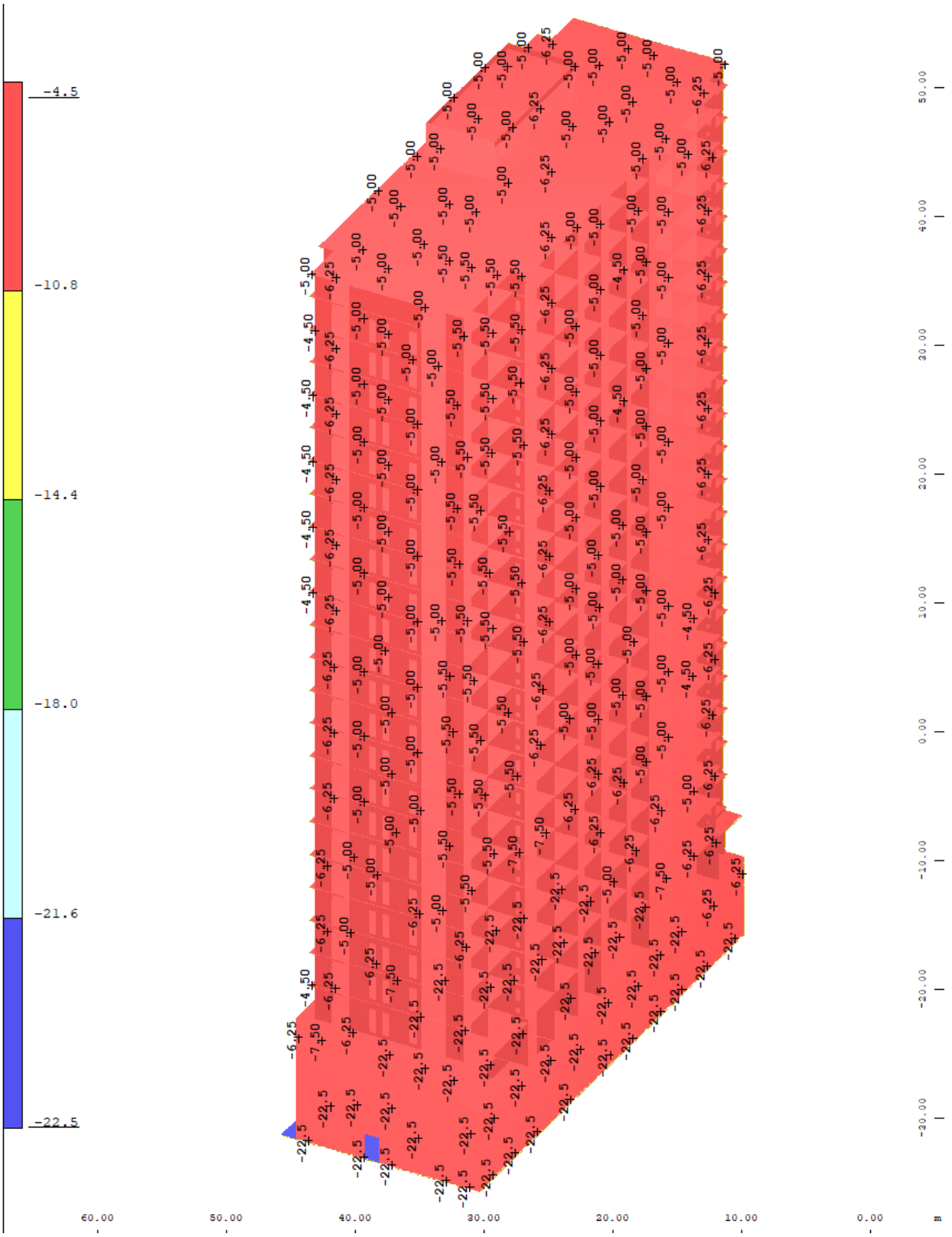

Осадка (мм)
70.382
79.951
89.52
99.088
108.66
118.23
min=70.38 (75974); max=118.2 (75734)
Y
Z
X

Осадка (мм)

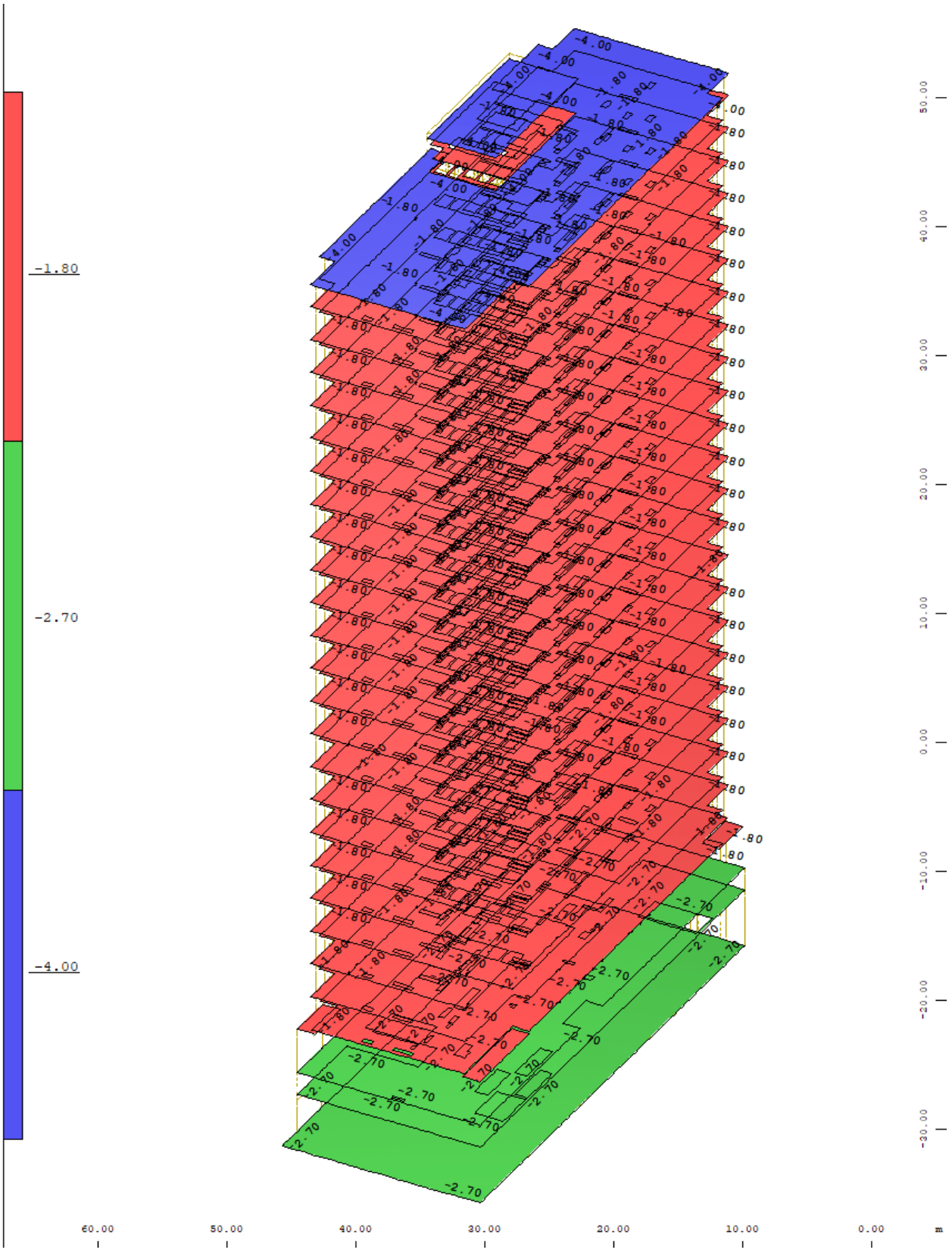


Расчетное сопротивление грунта R (тс/м2)

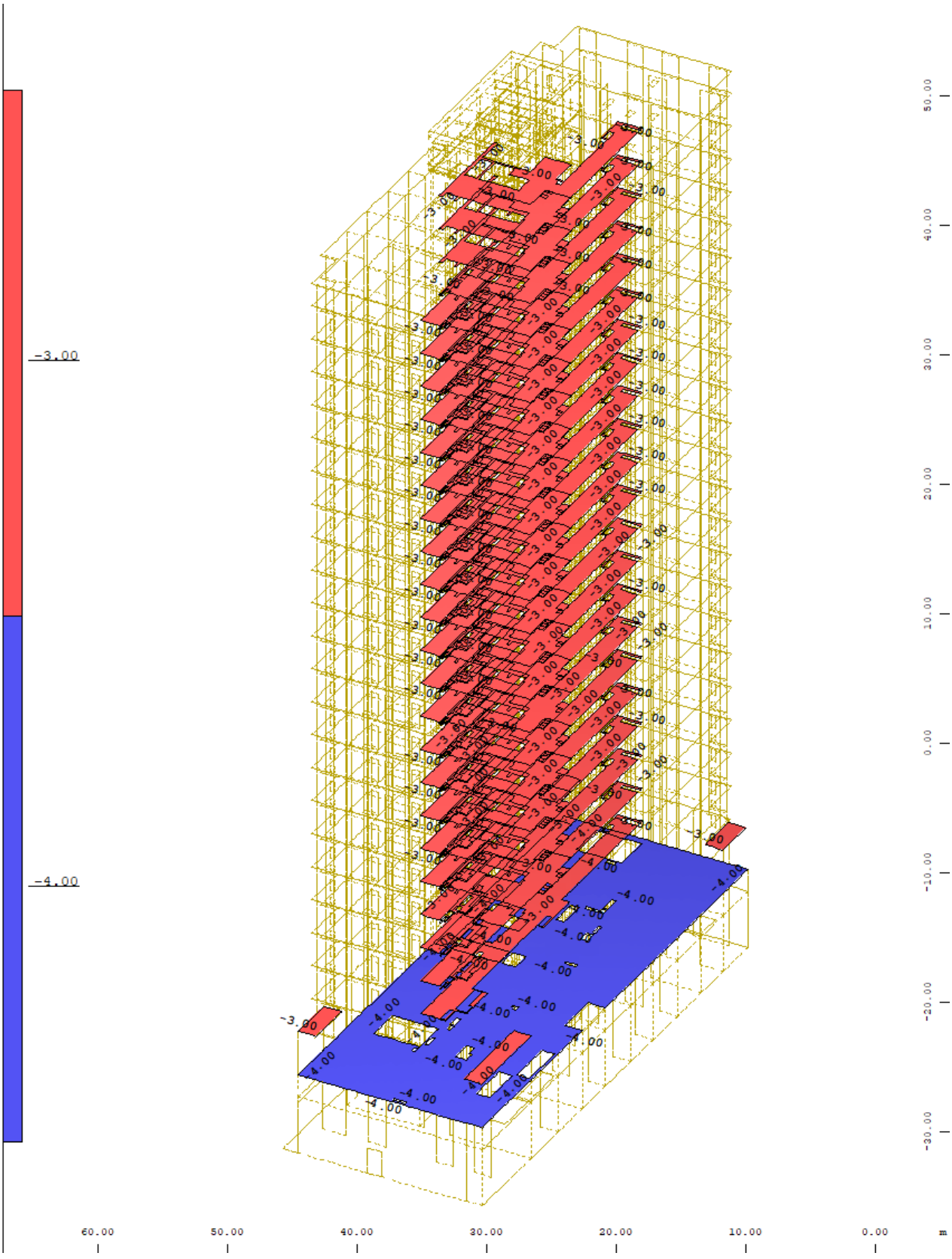
1.3. НАГРУЗКИ НА МОДЕЛЬ, КОЭФФИЦИЕНТЫ РСУ И РСН



Нормативная нагрузка от собственного веса, кН/м2

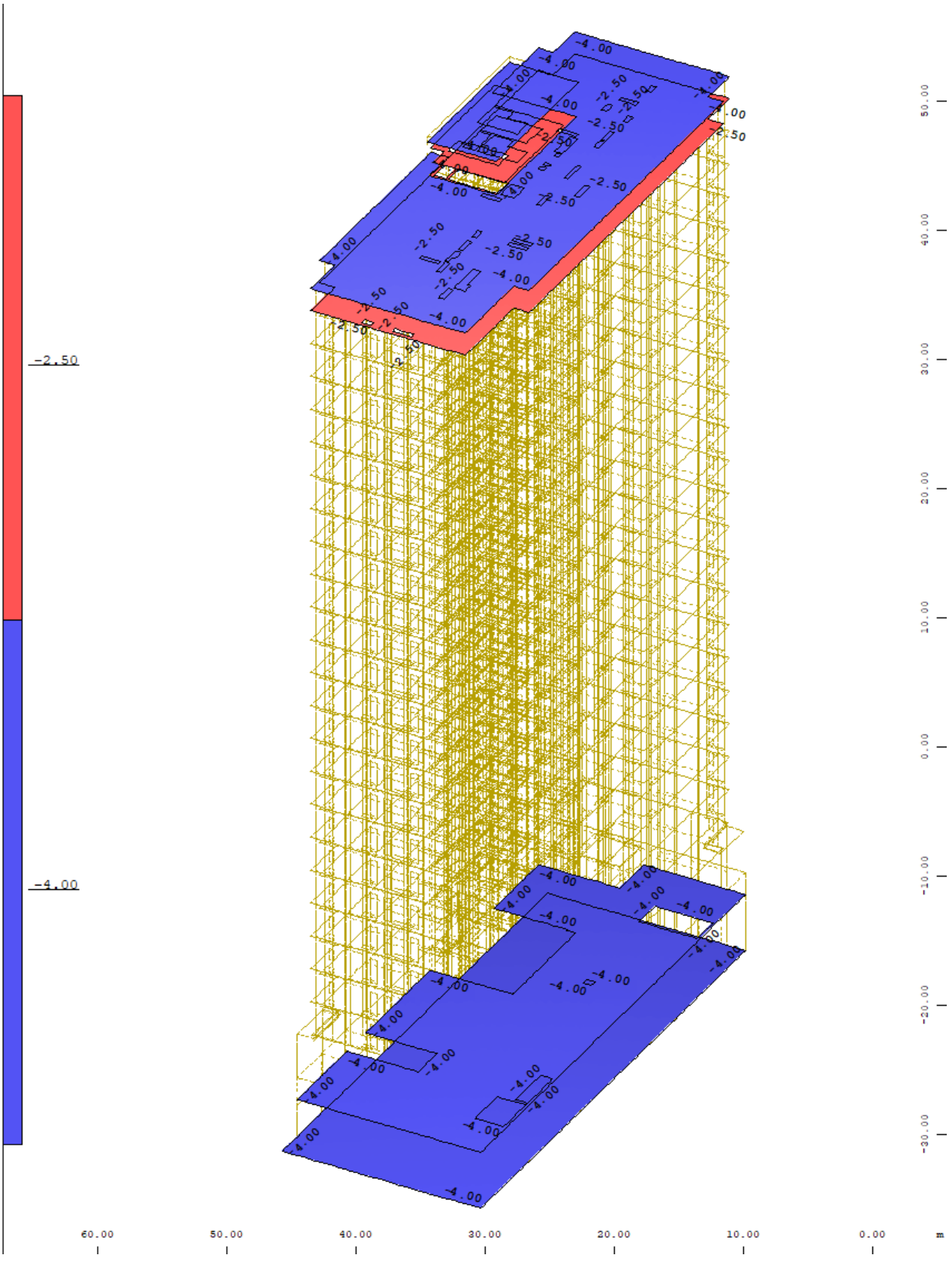


Нормативна нагрузка от полов, кровли кН/м2



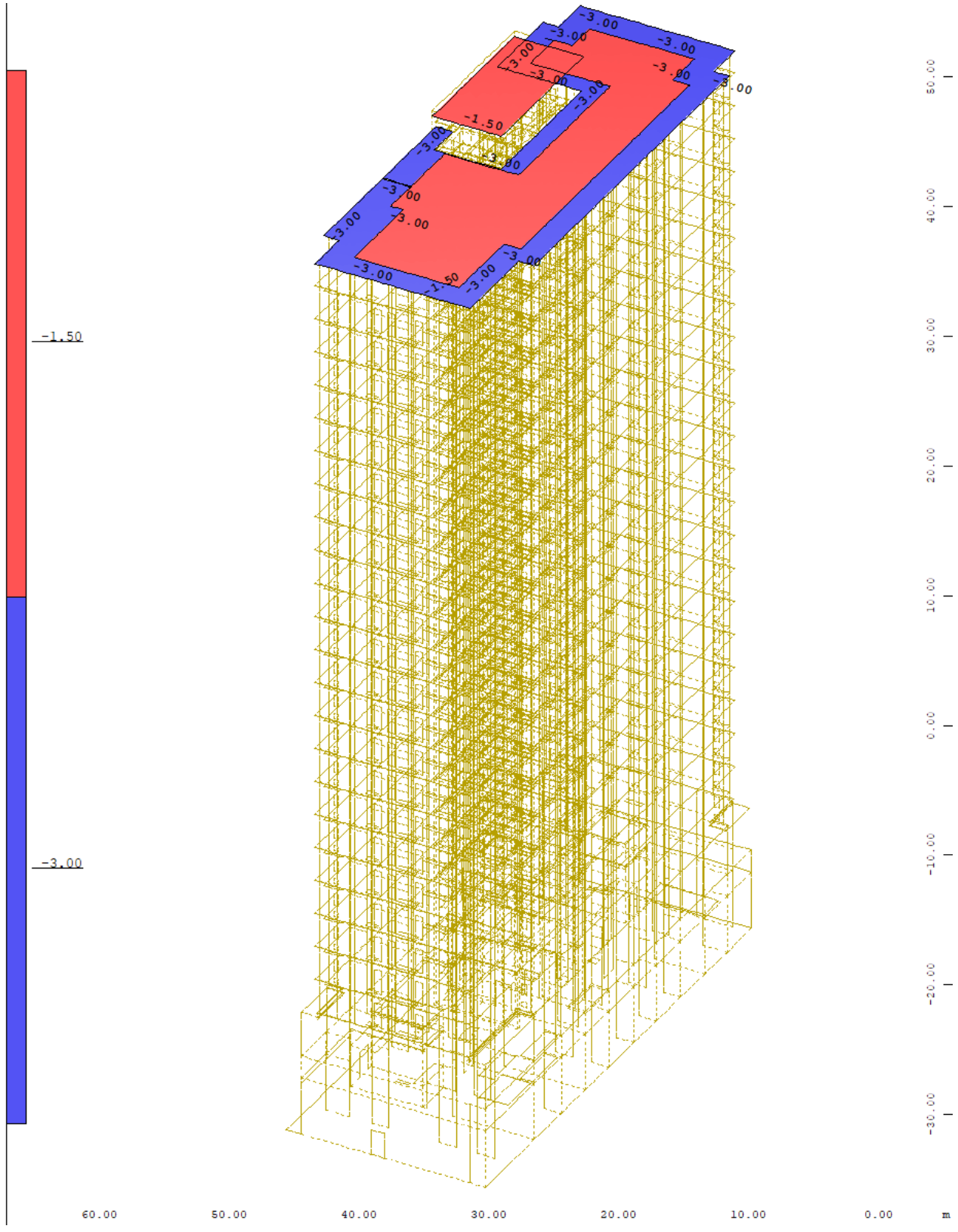
Нормативная нагрузка от коридоров, кН/м2

						17-0121-ОК-1-П-КР4.4	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		14

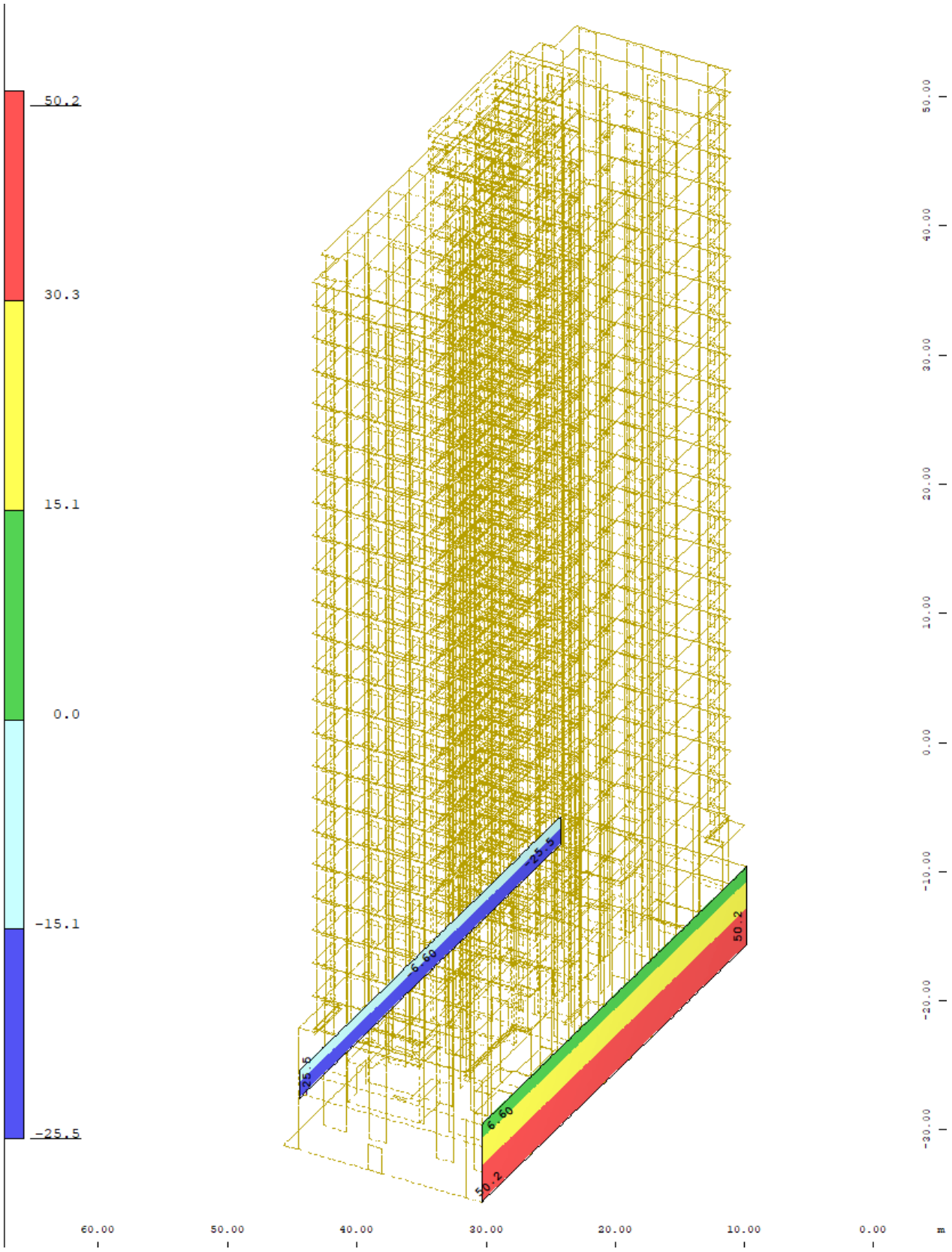


Нормативная нагрузка от оборудования, кН/м2

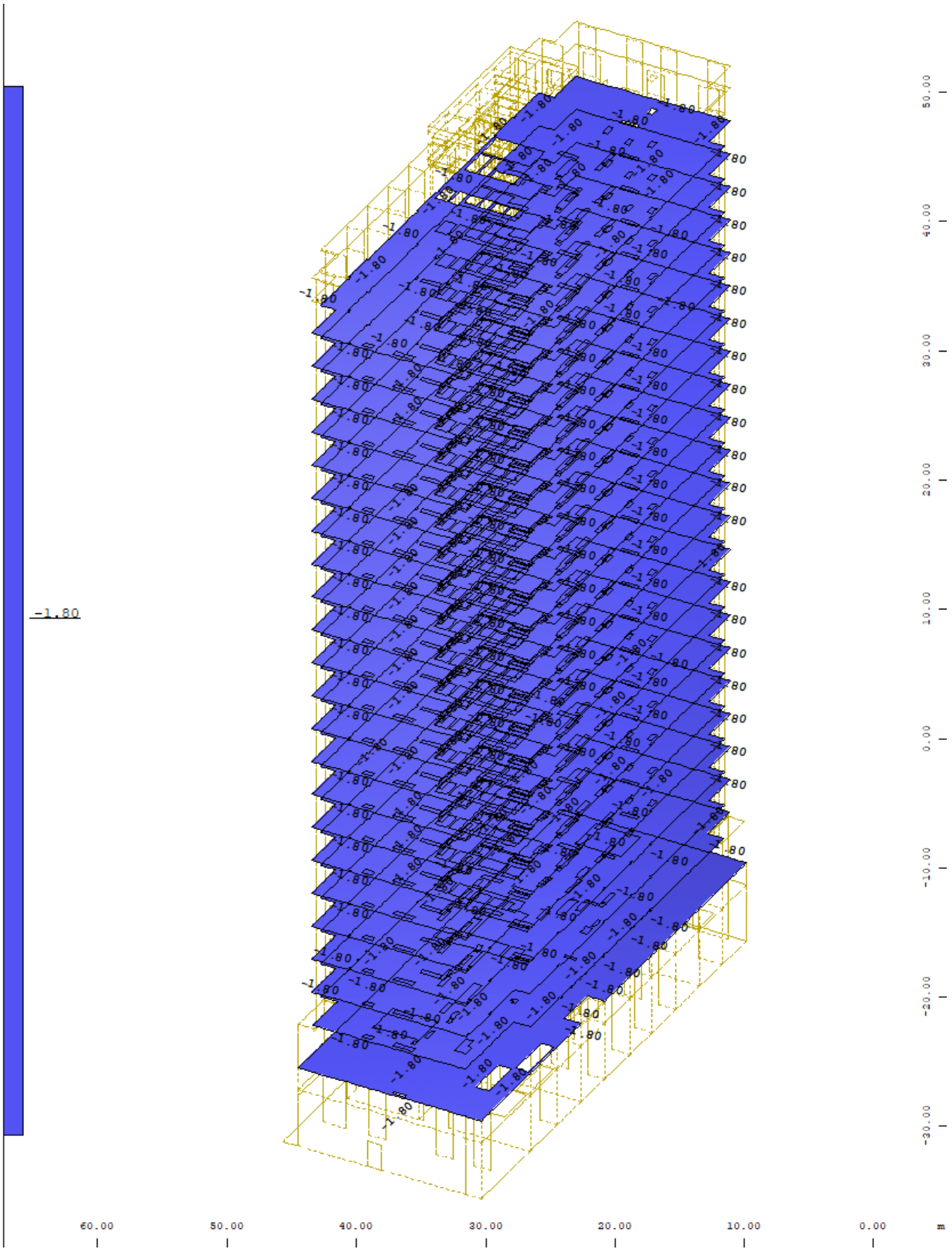
						17-0121-ОК-1-П-КР4.4	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		15



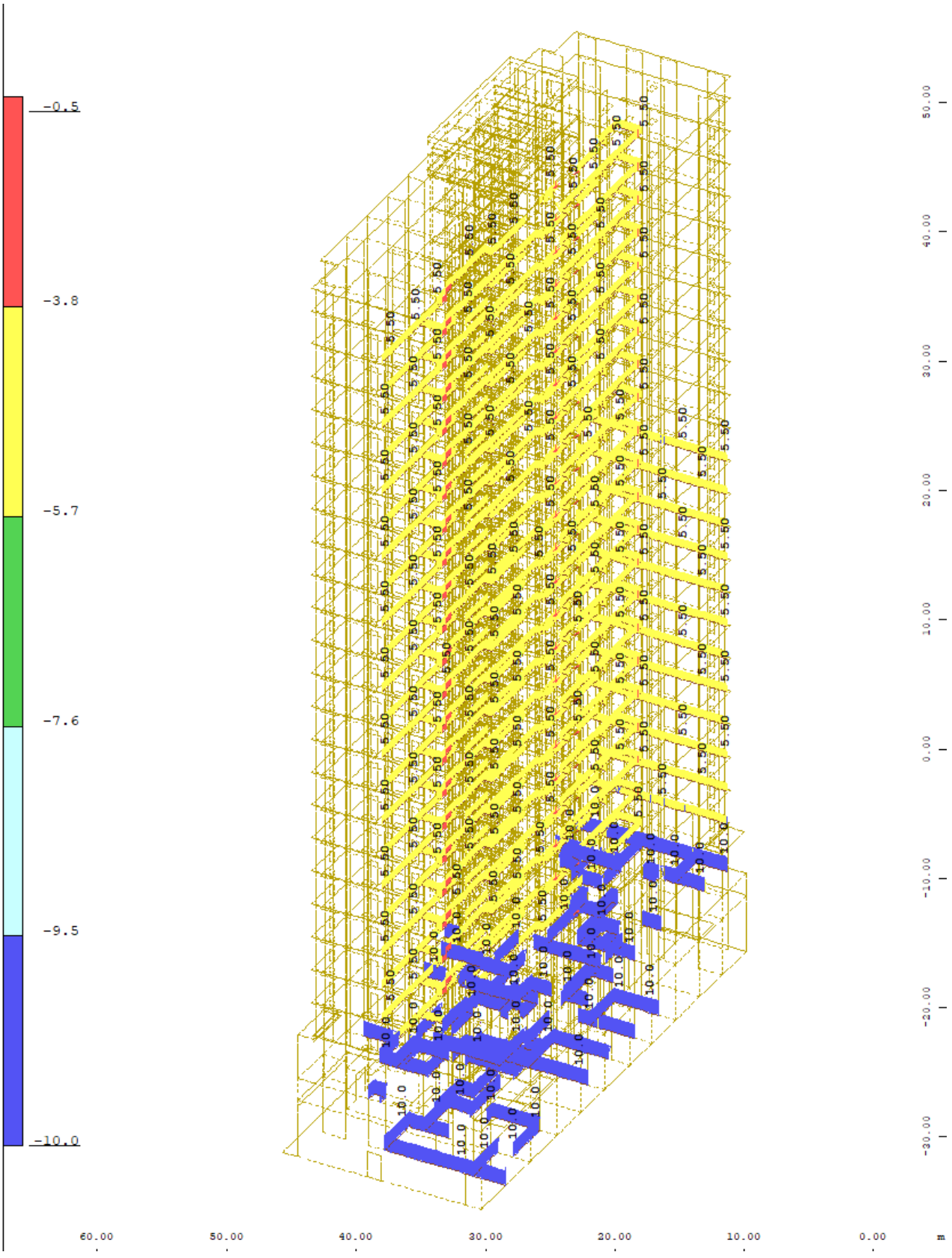
Нормативна нагрузка от снега, кН/м2



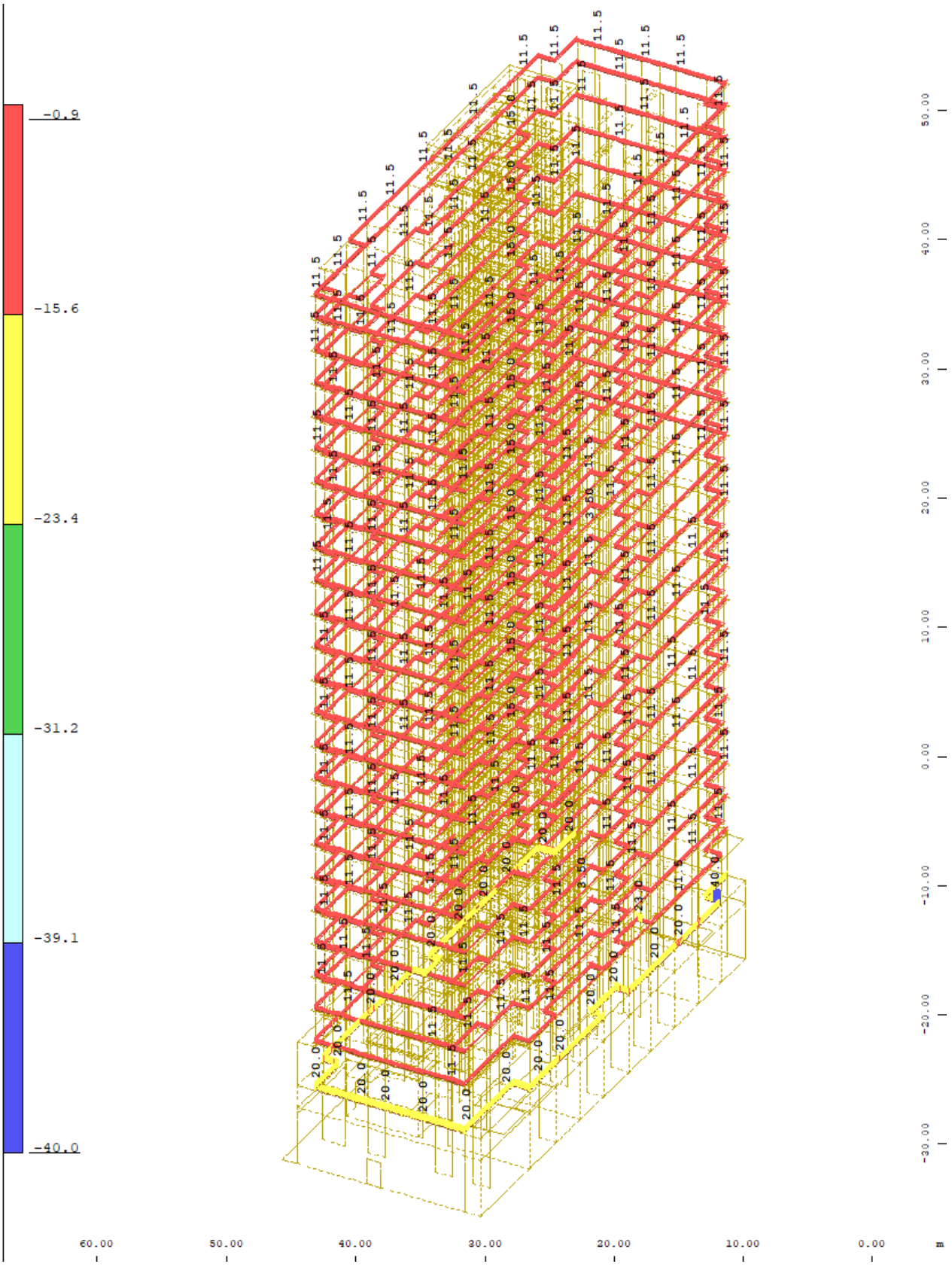
Нормативная нагрузка от давления грунта, кН/м2



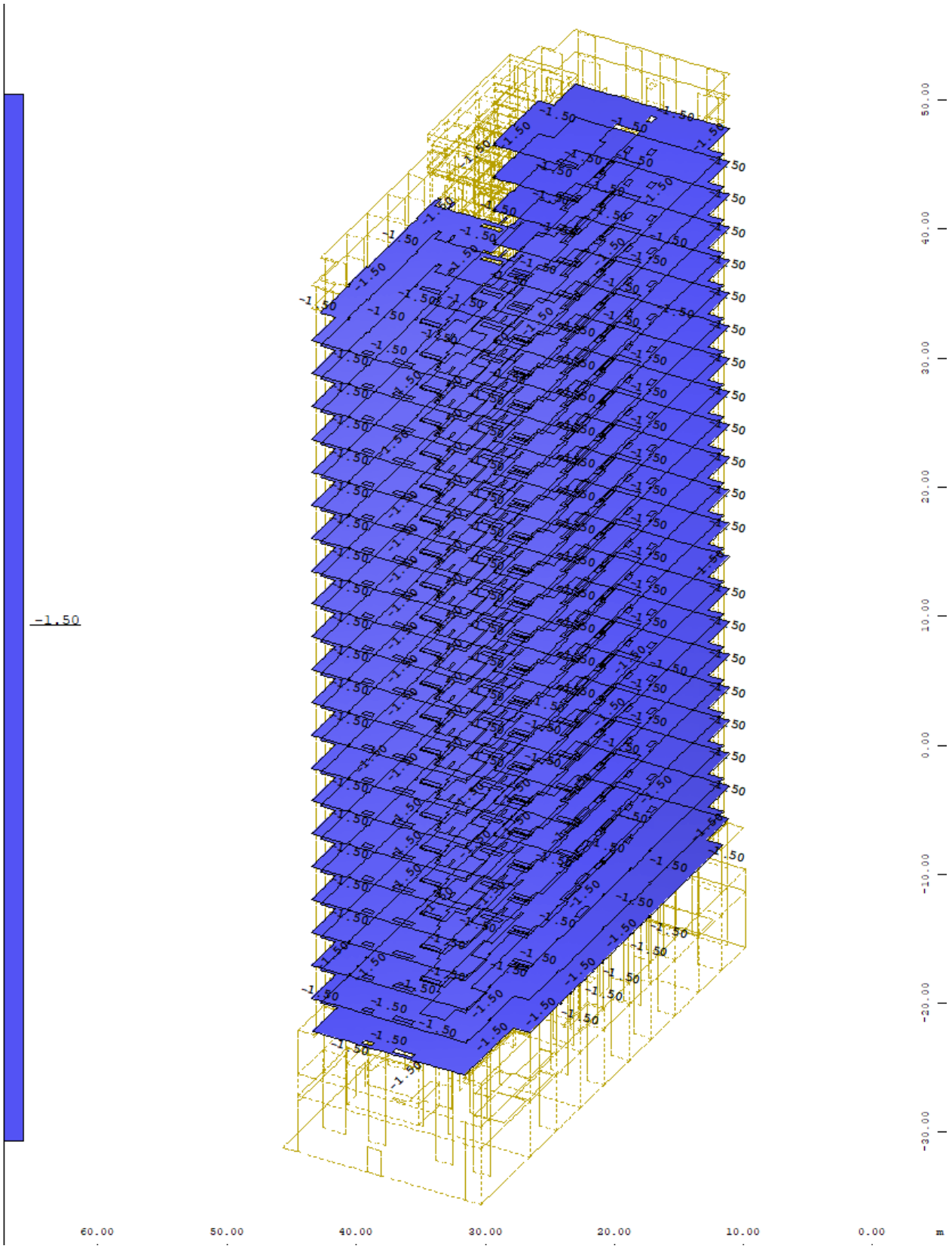
Нормативная нагрузка от перегородок, кН/м2



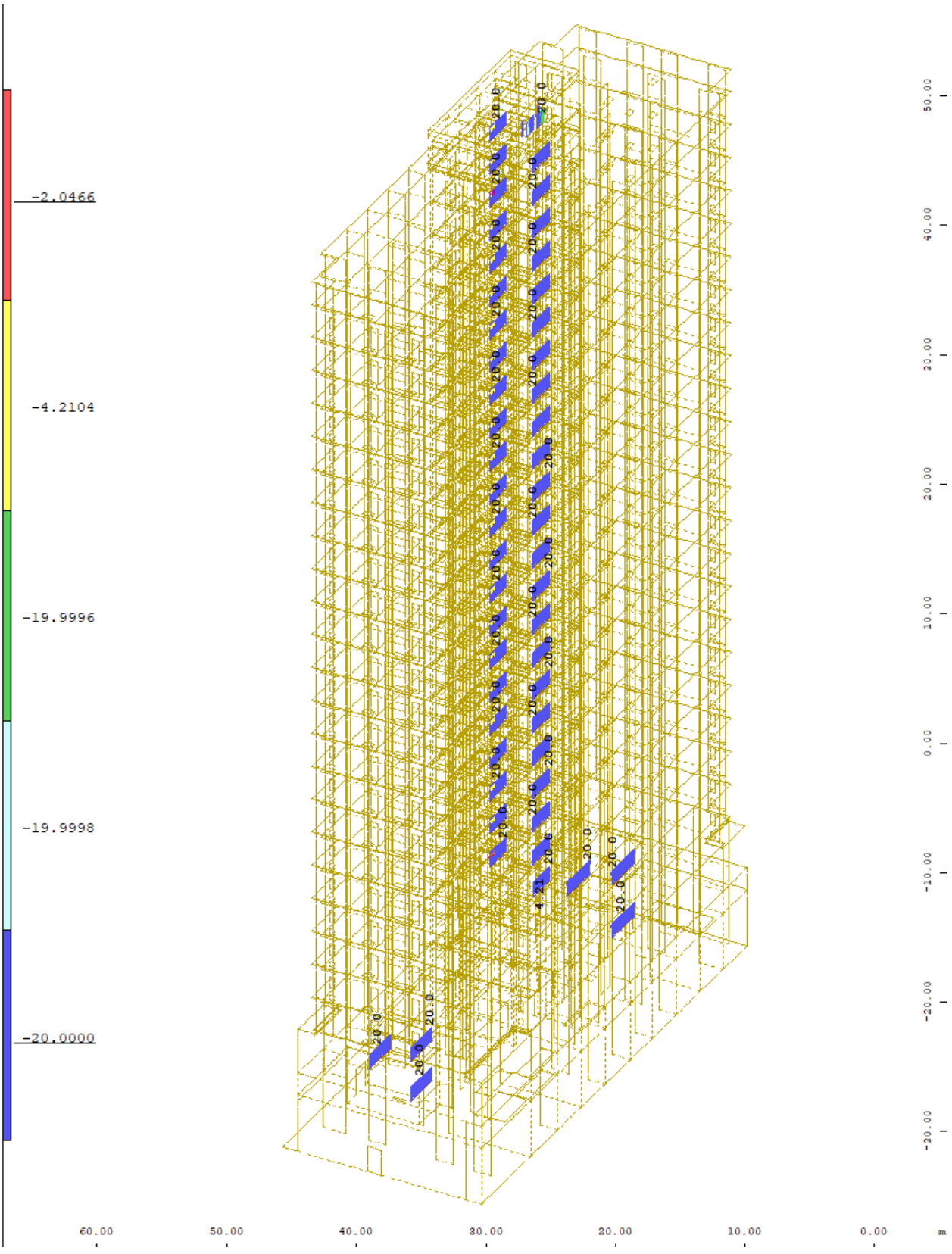
Нормативная нагрузка от линейных перегородок, кН/м



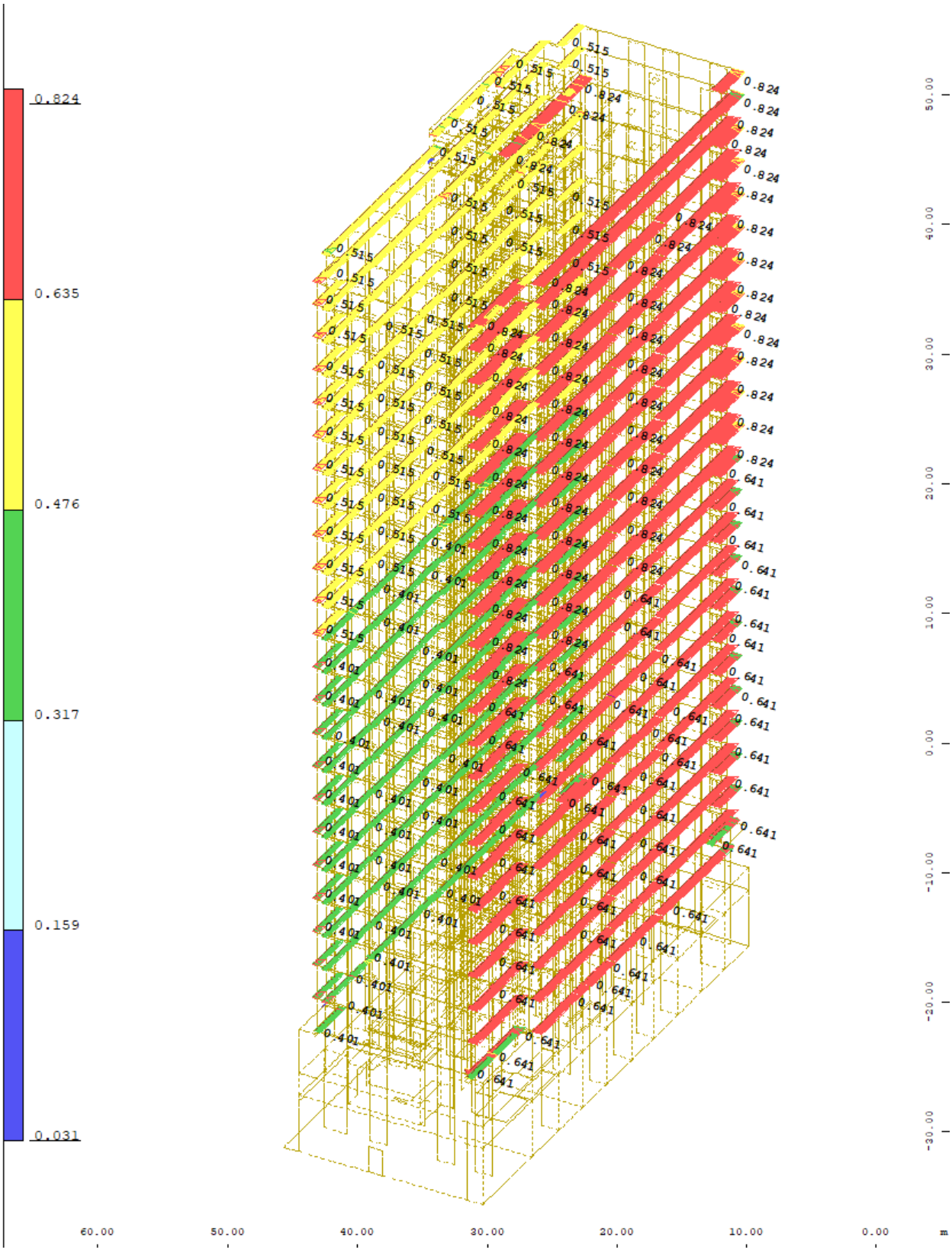
Нормативная нагрузка от фасадов, кН/м



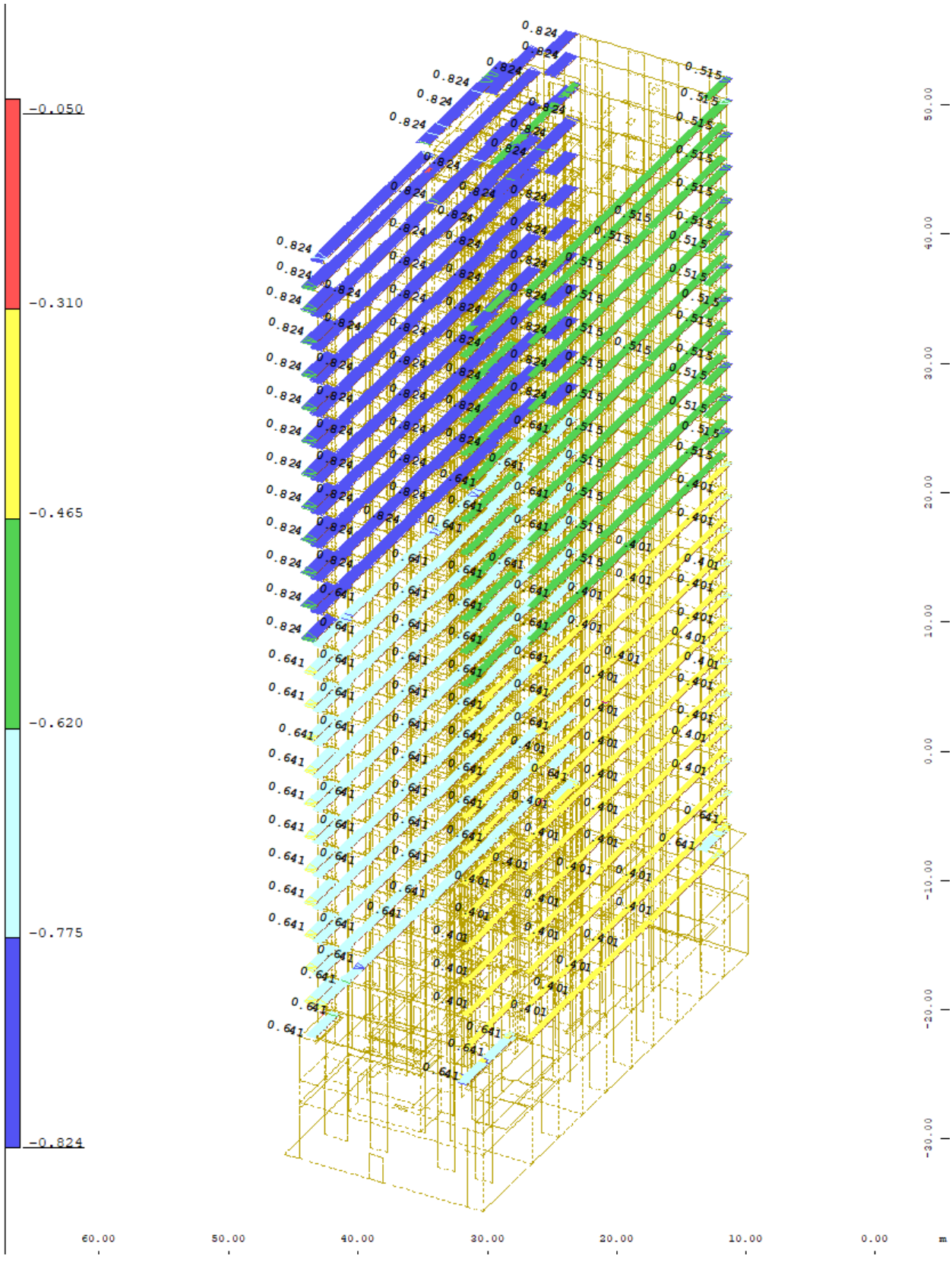
Нормативная нагрузка от квартир, кН/м2



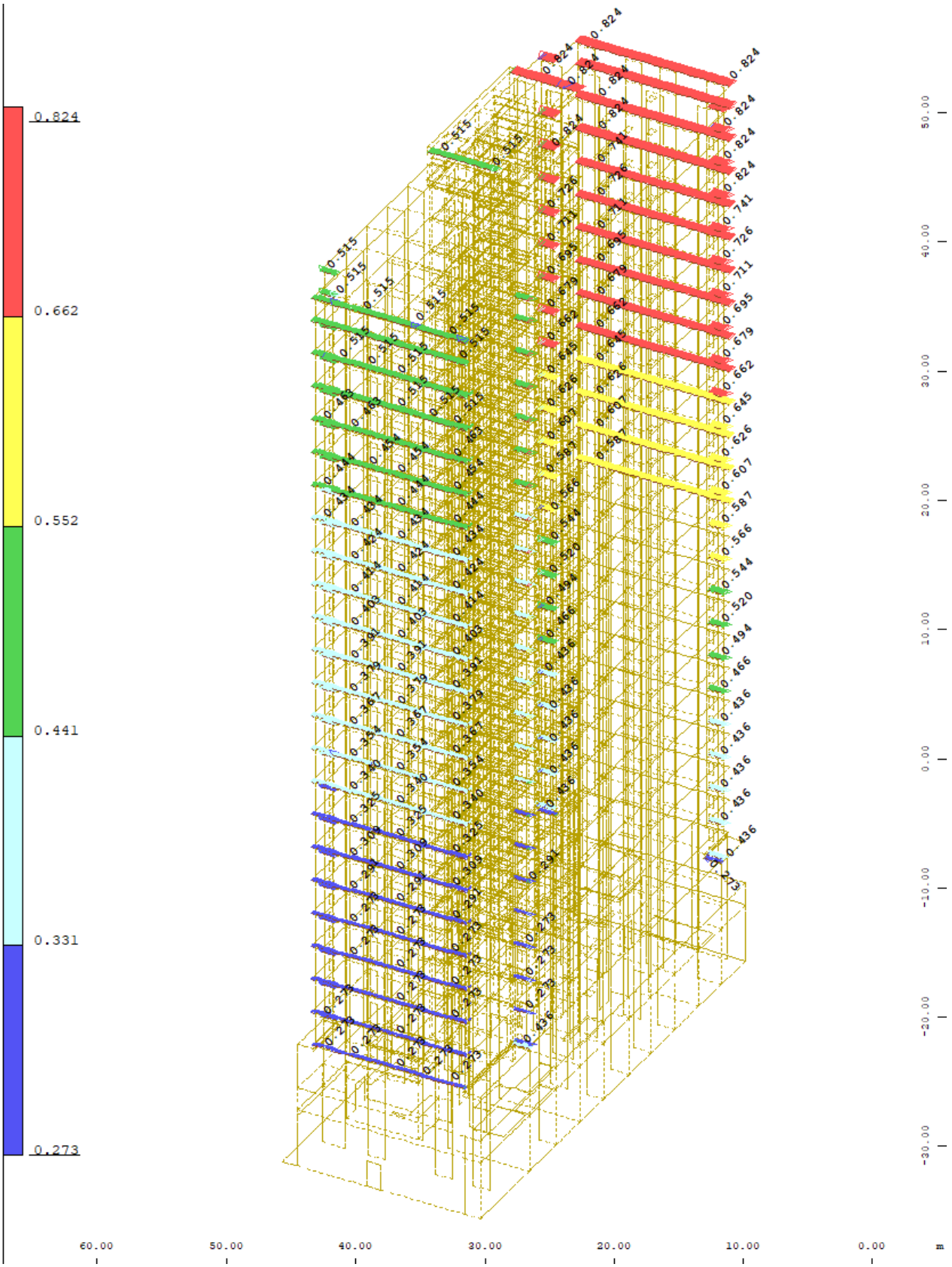
Нормативная нагрузка от лестничных маршей, кН/м



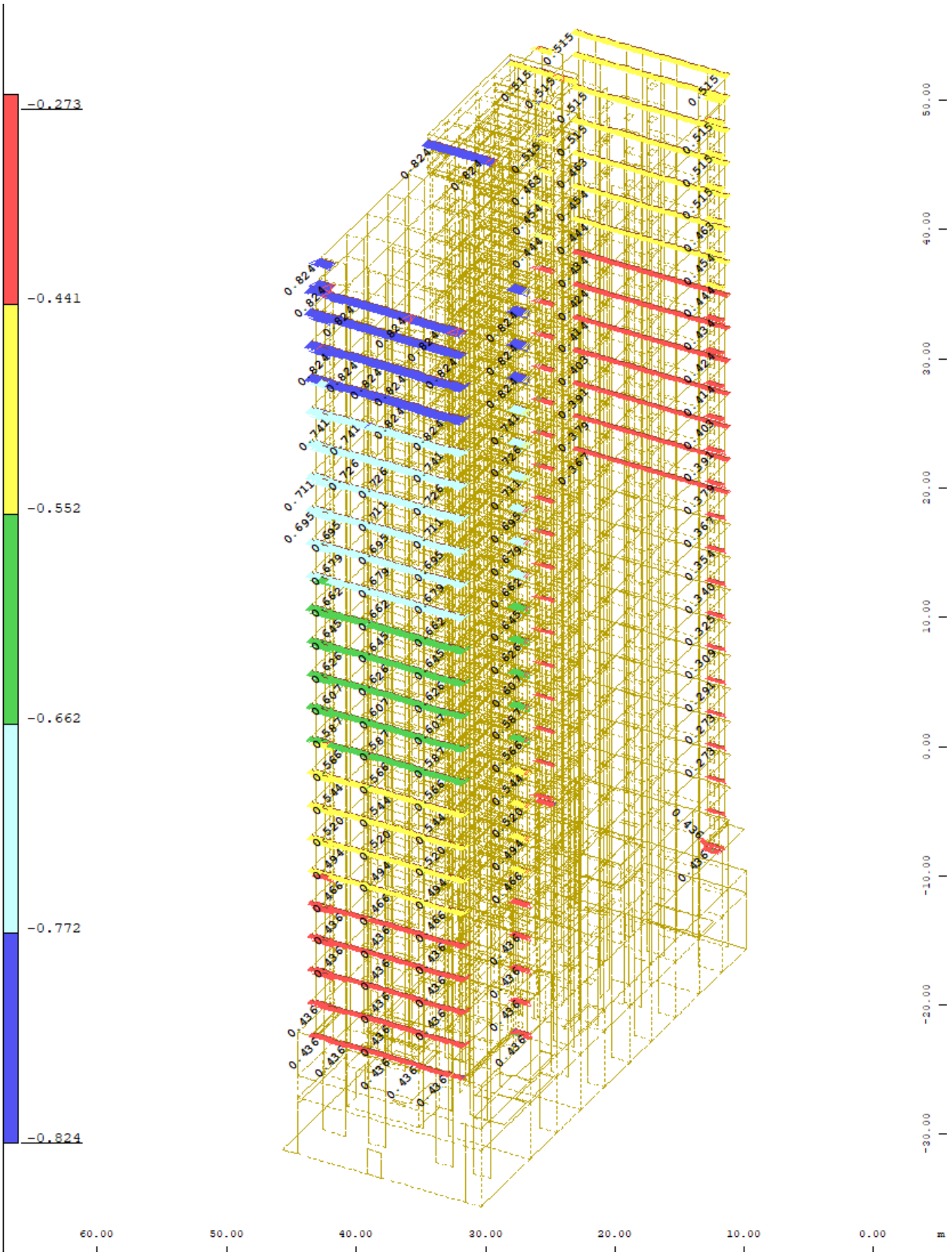
Нормативная нагрузка от ветра +X, кН/м



Нормативная нагрузка от ветра -X, кН/м



Нормативная нагрузка от ветра +Y, кН/м



Нормативная нагрузка от ветра -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

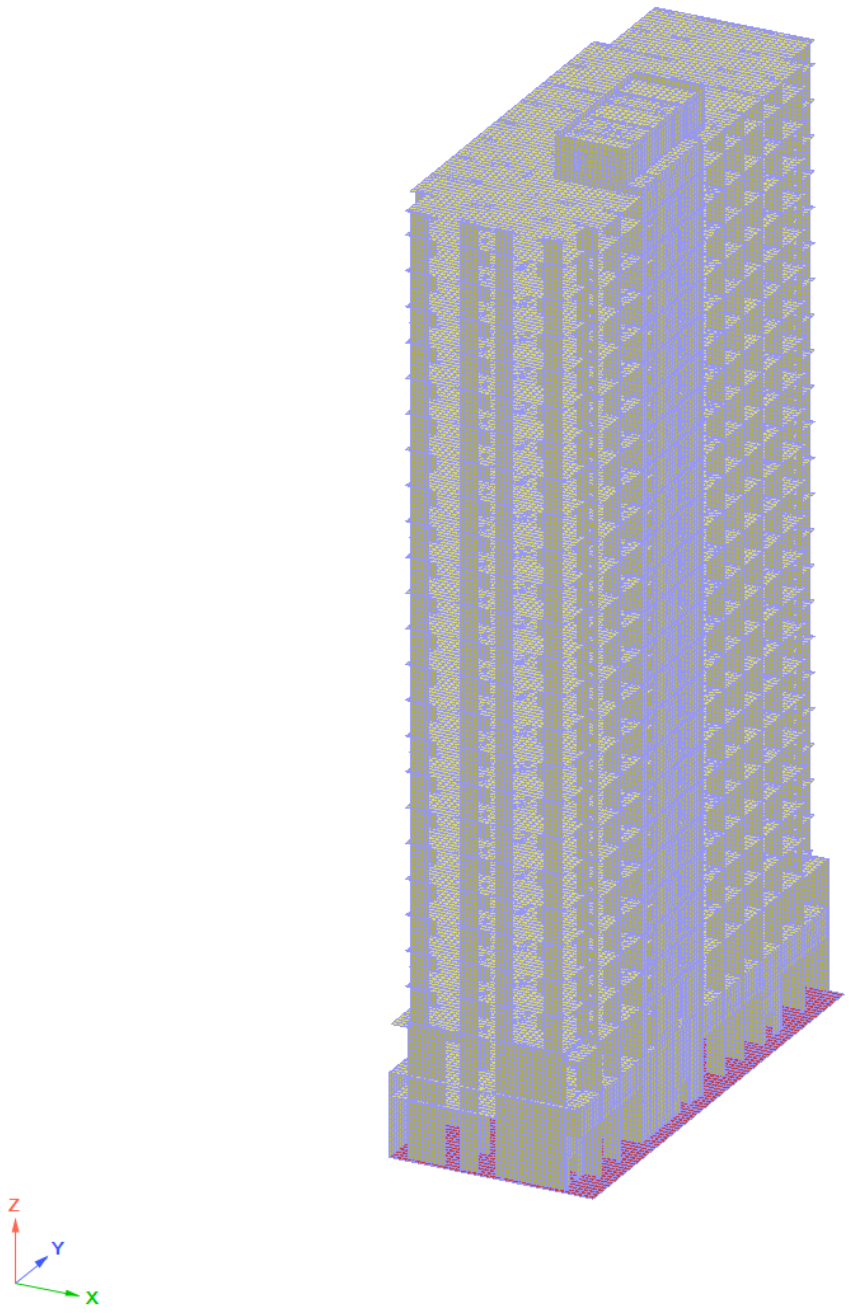
Сочетание	Загружение	Имя загружения	Коэф.к загр.	Коэф.к расч.	Коэф.к норм.	Доля дл.	Итог.коэф.к расч.	Итог.коэф.к расч.дл.дейст.	Итог.коэф.к норм.	Итог.коэф.к норм.дл.дейст.
	23	Пульсации X+	1	1.4	1	0	1.4	0	1	0
3	1	G_Deadload	1	1.1	1	1	1.1	1.1	1	1
	2	G_Полы	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	3	L_Коридоры	1	1.2	1	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

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.
	20	G_Лестницы линейная	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	25	Пульсации Y+	1	1.4	1	0	1.4	0	1	0
5	1	G_Deadload	1	1.1	1	1	1.1	1.1	1	1
	2	G_Полы	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	3	L_Коридоры	1	1.2	1	0.35	1.2	0.42	1	0.35
	4	Q_Оборудо-вание	1	1.2	1	1	1.2	1.2	1	1
	5	S_Снег	1	1.4	1	0.5	1.4	0.7	1	0.5
	10	R_Давление грунта	1	1.15	1	1	1.15	1.15	1	1
	16	G_Перего-родки	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	17	G_Перего-родки ли-нейная	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	18	G_Фасады линейная	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	19	L_Квартиры	1	1.3	1	0.35	1.3	0.455	1	0.35
	20	G_Лестницы линейная	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	26	Пульсации Y-	1	1.4	1	0	1.4	0	1	0

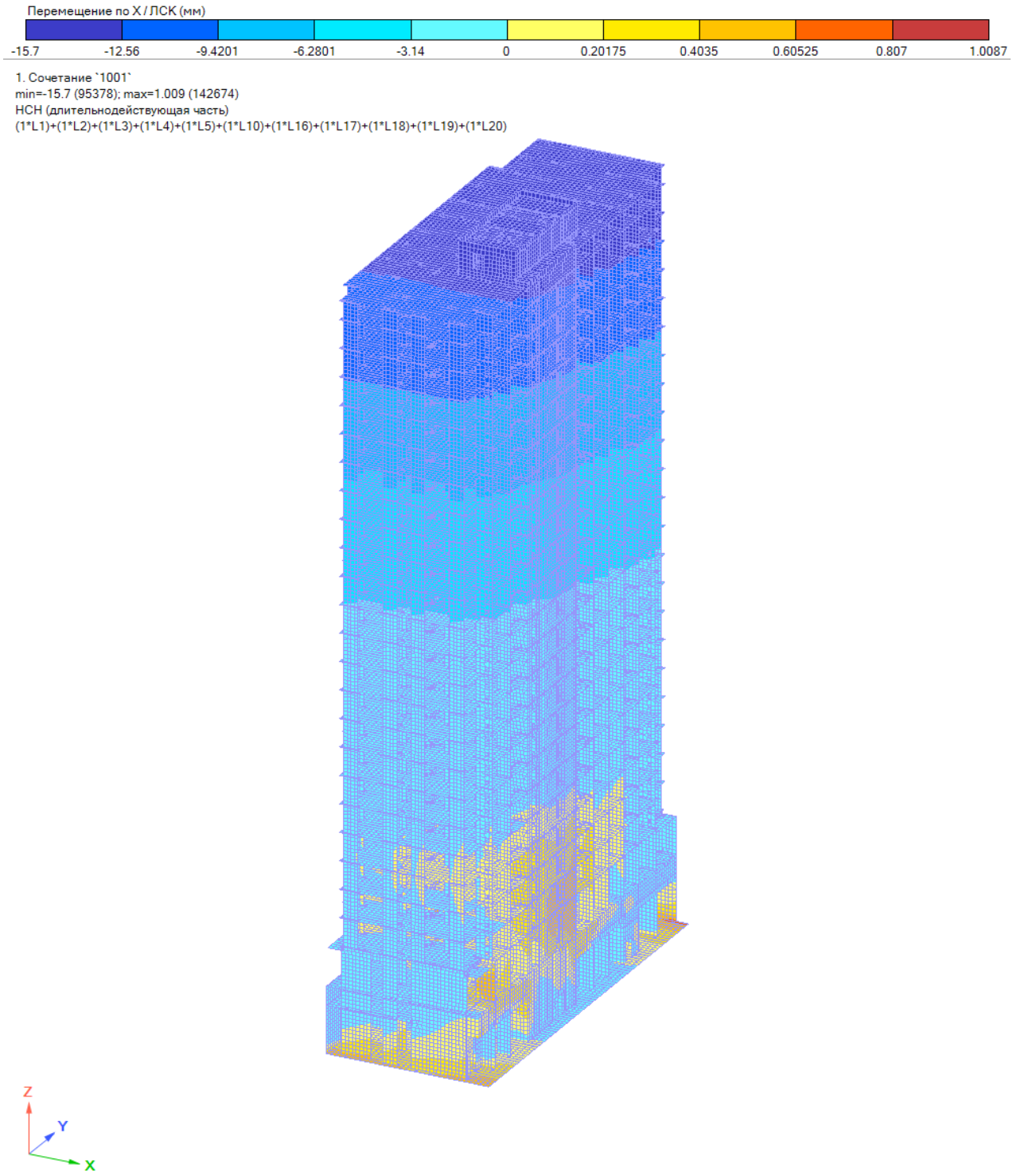
1.4. ЖЕСТКОСТИ, ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, УСКОРЕНИЯ



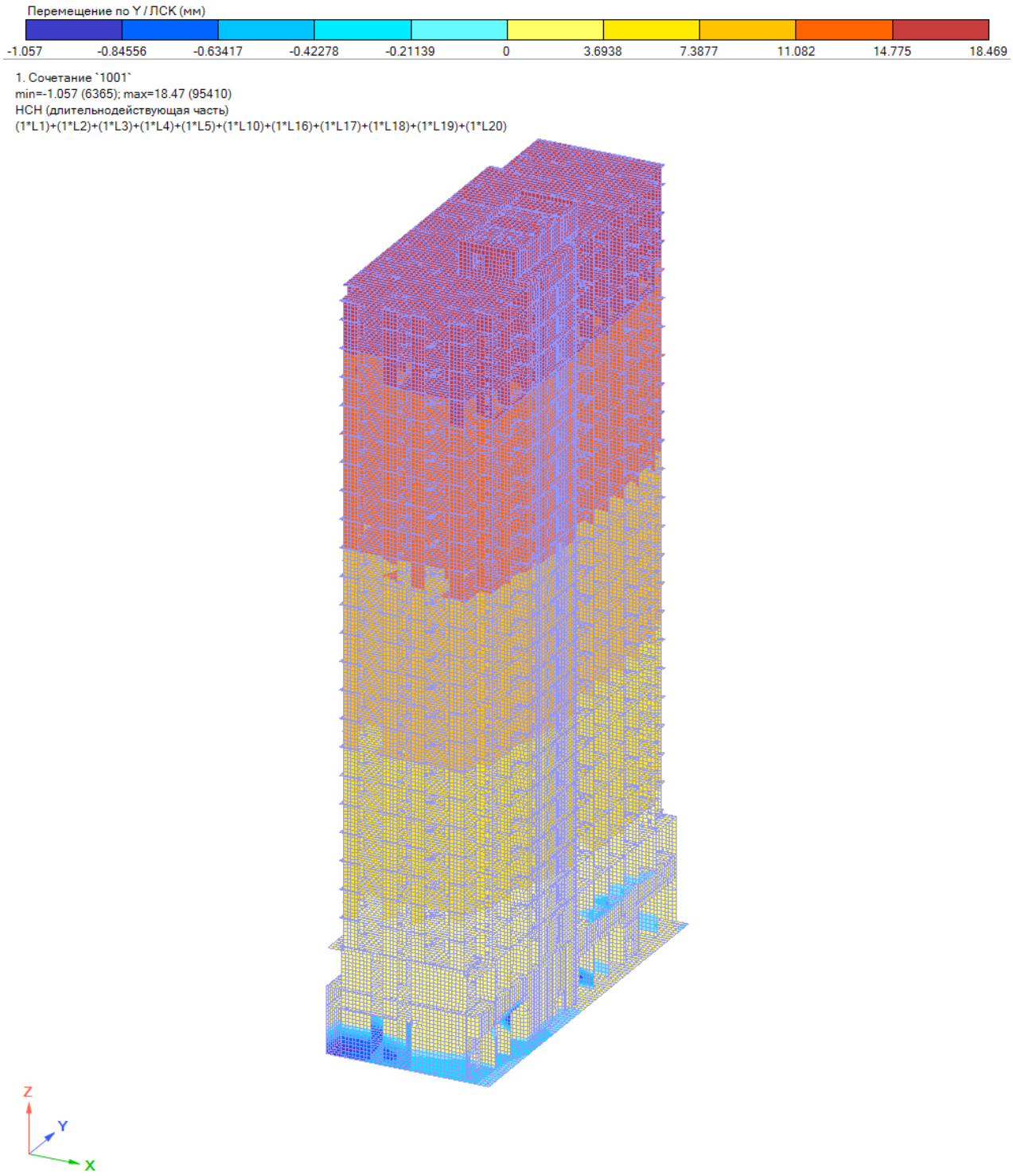
min=18 (149); max=90 (73777)



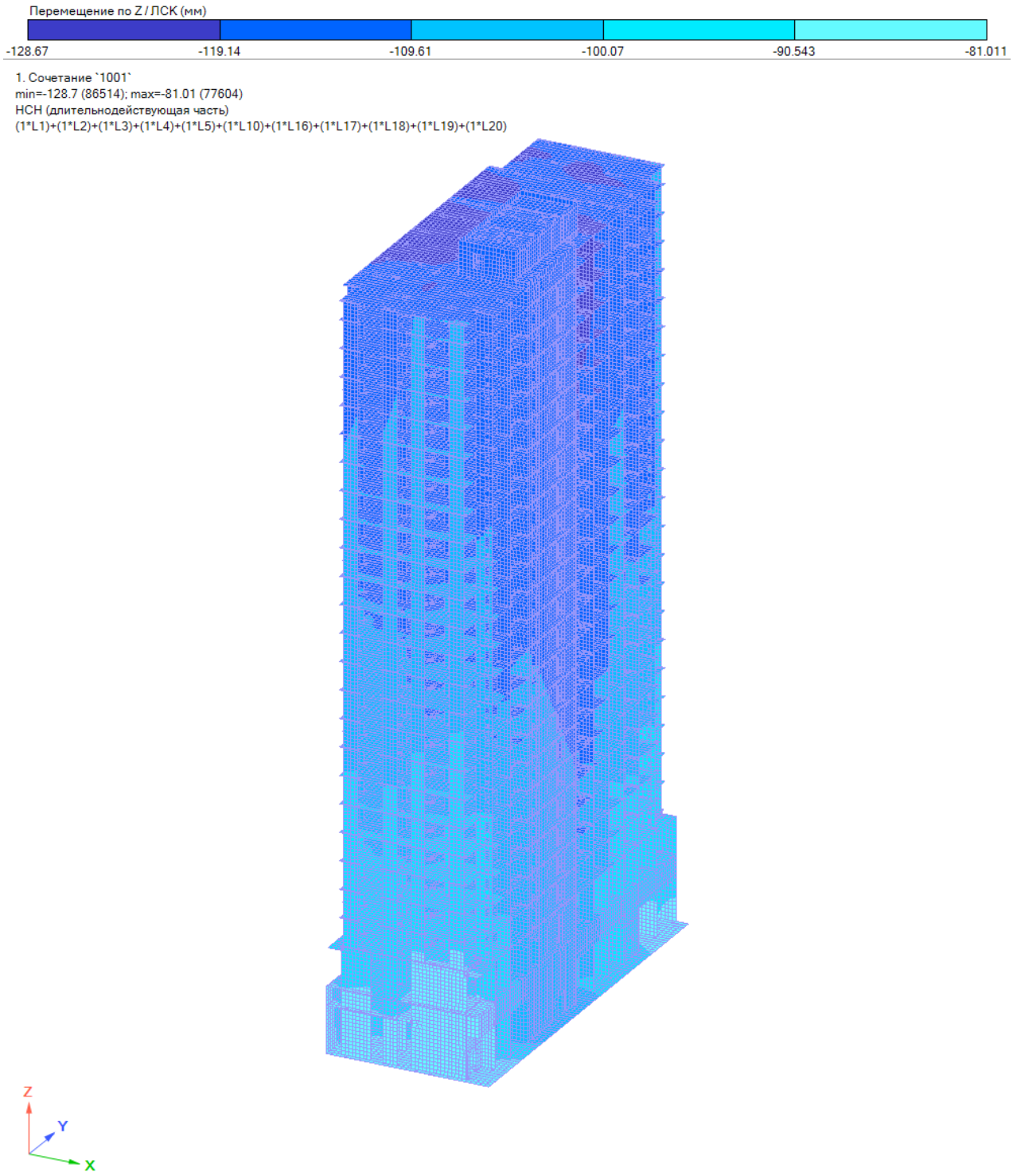
Толщины пластин, см



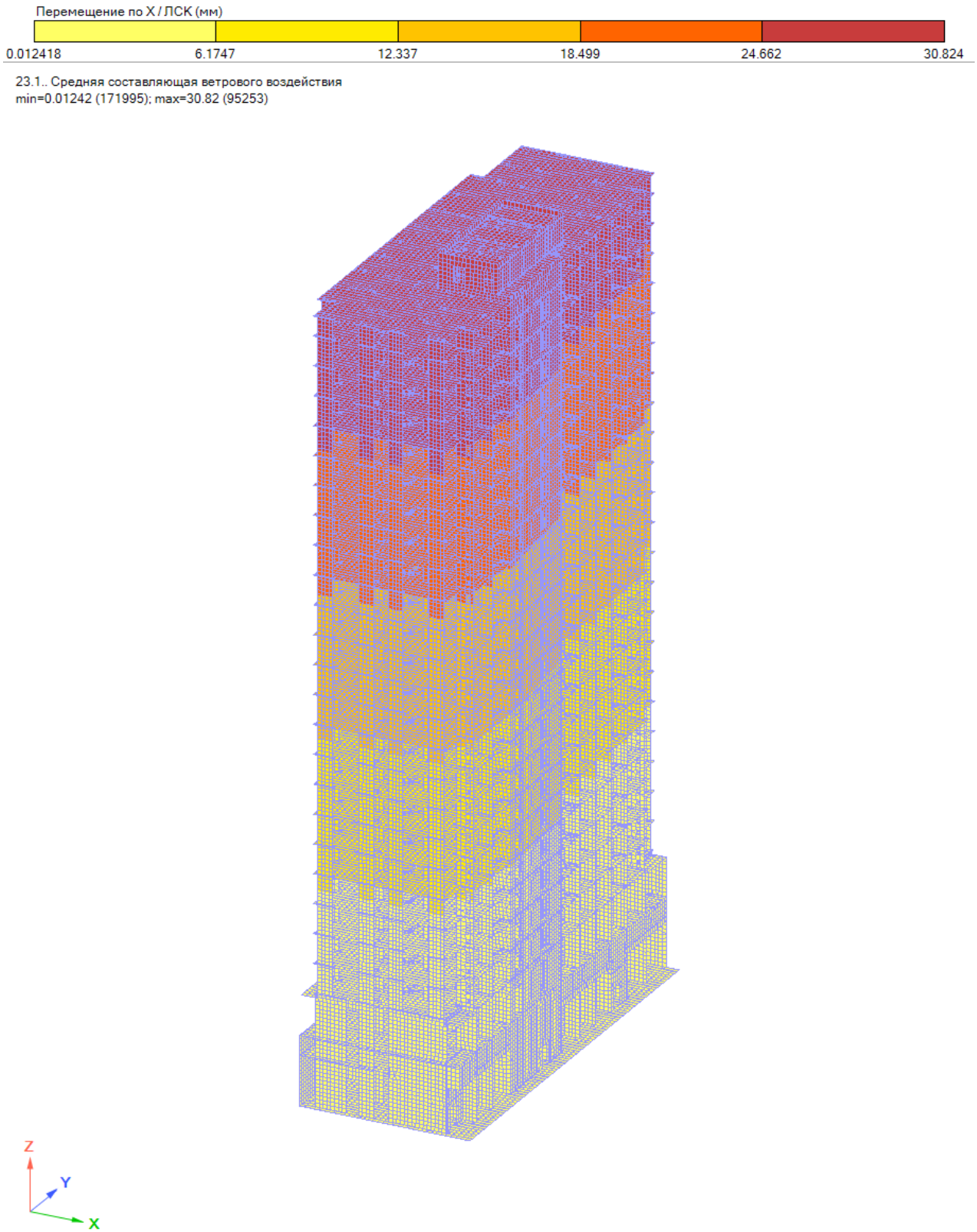
Перемещения по X от вертикальных нагрузок, мм



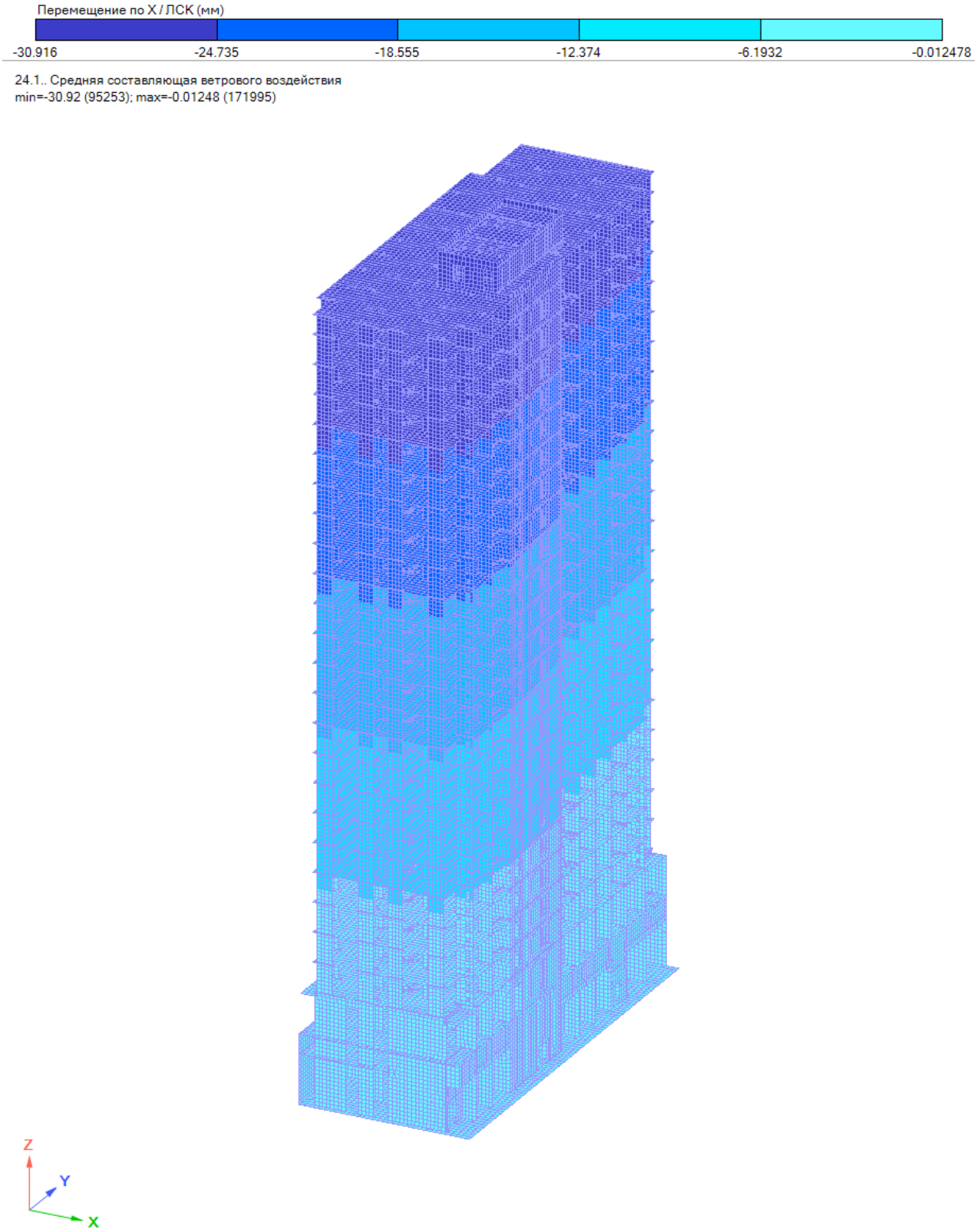
Перемещения по Y от вертикальных нагрузок, мм



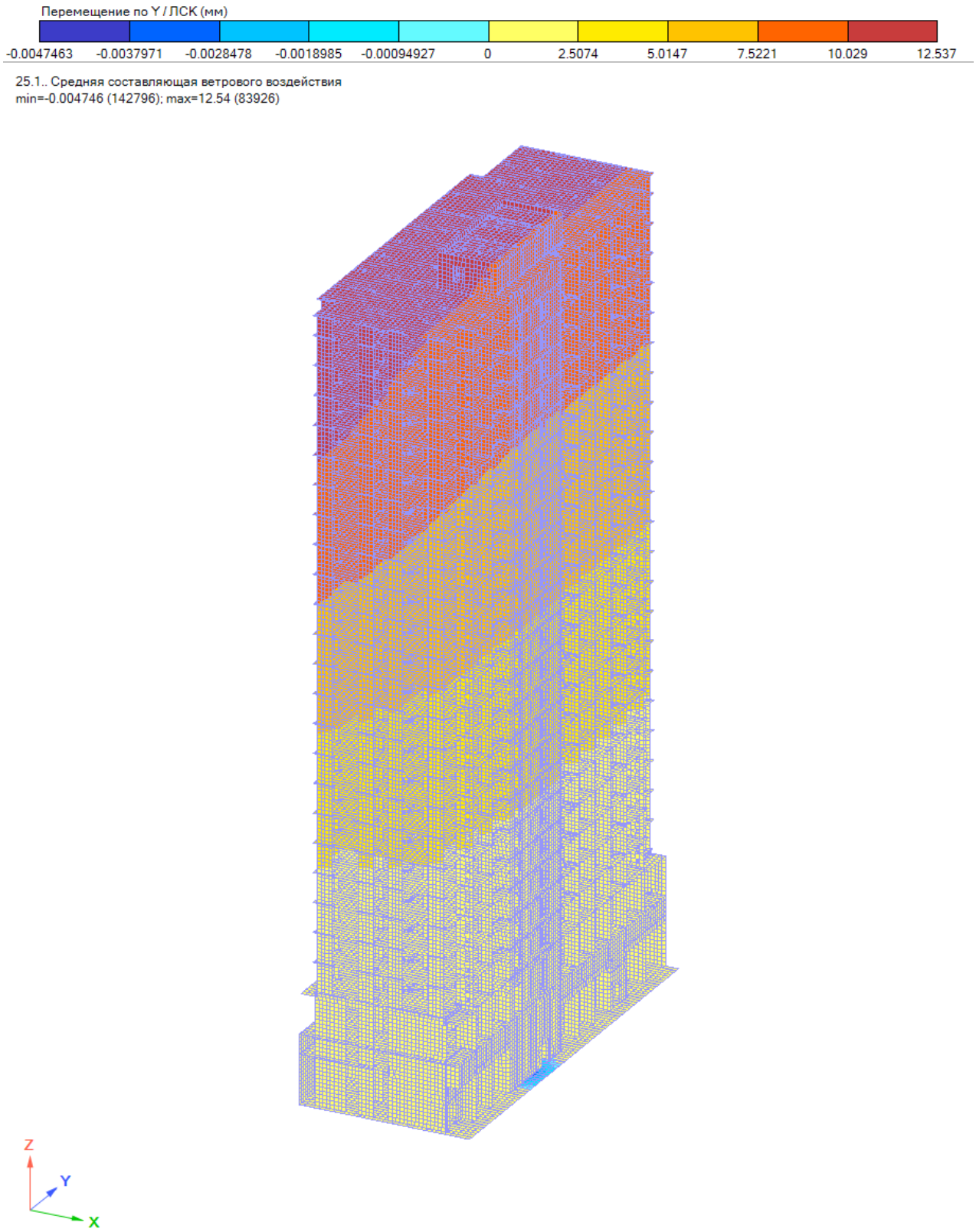
Перемещения по Z от вертикальных нагрузок, мм



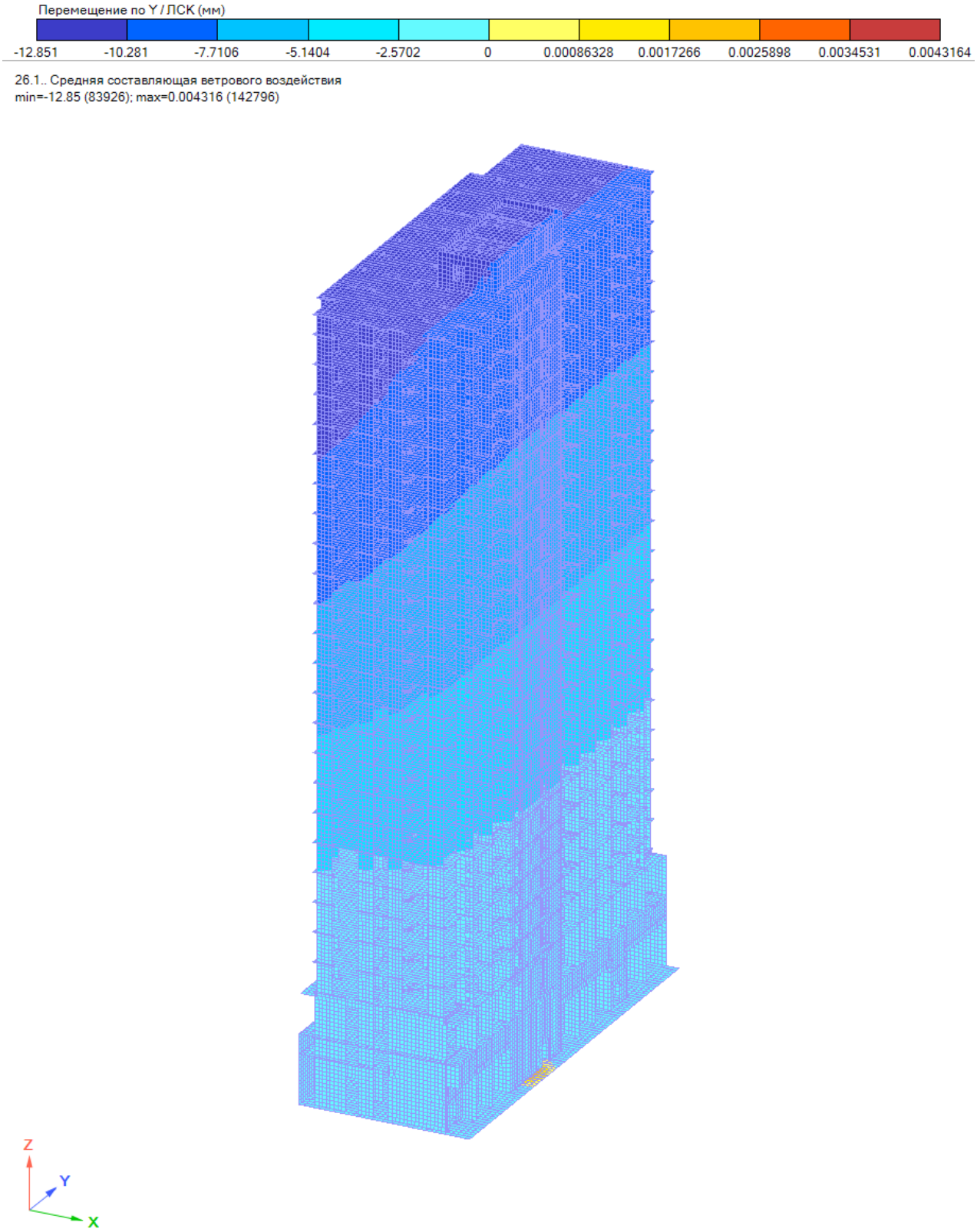
Перемещения по X+ от ветровых нагрузок, мм



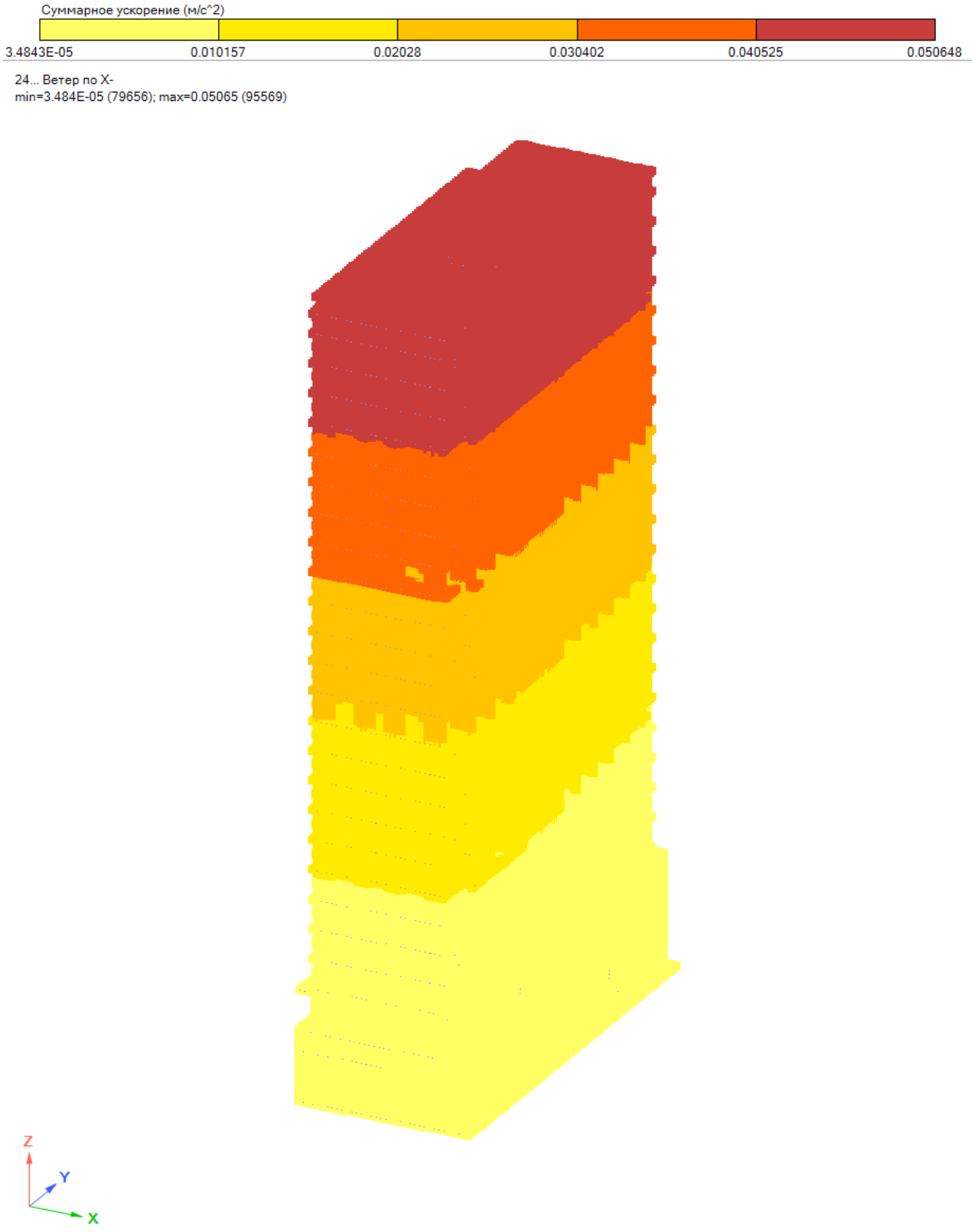
Перемещения по X- от ветровых нагрузок, мм



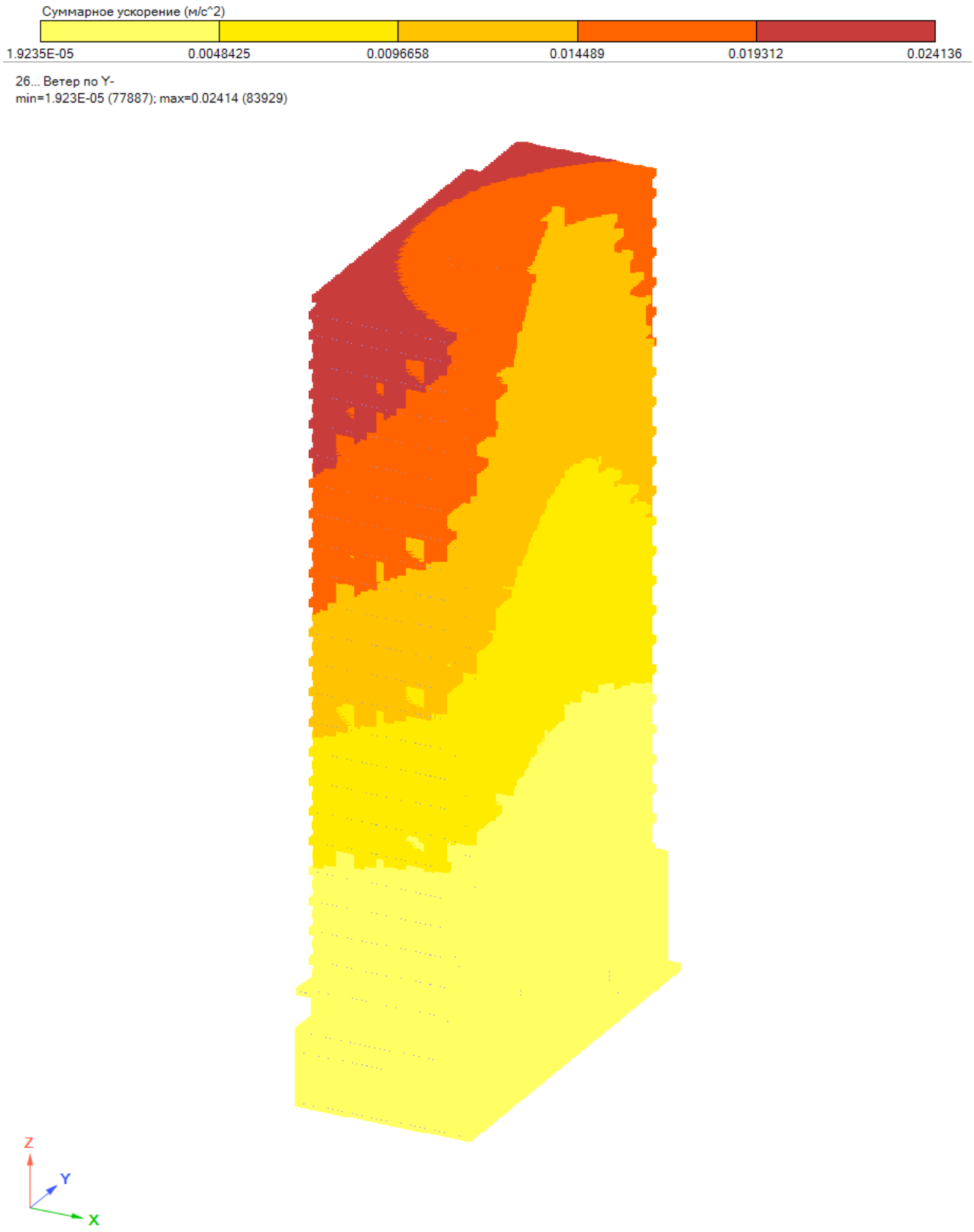
Перемещения по Y+ от ветровых нагрузок, мм



Перемещения по Y- от ветровых нагрузок, мм

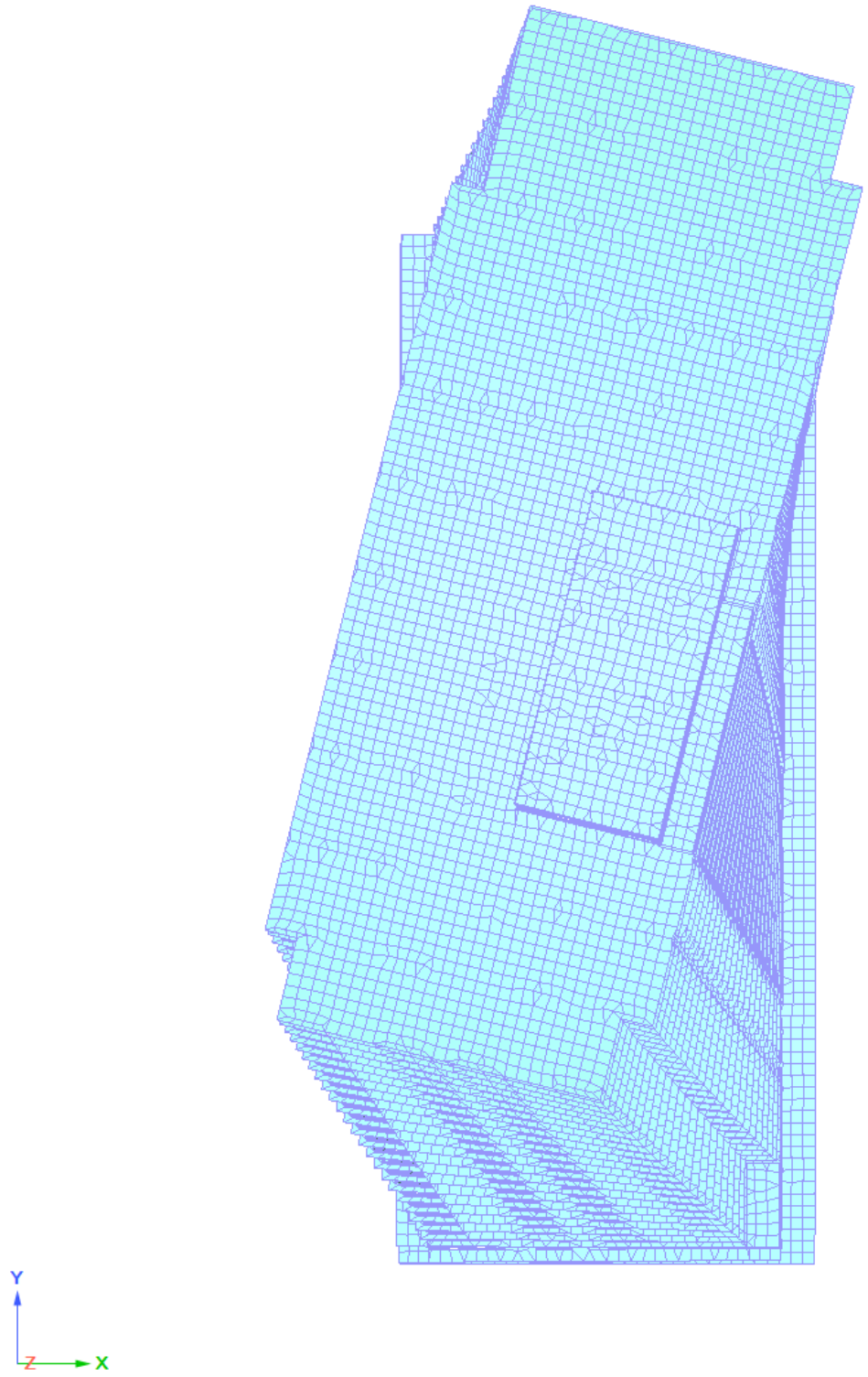


Ускорения ветер вдоль X (м/с2)



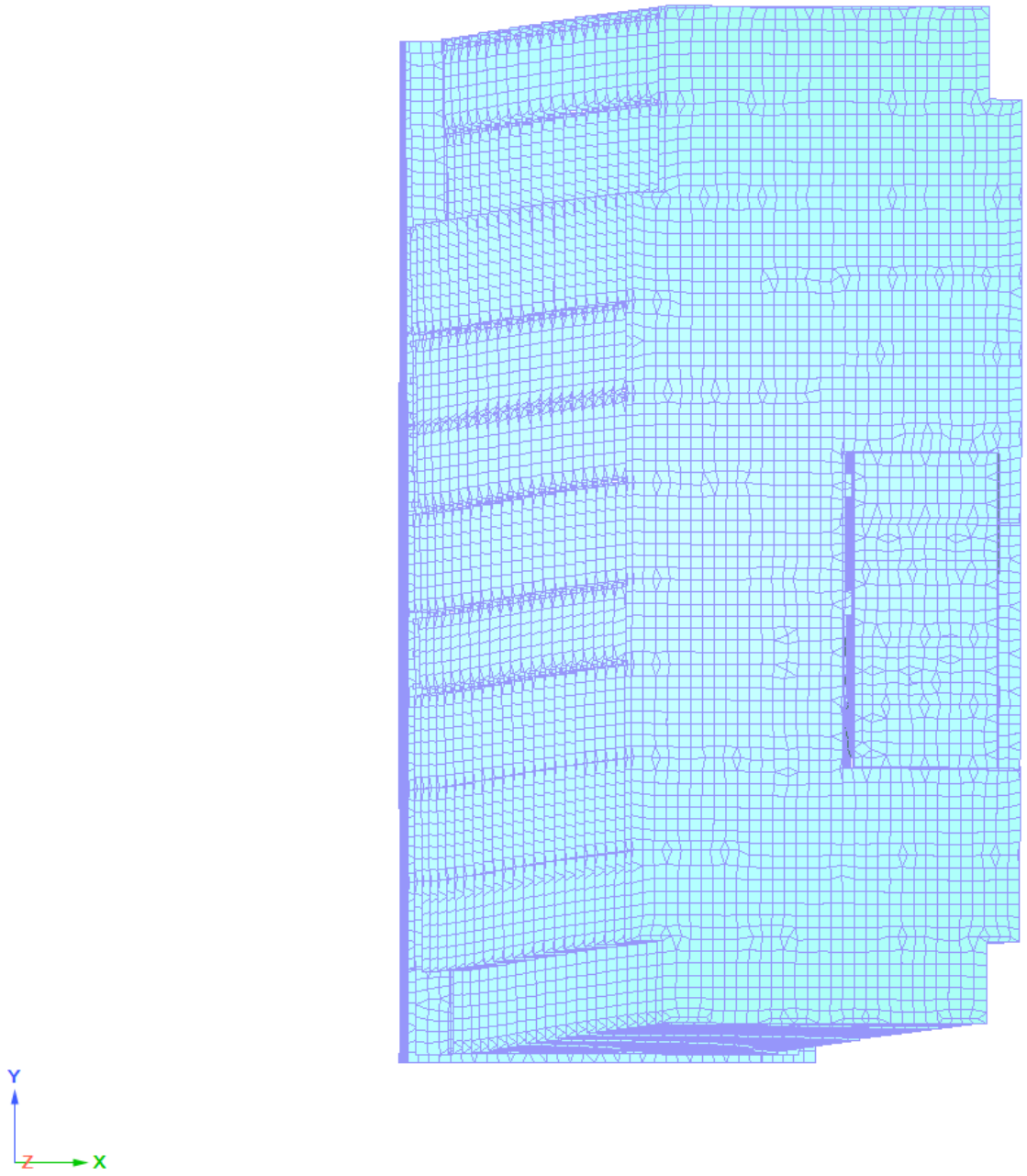
Ускорения ветер вдоль Y (м/с2)

23..1. Форма 1
Частота: 0.24187 (Гц)



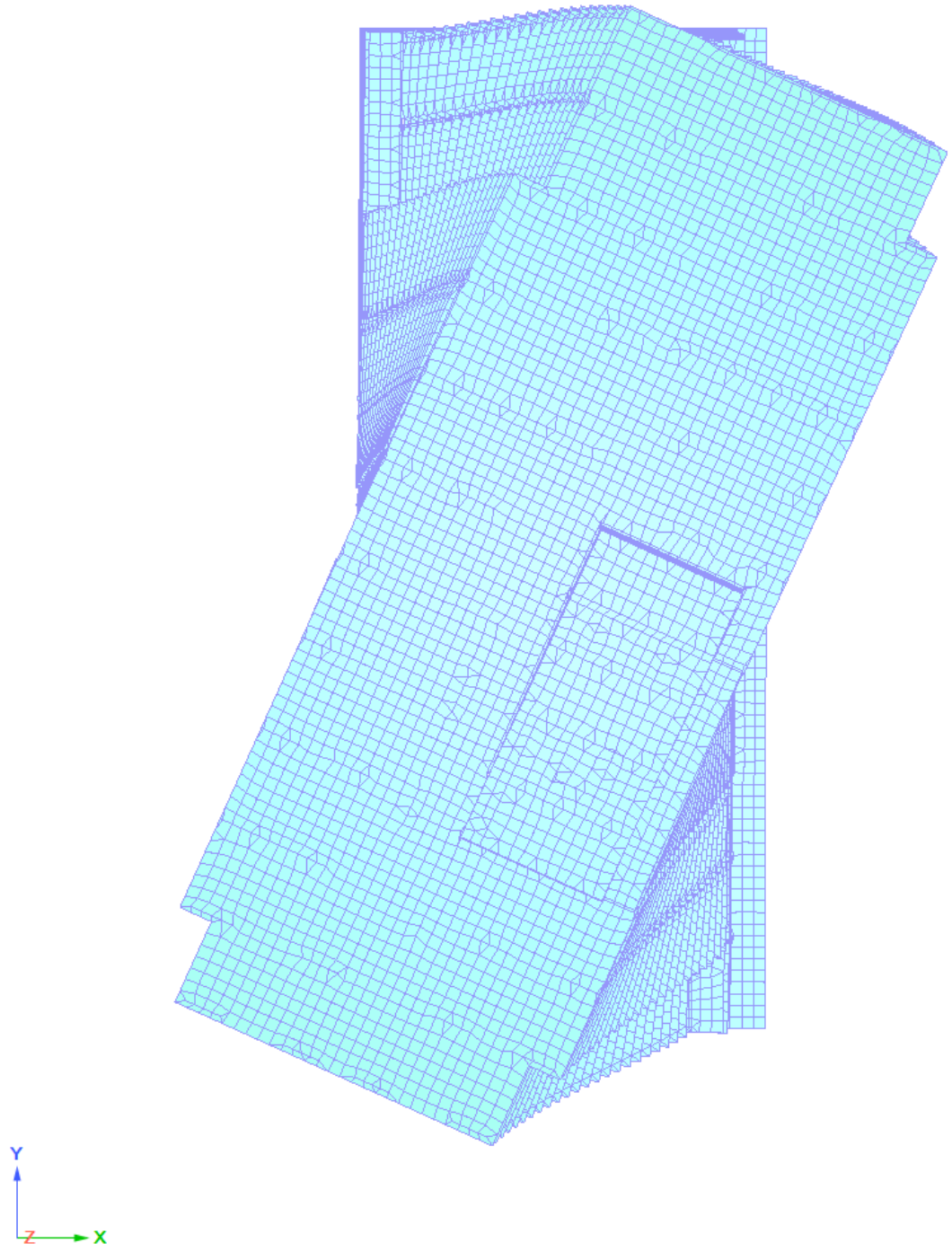
1 форма колебаний, 0.242Гц

23..2. Форма 2
Частота: 0.27562 (Гц)



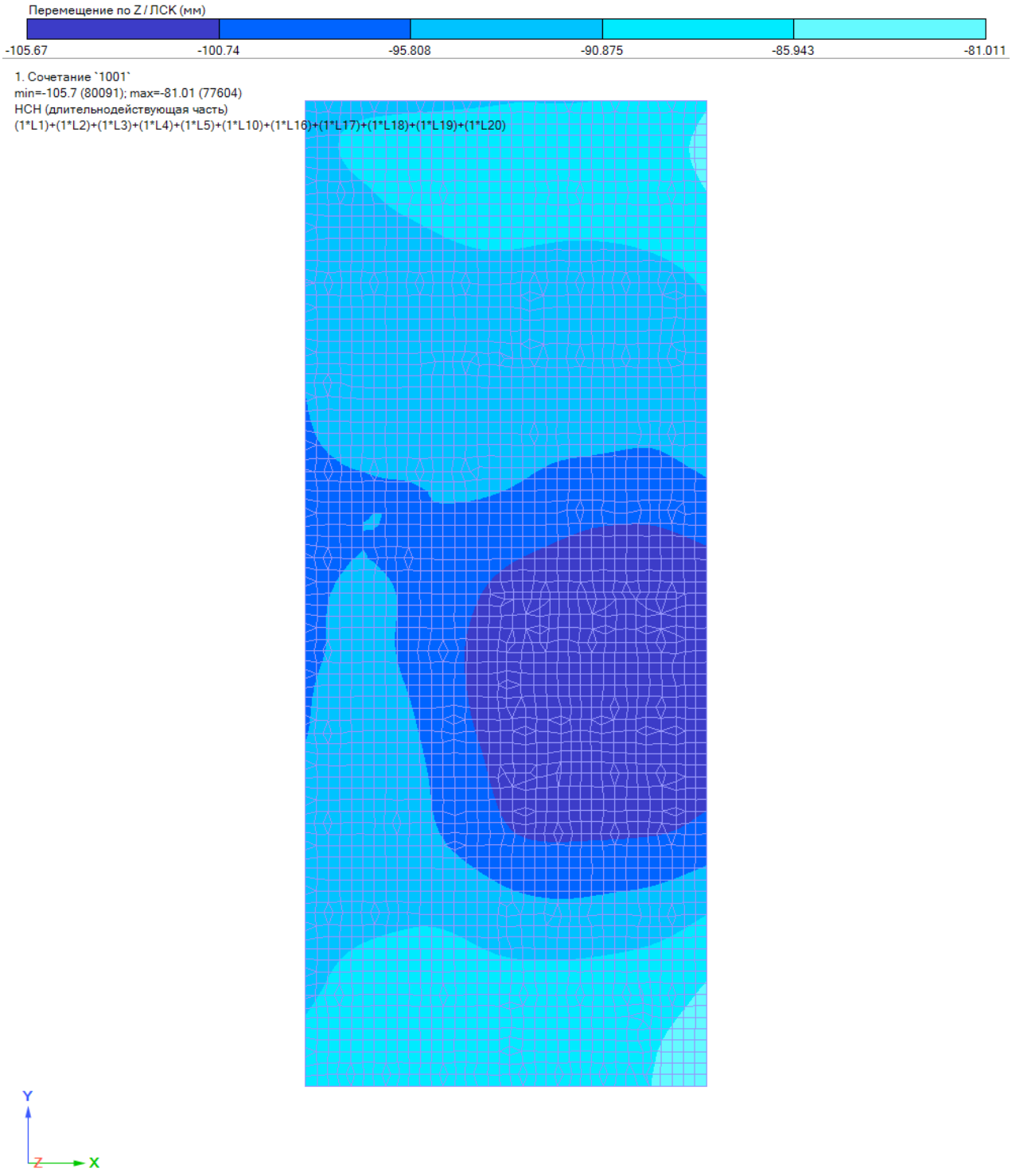
2 форма колебаний, 0.275Гц

23..3. Форма 3
Частота: 0.40385 (Гц)

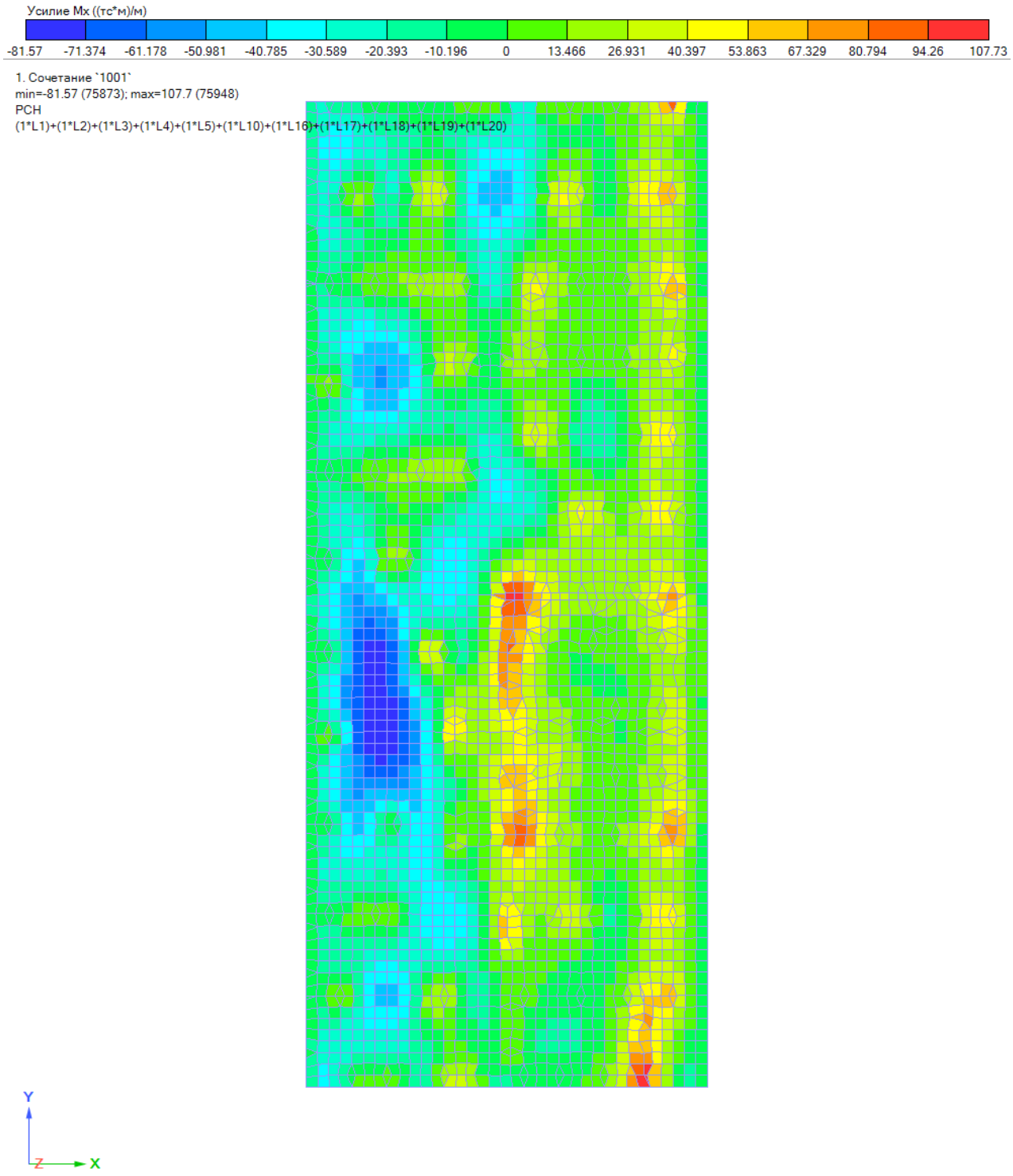


3 форма колебаний, 0.403Гц

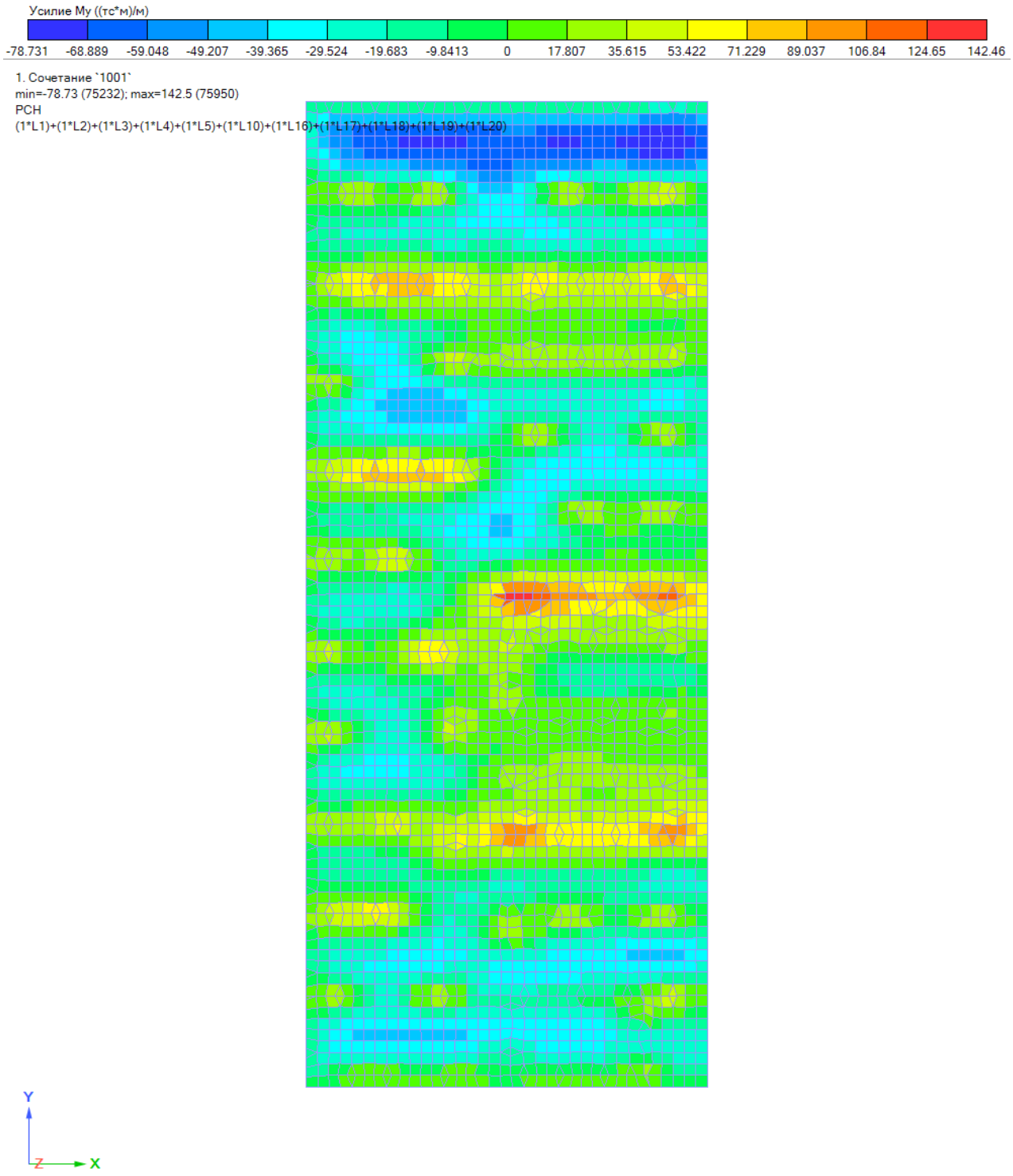
2. РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ ОТМ. -7.200 (ФУНДАМЕНТНАЯ ПЛИТА)



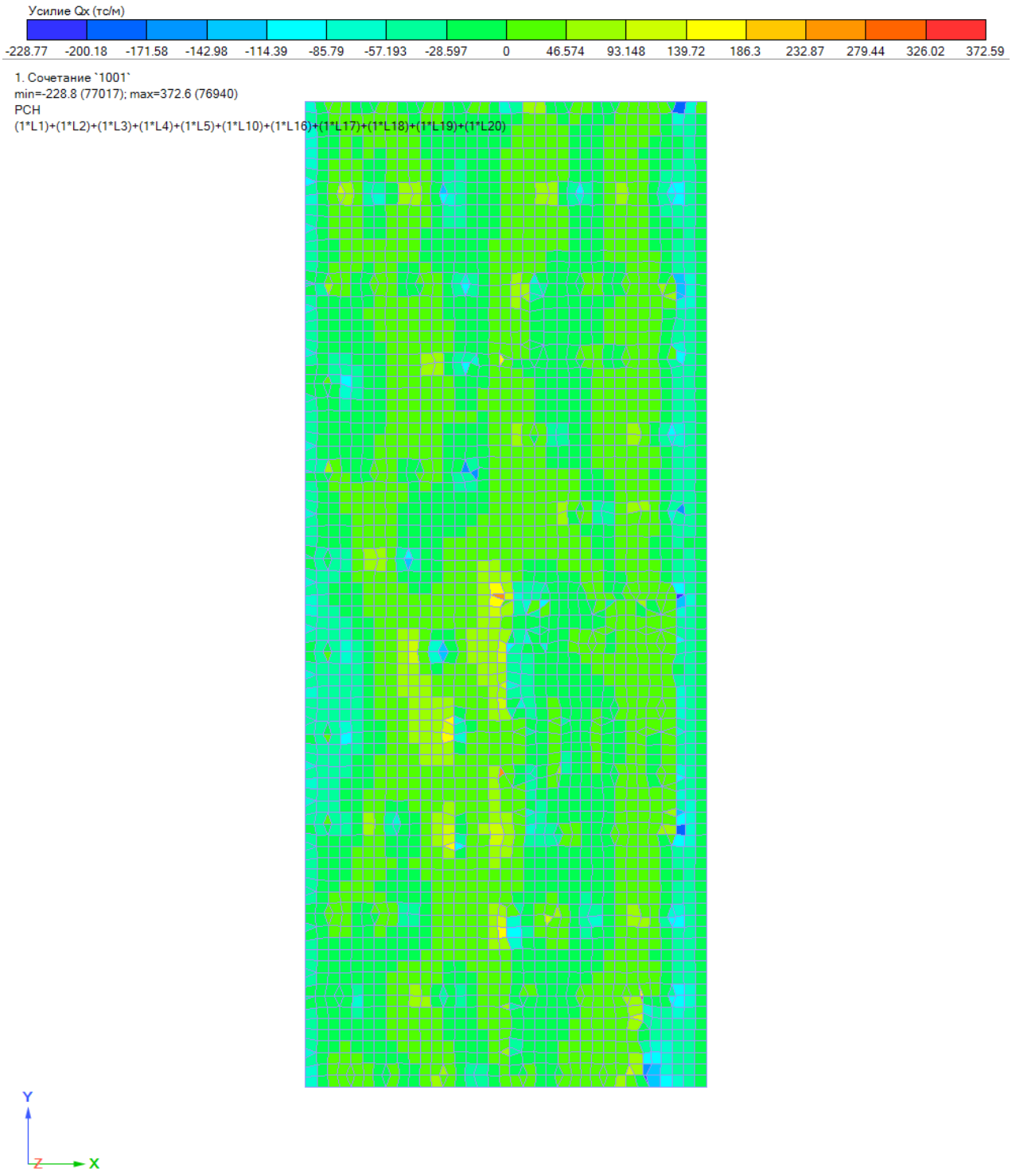
Изополя перемещения по Z, мм



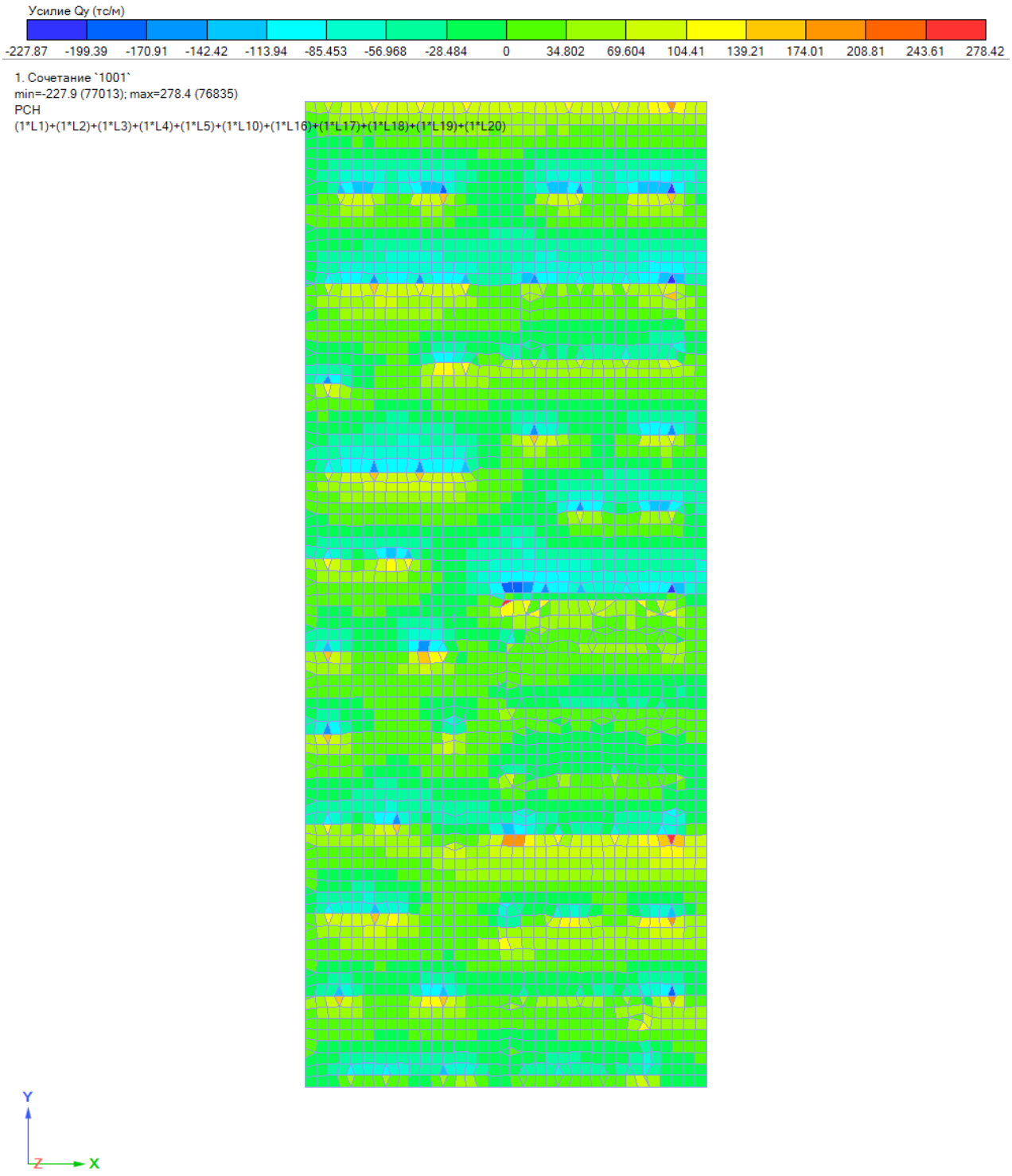
Изополя усилия Mx, тс*м/м



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qx, тс/м



Изополя усилия Qy, тс/м

Проверка сечения фундаментной плиты в/о 1.4-1.5/1.Ю-1.Я на отм. -7.200 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)

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

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Изгибающий момент от полной нагрузки $M = 1238\text{кНм}$
- Изгибающий момент от постоянной и длительной нагрузки $M_l = 1176.1\text{кНм}$
- Продольная сила от полной нагрузки $N = 361\text{кН}$
- Продольная сила от постоянной и длительной нагрузки $N_l = 342.95\text{кН}$

ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЯ

- Ширина сечения $b = 100\text{см} = 1\text{м}$
- Высота сечения $h = 90\text{см} = 0.9\text{м}$
- Расстояние от грани до центра растянутой арматуры $a = 5\text{см} = 0.05\text{м}$
- Расстояние от грани до центра сжатой арматуры $a' = 5\text{см} = 0.05\text{м}$
- Площадь растянутой арматуры $A_s = 67.7\text{см}^2 = 6.77 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- Площадь сжатой арматуры $A'_s = 67.7\text{см}^2 = 6.77 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- Диаметр арматуры $d_s = 28\text{мм} = 0.028\text{м}$
- Предельно допустимая ширина продолжительного раскрытия трещин $a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм} = 0.0003\text{м}$
- Предельно допустимая ширина непродолжительного раскрытия трещин $a_{crc,ult} = 0.4\text{мм} = 0.0004\text{м}$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

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

РАСЧЕТ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ

$$h_0 = 0.9 - 0.05 = 0.85\text{м}$$

$$h_0' = 0.9 - 0.05 = 0.85\text{м}$$

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

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

$$A_{red} = A + \alpha(A_s + A_s') = 0.9 + 6.15(6.77 \cdot 10^{-3} + 6.77 \cdot 10^{-3}) = 0.9834\text{м}^2$$

$$S_{t,red} = \frac{Ah}{2} + \alpha(A_{sa} + A_s'h_0') = \frac{0.9 \cdot 0.9}{2} + 6.15(6.77 \cdot 10^{-3} \cdot 0.05 + 6.77 \cdot 10^{-3} \cdot 0.85) = 0.4425\text{м}^3$$

$$y_t = \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = \frac{0.4425}{0.9834} = 0.45\text{м}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} + A\left(\frac{h}{2} - y_t\right)^2 = 1 \cdot \frac{0.9^3}{12} + 0.9\left(\frac{0.9}{2} - 0.45\right)^2 = 60.75 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_s = \alpha A_s(y_t - a)^2 = 6.15 \cdot (6.77 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.45 - 0.05)^2 = 6.67 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_s' = \alpha A_s'(h_0' - y_t)^2 = 6.15 \cdot (6.77 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.85 - 0.45)^2 = 6.67 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_{red} = I + I_s + I_s' = 60.75 \cdot 10^{-3} + 6.67 \cdot 10^{-3} + 6.67 \cdot 10^{-3} = 74.09 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_t} = \frac{74.09 \cdot 10^{-3}}{0.45} = 0.1646\text{м}^3$$

$$W_{pl} = 1.3W_{red} = 1.3 \cdot 0.1646 = 0.214\text{м}^3$$

$$e_x = \frac{W_{red}}{A_{red}} = \frac{0.1646}{0.9834} = 0.167\text{м}$$

$$M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} - Ne_x = 1750 \cdot 0.214 - 361 \cdot 0.167 = 314.11\text{кНм}$$

$$M = 1238\text{кНм} > M_{crc} = 314.11\text{кНм, трещины образуются}$$

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

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

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

$$\mu_s = \frac{A_s}{bh_0} = \frac{6.77 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0.85} = 0.008$$

$$\mu_s' = \frac{A_s'}{bh_0} = \frac{6.77 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0.85} = 0.008$$

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

$$= 0.85\left(\sqrt{(0.008 \cdot 13.636 + 0.008 \cdot 13.636)^2 + 2(0.008 \cdot 13.636 + 0.008 \cdot 13.636 \cdot 0.05/0.85)}\right.$$

$$\left. - (0.008 \cdot 13.636 + 0.008 \cdot 13.636)\right) = 0.263\text{м}$$

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N_l}{A_{red}M_l} = 0.263 + \frac{7.409E-002 \cdot 342.95}{0.983 \cdot 1176.1} = 0.241\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.241 \cdot 1 = 0.2409\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.2409 + 13.636 \cdot 6.77 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 6.77 \cdot 10^{-3} = 0.4257\text{м}^2$$

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

$$= 0.2409\left(0.9 - \frac{0.241}{2}\right) + (6.77 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.85 \cdot 13.636 + (6.77 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.85$$

$$\cdot 13.636 = 0.2709\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.9 - \frac{0.2709}{0.4257} = 0.263\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c)^2 = (6.77 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.85 - 0.263)^2 = 2.330E-003\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a')^2 = (6.77 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.263 - 0.05)^2 = 3.086E-004\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.263^3}{12} + 0.263 \cdot 1\left(\frac{0.263}{2}\right) = 6.097E-003\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 6.097E-003 + 2.330E-003 \cdot 13.636 + 3.086E-004 \cdot 13.636$$

$$= 4.208E-002\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.9 - 0.241 = 0.659\text{м}$$

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

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

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

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.45}{6.77 \cdot 10^{-3}}\,0.028 = 0.93\text{м}$$

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

Принимаем $l_s = 0.4$м

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M_l(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{1176.1(0.85 - 0.263)}{4.208E-002} + \frac{342.95}{0.4257}\right)13.636 = 234536\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{314.11(0.85 - 0.263)}{4.208E-002} + \frac{342.95}{0.4257}\right)13.636 = 70692\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\,\frac{70692.49}{234536.03} = 0.759$$

$$a_{crc1} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.759\,\frac{234536}{200000000}\,0.4 = 0.000299\text{м} = 0.299\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$a_{crc3} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.759\,\frac{234536}{200000000}\,0.4 = 0.000214\text{м} = 0.214\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N}{A_{red}M} = 0.263 + \frac{7.409E-002 \cdot 361}{0.983 \cdot 1238} = 0.241\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.241 \cdot 1 = 0.2409\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.2409 + 13.636 \cdot 6.77 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 6.77 \cdot 10^{-3} = 0.4257\text{м}^2$$

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

$$= 0.2409\left(0.9 - \frac{0.241}{2}\right) + 6.77 \cdot 10^{-3} \cdot 0.85 \cdot 13.636 + (6.77 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.85 \cdot 13.636$$

$$= 0.2709\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.9 - \frac{0.2709}{0.4257} = 0.263\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c) = (6.77 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.85 - 0.263) = 2.330E-003\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a') = (6.77 \cdot 10^{-3})(0.263 - 0.05) = 3.086E-004\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.263^3}{12} + 0.263 \cdot 1\left(\frac{0.263}{2}\right) = 6.097E-003\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 6.097E-003 + 2.330E-003 \cdot 13.636 + 3.086E-004 \cdot 13.636 = 4.208E-002\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.9 - 0.241 = 0.659\text{м}$$

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

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

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

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.45}{6.77 \cdot 10^{-3}}0.028 = 0.93\text{м}$$

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

Принимаем $l_s = 0.4$м

$$\sigma_s = \left(\frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{1238(0.85 - 0.263)}{4.208E-002} + \frac{361}{0.4257}\right)13.636 = 246880\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{314.11(0.85 - 0.263)}{4.208E-002} + \frac{361}{0.4257}\right)13.636 = 71271\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\frac{71270.74}{246880.03} = 0.769$$

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

$$a_{crc2} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.769\frac{246880}{200000000}0.4 = 0.000214\text{м} = 0.214\text{мм}$$

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

$$a_{crc1} = 0.299\text{мм} \le a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм}$$

Ширина продолжительного раскрытия трещин не превышает предельной

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.000299 + 0.000228 - 0.000214 = 0.000313\text{м} = 0.313\ \text{мм}$$

$$a_{crc} = 0.313\text{мм} \le a_{crc,ult} = 0.4\text{мм}$$

Ширина непродолжительного раскрытия трещин не превышает предельной.

ПРОВЕРКА ПО ПЕРВОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

$$R_s = 435000\text{кПа}$$

$$R_{sc} = 435000\text{кПа}$$

$$R_b = 17000\text{кПа}$$

$$\varepsilon_{b2} = 0.0042$$

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

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

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b} = \frac{435000 \cdot 0.006773 - 435000 \cdot 0.006773}{17000 \cdot 1} = 0\text{м}$$

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{0}{0.85} = 0$$

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

$$R_s A_s = 435000 \cdot 0.006773 = 2{:}946\text{кН} = R_{sc} A'_s = 435000 \cdot 0.006773 = 2{:}946\text{кН}$$

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b} = \frac{435000 \cdot 0.006773}{17000 \cdot 1} = 0.173\text{м}$$

$$M_{ult} = R_s A_s (h_0 - a') = 435000 \cdot 0.006773(0.85 - 0.05) = 2357\text{кНм}$$

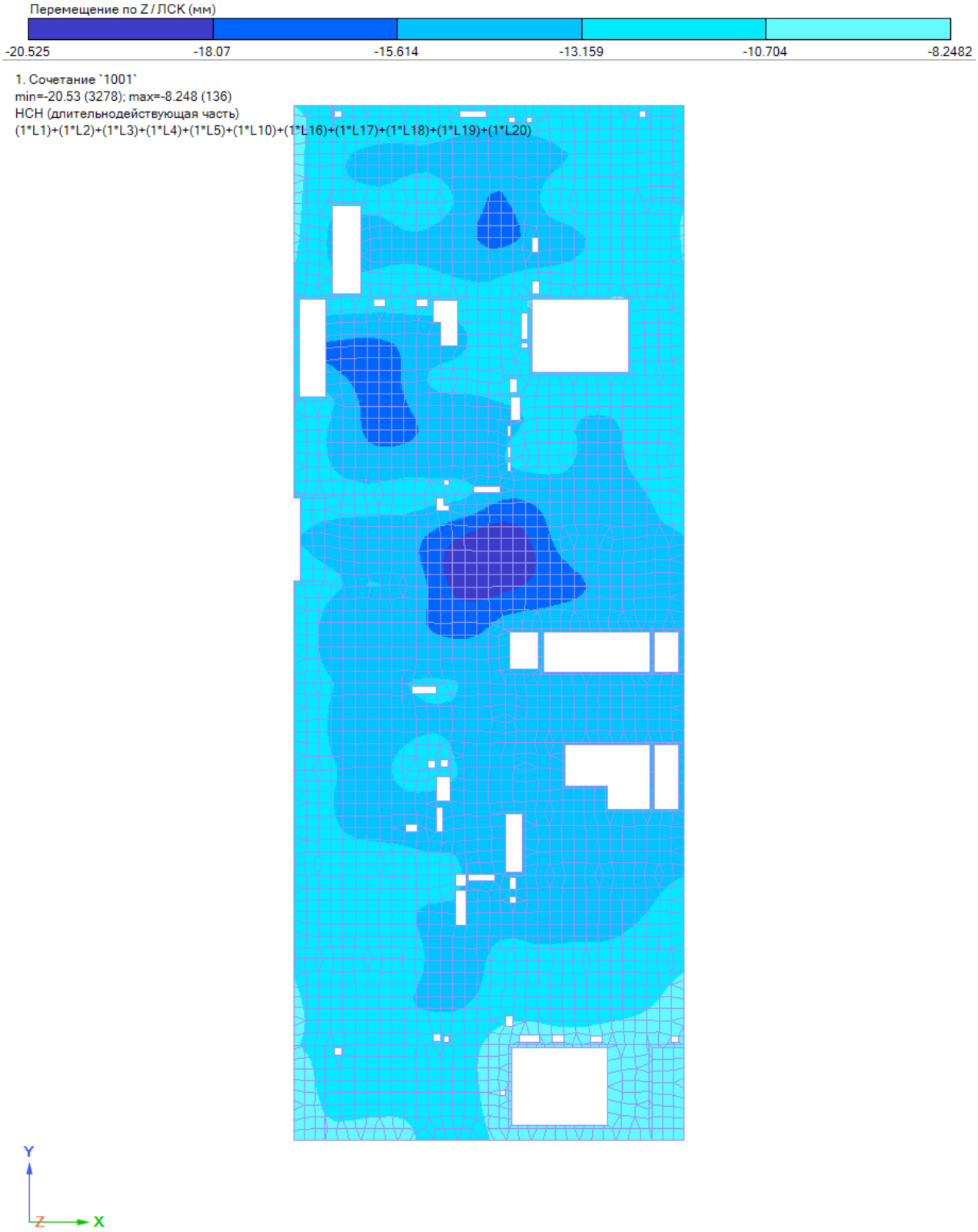
$$M = 1609\text{кНм} < M_{ult} = 2357\text{кНм}$$

Условие прочности выполняется

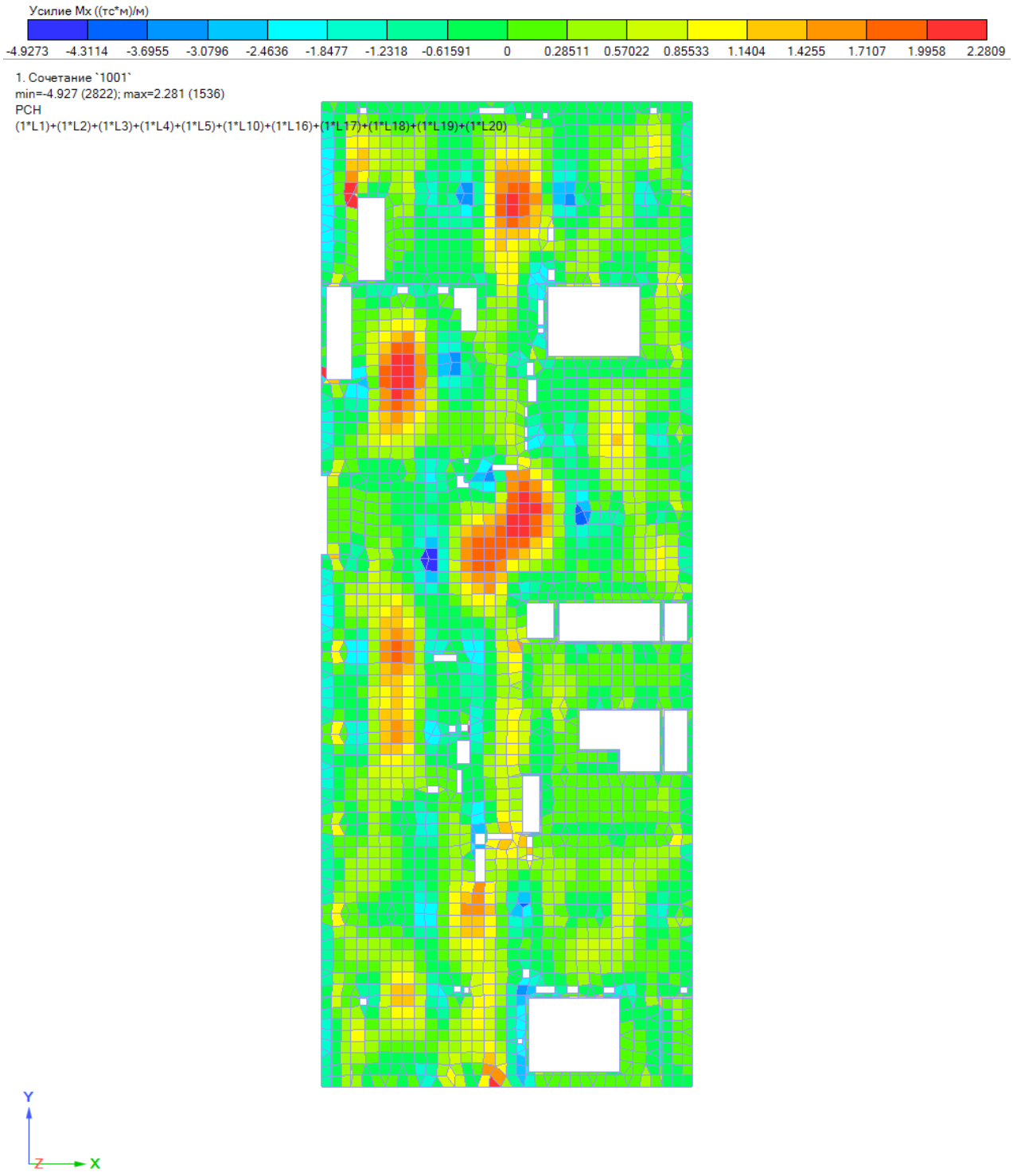
Коэффициент использования 0.6828



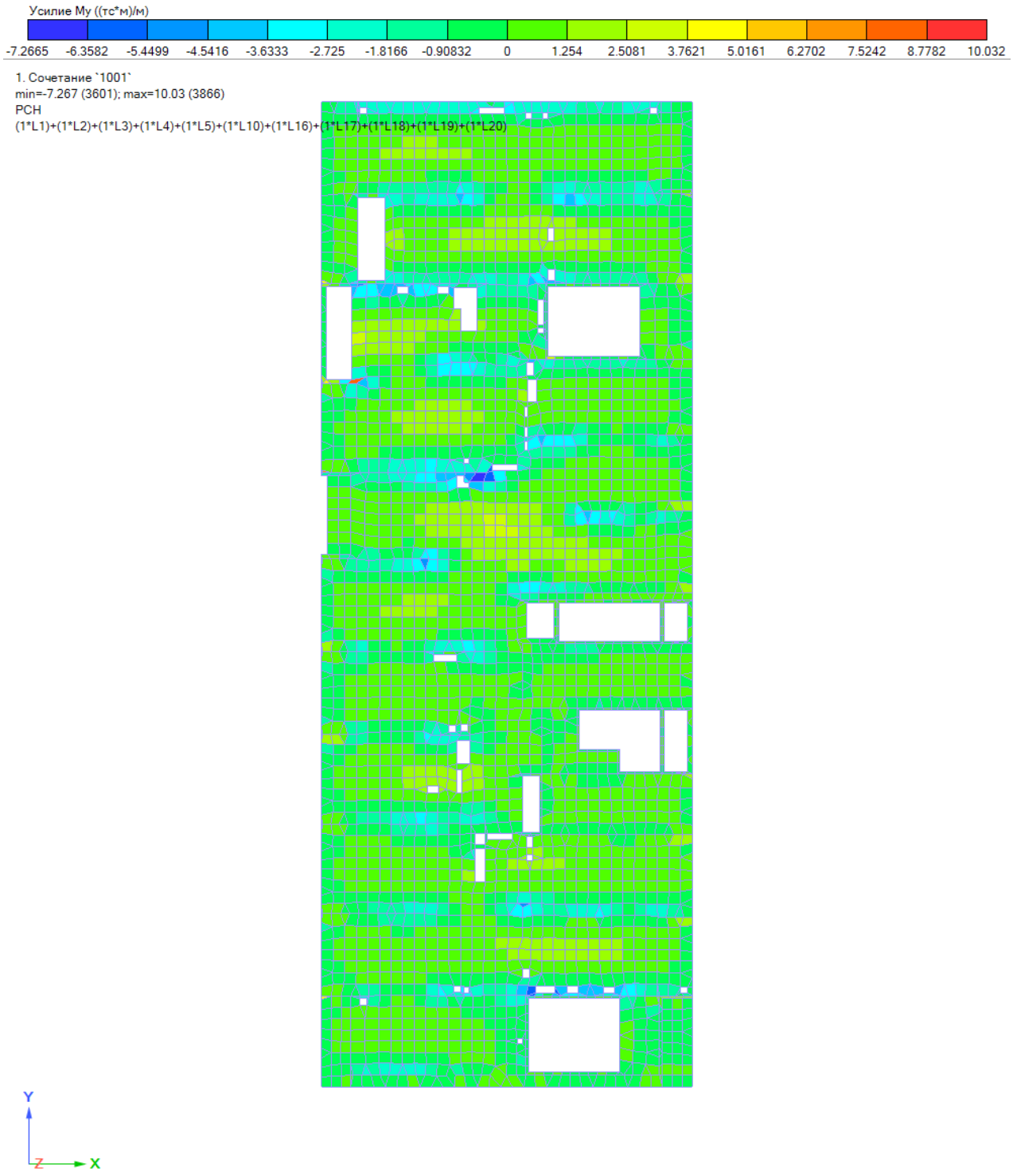
2.1. РАСЧЕТ ПЛИТ НА ОТМ. -0.100 (ПЛИТА НАД ПОДВАЛОМ)



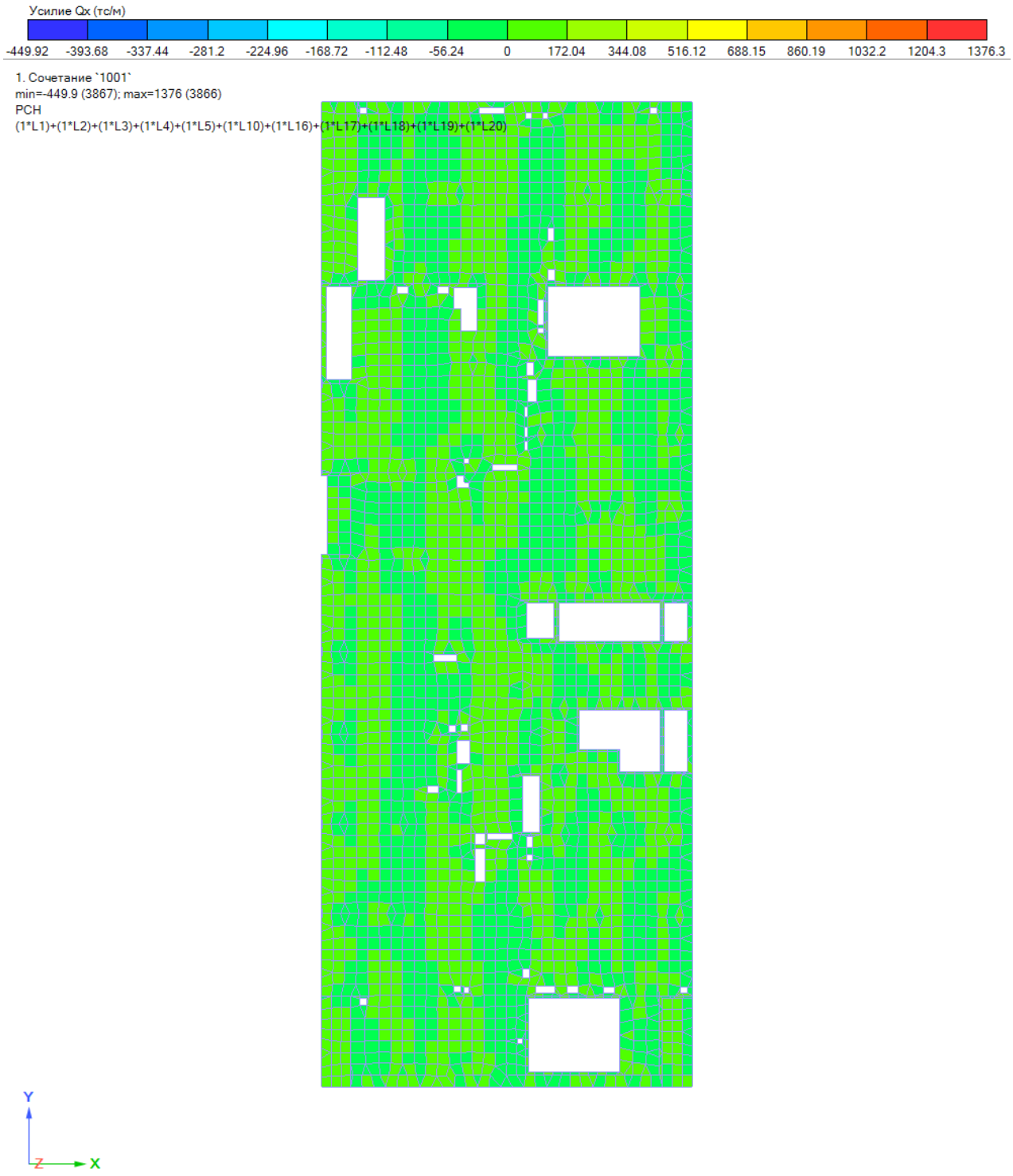
Изополя перемещения по Z, мм



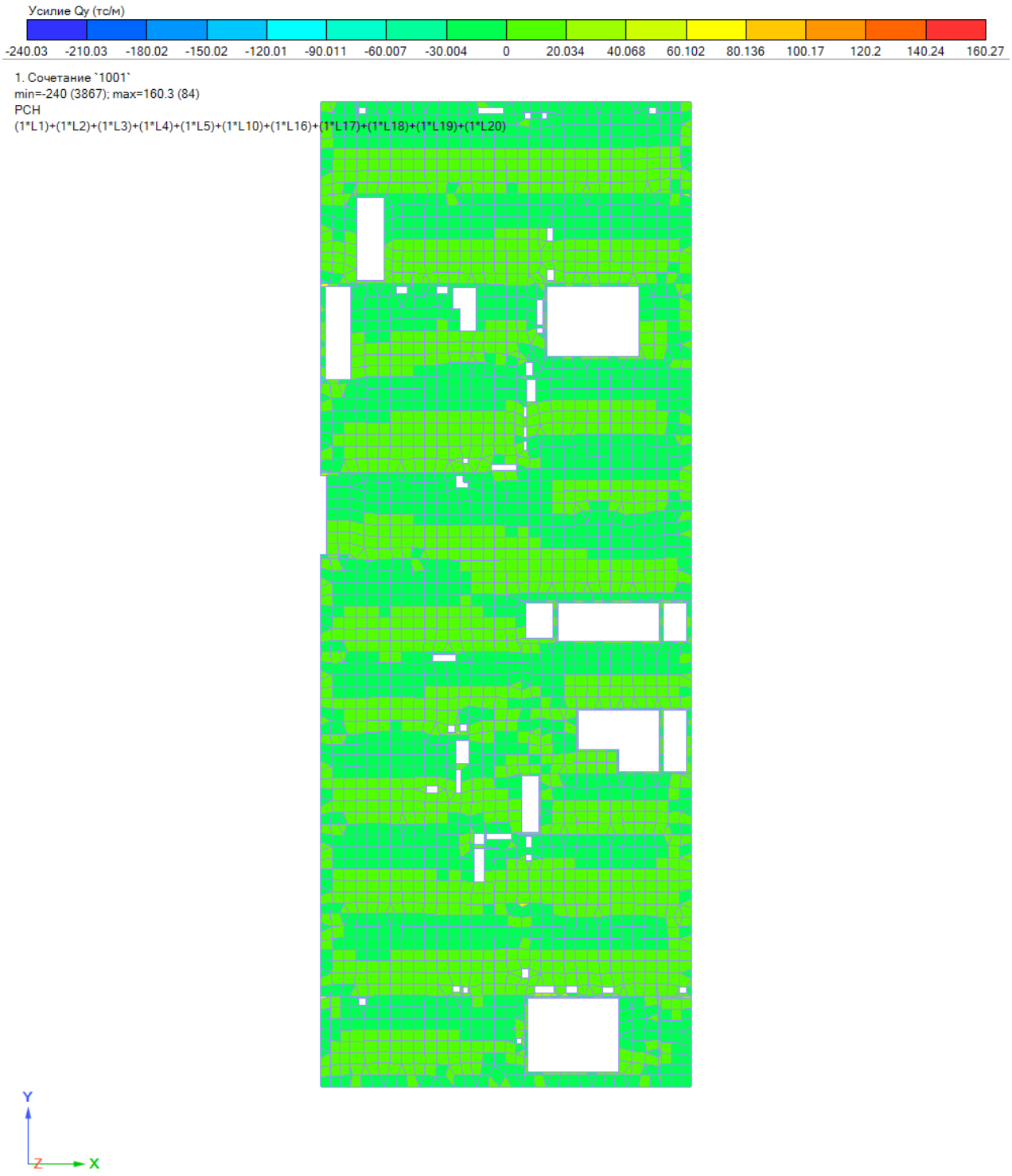
Изополя усилия Mx, тс*м/м



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qx, тс/м



Изополя усилия Qy, тс/м

Проверка сечения плиты в/о 1.Я/1.4-1.5 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 $M = 22.1\text{кНм}$
- Изгибающий момент от постоянной и длительной нагрузки $M_l = 21\text{кНм}$
- Продольная сила от полной нагрузки $N = 17.2\text{кН}$
- Продольная сила от постоянной и длительной нагрузки $N_l = 16.34\text{кН}$

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

$$h_0 = 0.2 - 0.04 = 0.16\text{м}$$

$$h_0' = 0.2 - 0.03 = 0.17\text{м}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} - Ne_x = 1750 \cdot 0.009 - 17.2 \cdot 0.034 = 15.17\text{кНм}$$

$$M = 22.1\text{кНм} > M_{crc} = 15.17\text{кНм, трещины образуются}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N_l}{A_{red}M_l} = 0.041 + \frac{6.910E-004\cdot 16.34}{0.206\cdot 21} = 0.039\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.039\cdot 1 = 0.0387\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0387 + 13.636\cdot 0.39\cdot 10^{-3} + 13.636\cdot 0.57\cdot 10^{-3} = 0.0518\text{м}^2$$

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

$$= 0.0387\left(0.2-\frac{0.039}{2}\right) + (0.39\cdot 10^{-3})\cdot 0.17\cdot 13.636 + (0.57\cdot 10^{-3})\cdot 0.16$$

$$\cdot 13.636 = 0.0082\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.2 - \frac{0.0082}{0.0518} = 0.041\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0-y_c)^2 = (0.57\cdot 10^{-3})\cdot(0.16-0.041)^2 = 7.949E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c-a')^2 = (0.39\cdot 10^{-3})\cdot(0.041-0.03)^2 = 5.095E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1\cdot\frac{0.041^3}{12} + 0.041\cdot 1\left(\frac{0.041}{2}\right) = 2.363E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 2.363E-005 + 7.949E-006\cdot 13.636 + 5.095E-008\cdot 13.636$$

$$= 1.327E-004\text{м}^4$$

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

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

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

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

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

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

Принимаем $l_s = 0.4$м

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M_l(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{21(0.16 - 0.041)}{1.327E-004} + \frac{16.34}{0.0518}\right)13.636 = 260168\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{15.17(0.16 - 0.041)}{1.327E-004} + \frac{16.34}{0.0518}\right)13.636 = 189210\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\ \frac{189210.3}{260167.72} = 0.418$$

$$a_{crc1} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.418\ \frac{260168}{200000000}\ 0.4 = 0.000183\text{м} = 0.183\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$a_{crc3} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.418\ \frac{260168}{200000000}\ 0.4 = 0.000131\text{м} = 0.131\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N}{A_{red}M} = 0.041 + \frac{6.910E-004 \cdot 17.2}{0.206 \cdot 22.1} = 0.039\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.039 \cdot 1 = 0.0387\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0387 + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 0.57 \cdot 10^{-3} = 0.0518\text{м}^2$$

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

$$= 0.0387\left(0.2 - \frac{0.039}{2}\right) + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.17 \cdot 13.636 + (0.57 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.16 \cdot 13.636$$

$$= 0.0082\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.2 - \frac{0.0082}{0.0518} = 0.041\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c) = (0.57 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.16 - 0.041) = 7.949E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a') = (0.39 \cdot 10^{-3})(0.041 - 0.03) = 5.095E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.041^3}{12} + 0.041 \cdot 1\left(\frac{0.041}{2}\right) = 2.363E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 2.363E-005 + 7.949E-006 \cdot 13.636 + 5.095E-008 \cdot 13.636 = 1.327E-004\text{м}^4$$

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

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

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

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

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

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

Принимаем $l_s = 0.4$м

$$\sigma_s = \left(\frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{22.1(0.16 - 0.041)}{1.327E-004} + \frac{17.2}{0.0518}\right)13.636 = 273861\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{15.17(0.16 - 0.041)}{1.327E-004} + \frac{17.2}{0.0518}\right)13.636 = 189437\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\,\frac{189436.81}{273860.76} = 0.447$$

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

$$a_{crc2} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.447\,\frac{273861}{200000000}\,0.4 = 0.000131\text{м} = 0.131\text{мм}$$

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

$$a_{crc1} = 0.183\text{мм} \le a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм}$$

Ширина продолжительного раскрытия трещин не превышает предельной

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.000183 + 0.000147 - 0.000131 = 0.000199\text{м} = 0.199\ \text{мм}$$

$$a_{crc} = 0.199\text{мм} \le a_{crc,ult} = 0.4\text{мм}$$

Ширина непродолжительного раскрытия трещин не превышает предельной.

ПРОВЕРКА ПО ПЕРВОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

$$R_s = 435000\text{кПа}$$

$$R_{sc} = 435000\text{кПа}$$

$$R_b = 17000\text{кПа}$$

$$\varepsilon_{b2} = 0.0042$$

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

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

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

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

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

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

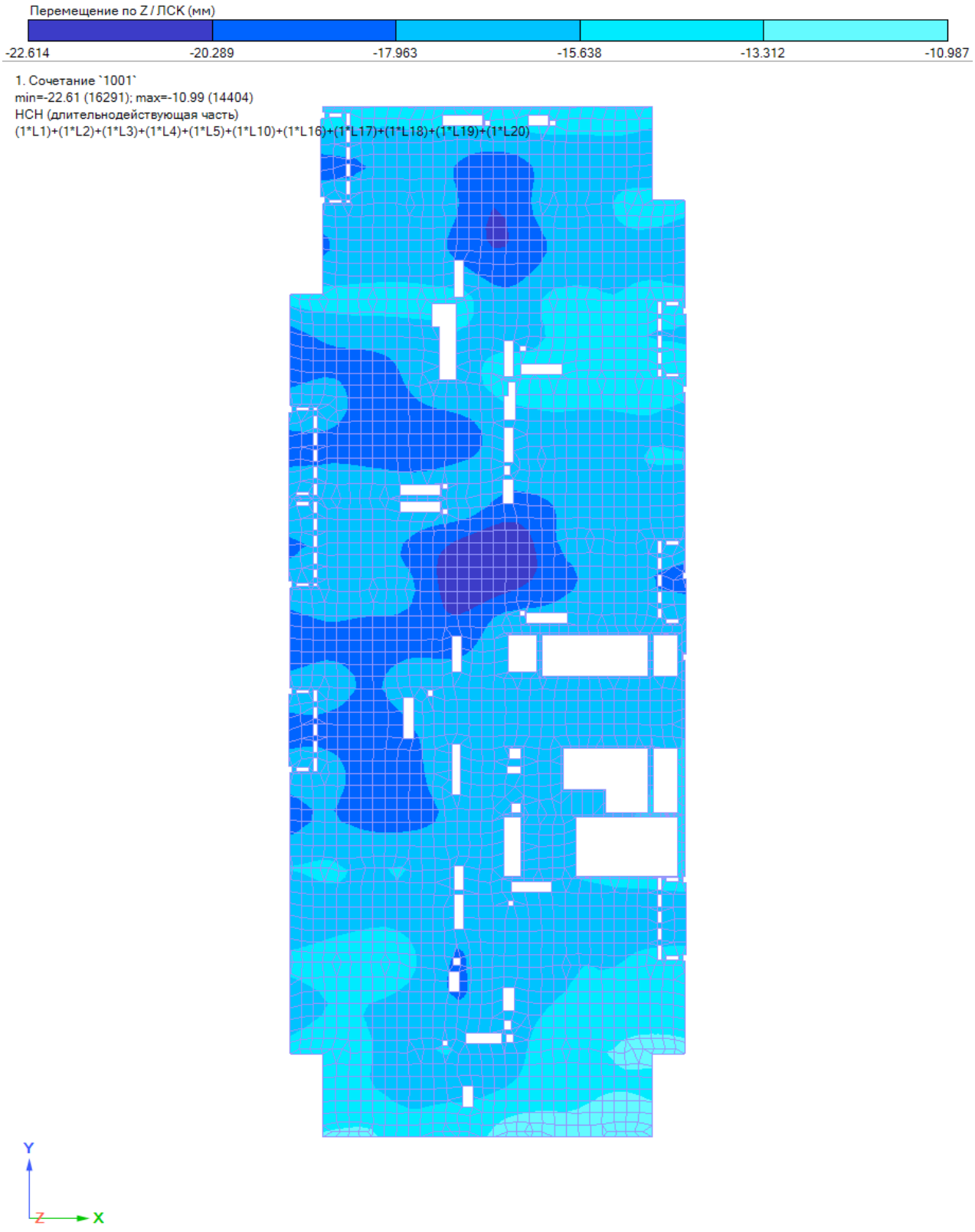
$$M = 29\text{кНм} < M_{ult} = 34\text{кНм}$$

Условие прочности выполняется

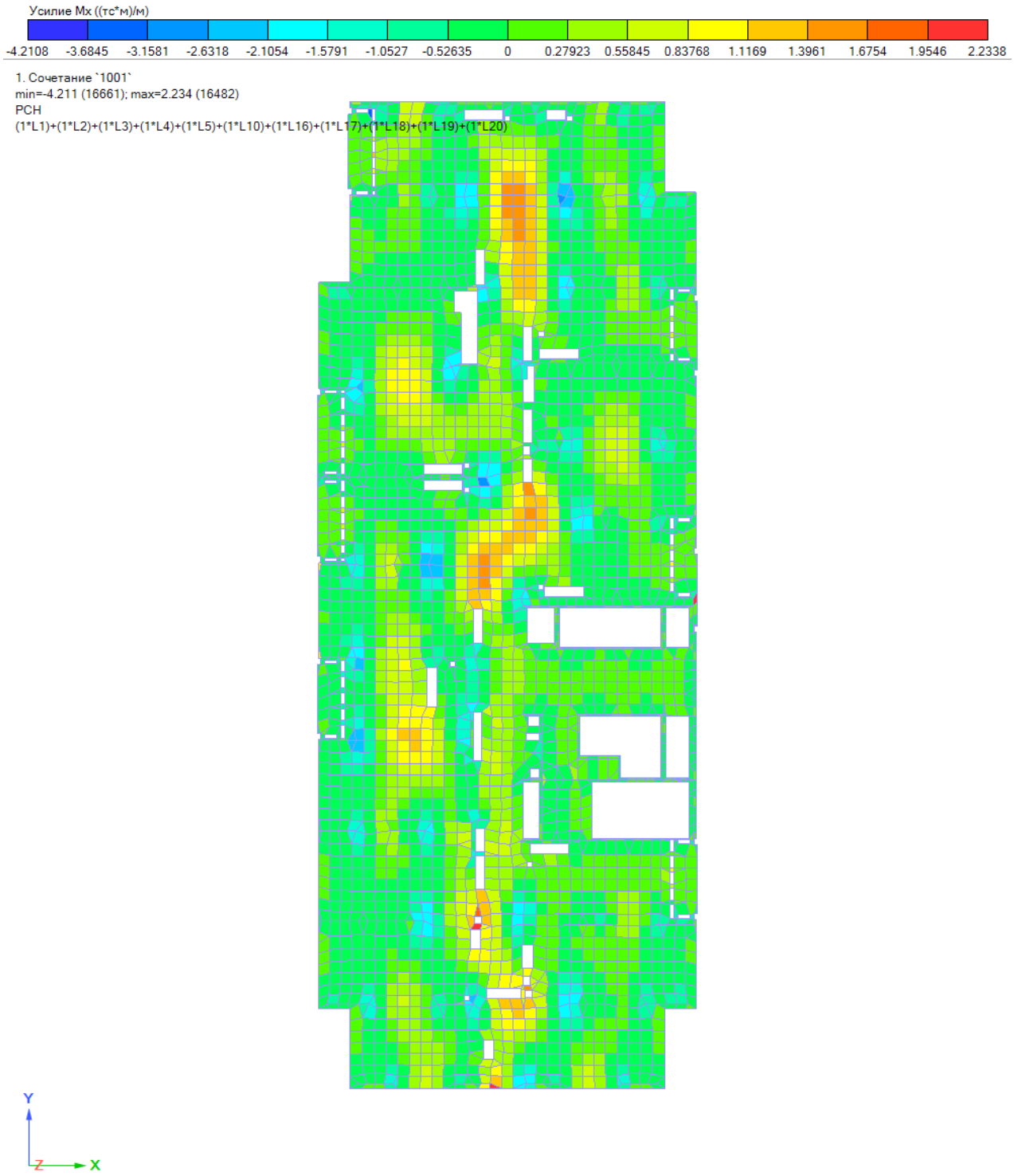
Коэффициент использования 0.8442



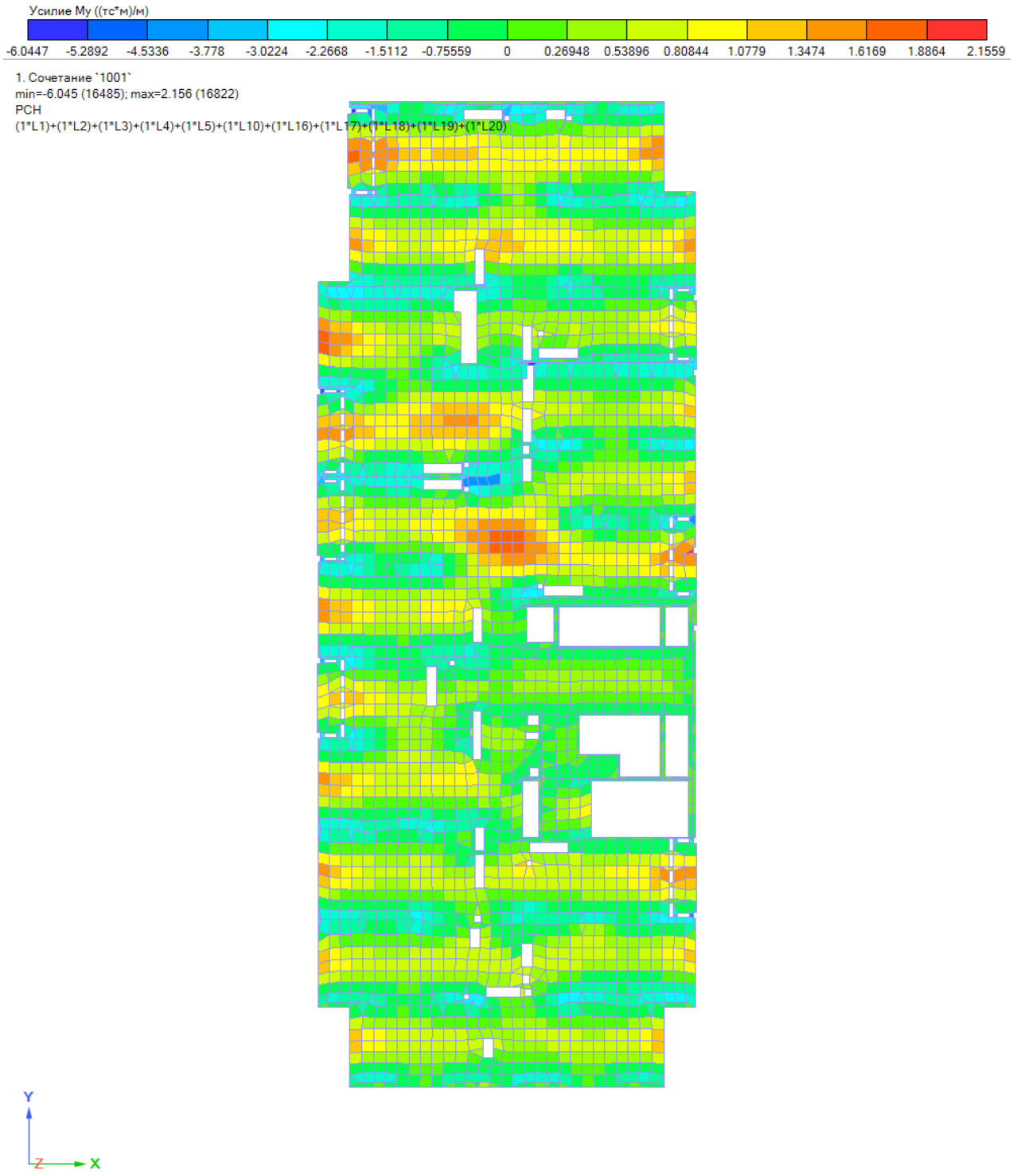
2.2. РАСЧЕТ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ НА ОТМ. +4.250, +7.250, +10.250, +13.250, +16.250, +19.250, +22.250, +25.250, +26.900, +28.250, +31.250, +34.250, +37.250, +40.250, +43.250, +46.250, +49.250, +52.250, +55.250, +58.250, +61.250, +64.250, +67.250, +70.250 (ТИПОВОЙ ЭТАЖ)



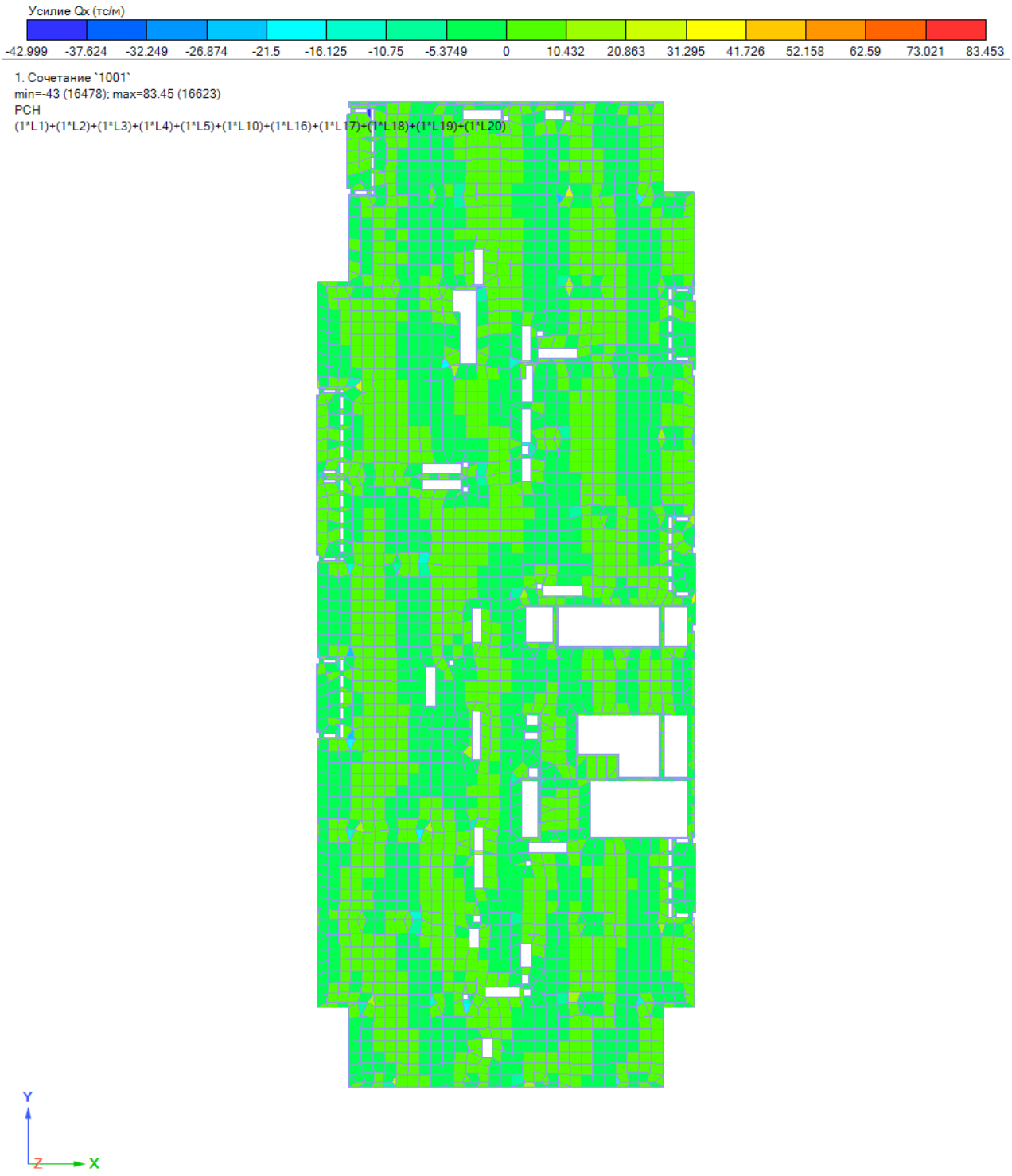
Изополя перемещения по Z, мм



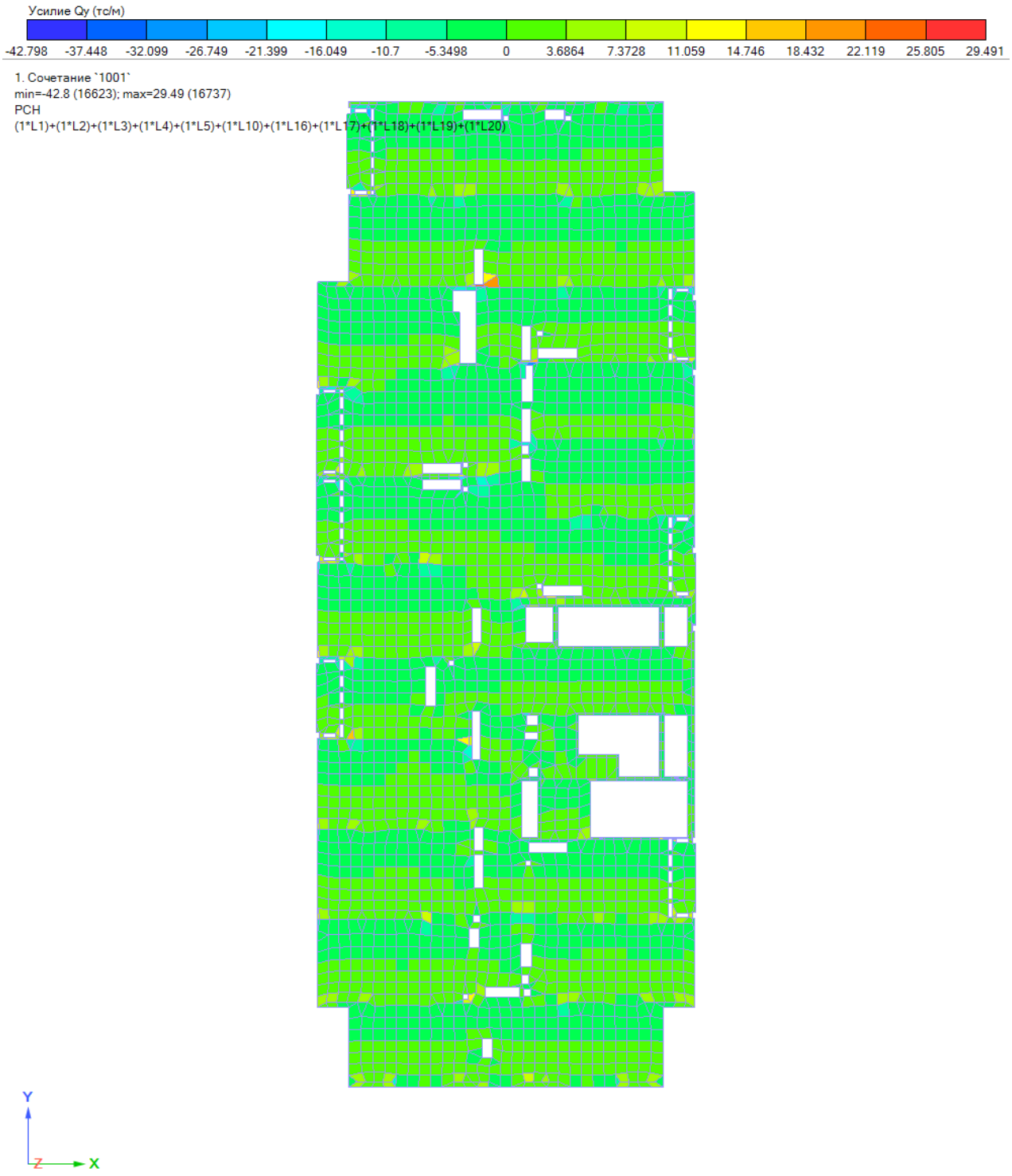
Изополя усилия Mx, тс*м/м



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qx, тс/м



Изополя усилия Qy, тс/м

Проверка сечения плиты в/о 1.Я/1.4-1.5 на отм. +4.250...+70.250 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 $M = 14.2\text{кНм}$
- Изгибающий момент от постоянной и длительной нагрузки $M_l = 13.49\text{кНм}$
- Продольная сила от полной нагрузки $N = 12.2\text{кН}$
- Продольная сила от постоянной и длительной нагрузки $N_l = 11.59\text{кН}$

ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЯ

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

- Класс бетона 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

$$h_0 = 0.18 - 0.04 = 0.14\text{м}$$

$$h_0' = 0.18 - 0.03 = 0.15\text{м}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} - Ne_x = 1750 \cdot 0.0072 - 12.2 \cdot 0.03 = 12.27\text{кНм}$$

$$M = 14.2\text{кНм} > M_{crc} = 12.27\text{кНм}, \text{трещины образуются}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N_l}{A_{red}M_l} = 0.033 + \frac{5.007E-004\cdot 11.59}{0.185\cdot 13.49} = 0.031\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.031\cdot 1 = 0.031\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.031 + 13.636\cdot 0.39\cdot 10^{-3} + 13.636\cdot 0.39\cdot 10^{-3} = 0.0417\text{м}^2$$

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

$$= 0.031\left(0.18 - \frac{0.031}{2}\right) + (0.39\cdot 10^{-3})\cdot 0.15\cdot 13.636 + (0.39\cdot 10^{-3})\cdot 0.14$$

$$\cdot 13.636 = 0.0061\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.18 - \frac{0.0061}{0.0417} = 0.033\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c)^2 = (0.39\cdot 10^{-3})\cdot(0.14 - 0.033)^2 = 4.469E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a')^2 = (0.39\cdot 10^{-3})\cdot(0.033 - 0.03)^2 = 4.431E-009\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1\cdot\frac{0.033^3}{12} + 0.033\cdot 1\left(\frac{0.033}{2}\right) = 1.237E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 1.237E-005 + 4.469E-006\cdot 13.636 + 4.431E-009\cdot 13.636$$

$$= 7.338E-005\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.18 - 0.031 = 0.149\text{м}$$

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

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

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

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

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

Принимаем $l_s = 0.4$м

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M_l(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{13.49(0.14 - 0.033)}{7.338E - 005} + \frac{11.59}{0.0417}\right)13.636 = 271131\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{12.27(0.14 - 0.033)}{7.338E - 005} + \frac{11.59}{0.0417}\right)13.636 = 247008\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\ \frac{247007.76}{271130.67} = 0.271$$

$$a_{crc1} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.271\ \frac{271131}{200000000}\ 0.4 = 0.000124\text{м} = 0.124\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$a_{crc3} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.271\ \frac{271131}{200000000}\ 0.4 = 0.000088\text{м} = 0.088\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N}{A_{red}M} = 0.033\ + \frac{5.007E - 004 \cdot 12.2}{0.185 \cdot 14.2} = 0.031\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.031 \cdot 1 = 0.031\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.031 + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} = 0.0417\text{м}^2$$

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

$$= 0.031\left(0.18 - \frac{0.031}{2}\right) + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.15 \cdot 13.636 + (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.14 \cdot 13.636$$

$$= 0.0061\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.18\ - \frac{0.0061}{0.0417} = 0.033\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c) = (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.14\ -\ 0.033) = 4.469E - 006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a') = (0.39 \cdot 10^{-3})(0.033\ -\ 0.03) = 4.431E - 009\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.033^3}{12} + 0.033 \cdot 1\left(\frac{0.033}{2}\right) = 1.237E - 005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 1.237E-005 + 4.469E-006 \cdot 13.636 + 4.431E-009 \cdot 13.636 = 7.338E-005\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.18 - 0.031 = 0.149\text{м}$$

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

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

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

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

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

Принимаем $l_s = 0.4$м

$$\sigma_s = \left(\frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{14.2(0.14 - 0.033)}{7.338E-005} + \frac{12.2}{0.0417}\right)13.636 = 285401\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{12.27(0.14 - 0.033)}{7.338E-005} + \frac{12.2}{0.0417}\right)13.636 = 247207\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\frac{247207.31}{285400.7} = 0.307$$

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

$$a_{crc2} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.307\frac{285401}{200000000}0.4 = 0.000088\text{м} = 0.088\text{мм}$$

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

$$a_{crc1} = 0.124\text{мм} \le a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм}$$

Ширина продолжительного раскрытия трещин не превышает предельной

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.000124 + 0.000105 - 0.000088 = 0.00014\text{м} = 0.14\ \text{мм}$$

$$a_{crc} = 0.14\text{мм} \le a_{crc,ult} = 0.4\text{мм}$$

Ширина непродолжительного раскрытия трещин не превышает предельной.

ПРОВЕРКА ПО ПЕРВОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

$$R_s = 435000\text{кПа}$$

$$R_{sc} = 435000\text{кПа}$$

$$R_b = 17000\text{кПа}$$

$$\varepsilon_{b2} = 0.0042$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

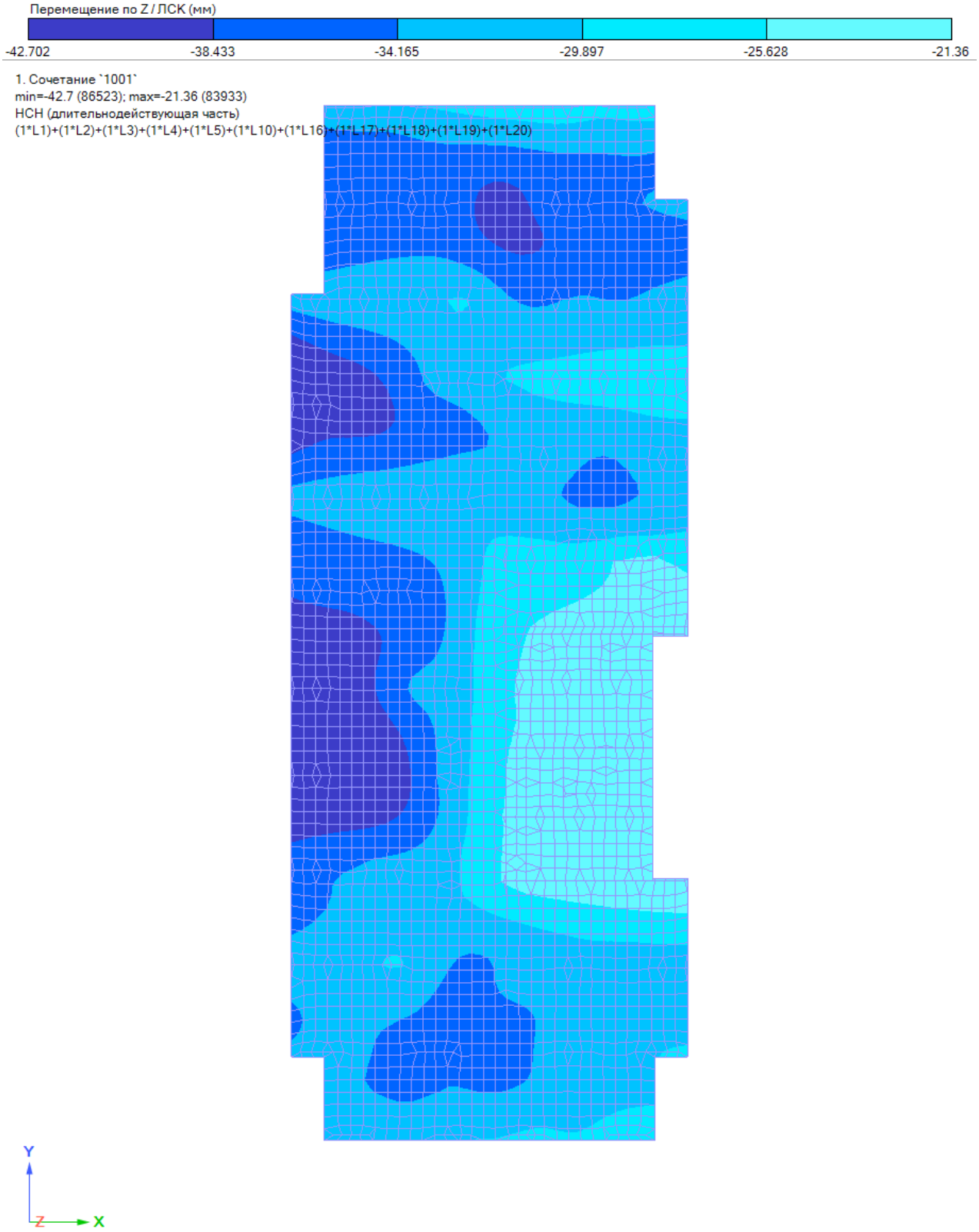
$$M = 18\text{кНм} < M_{ult} = 23\text{кНм}$$

Условие прочности выполняется

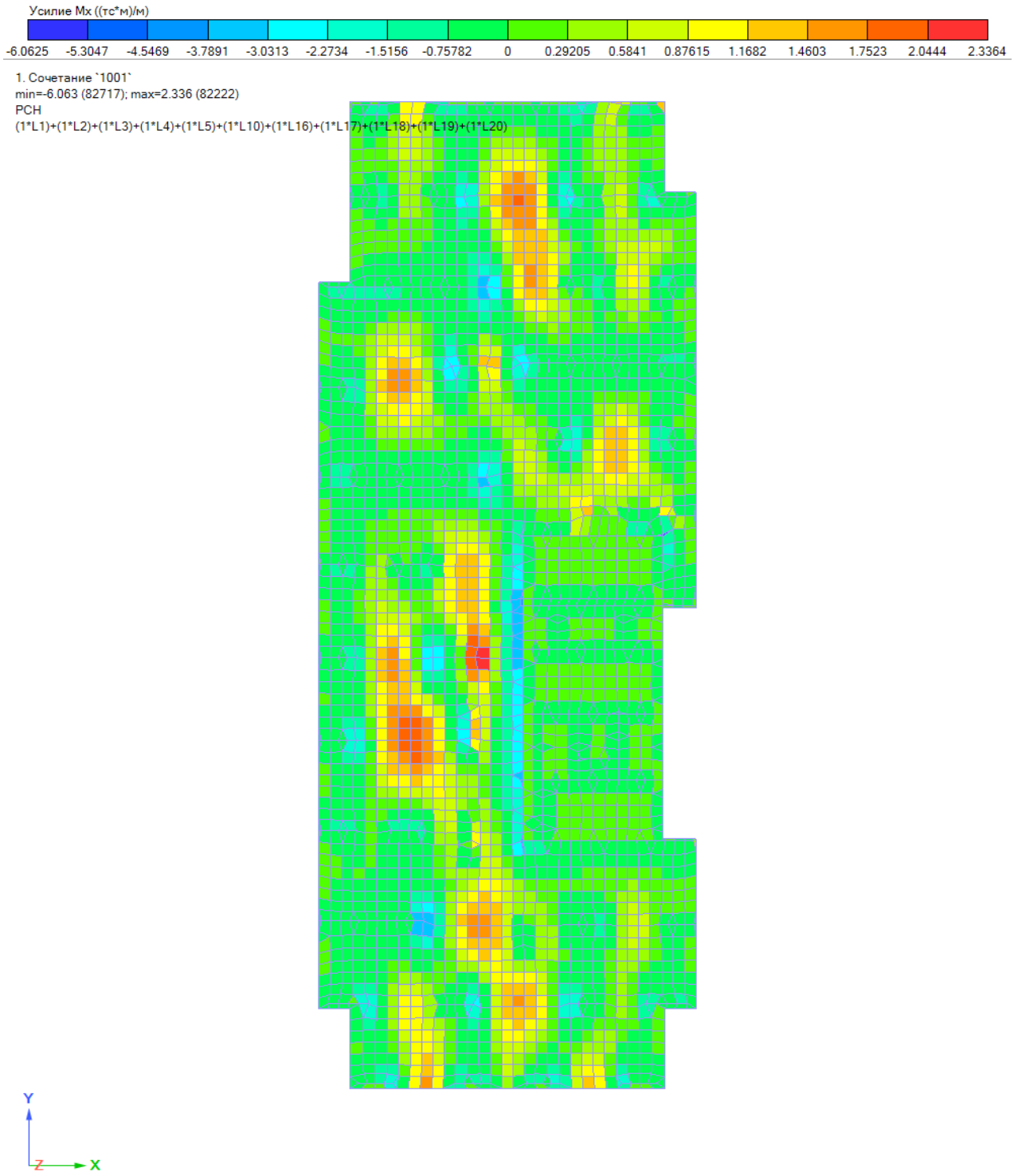
Коэффициент использования 0.8



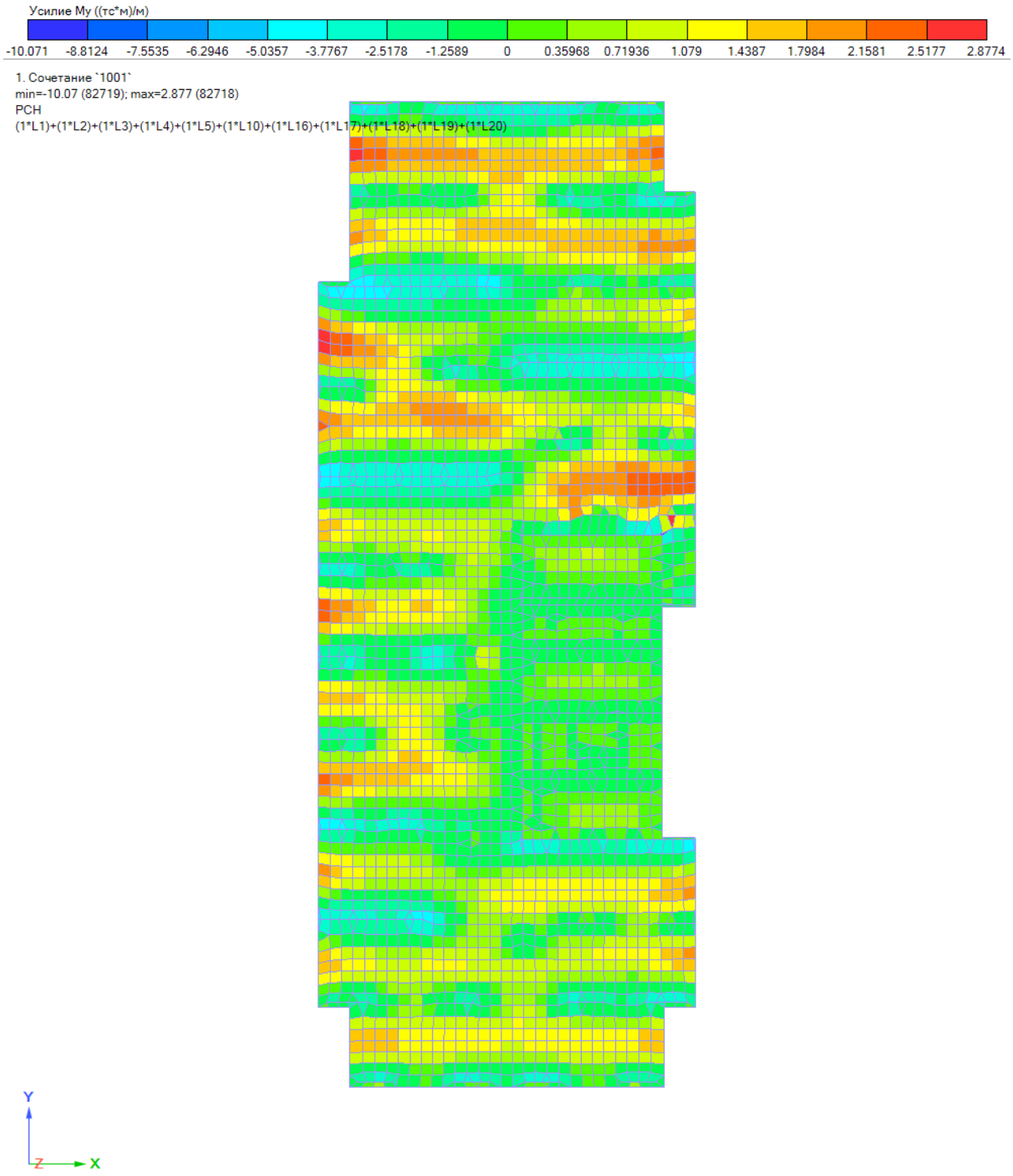
2.3. РАСЧЕТ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ НА ОТМ. +72.250



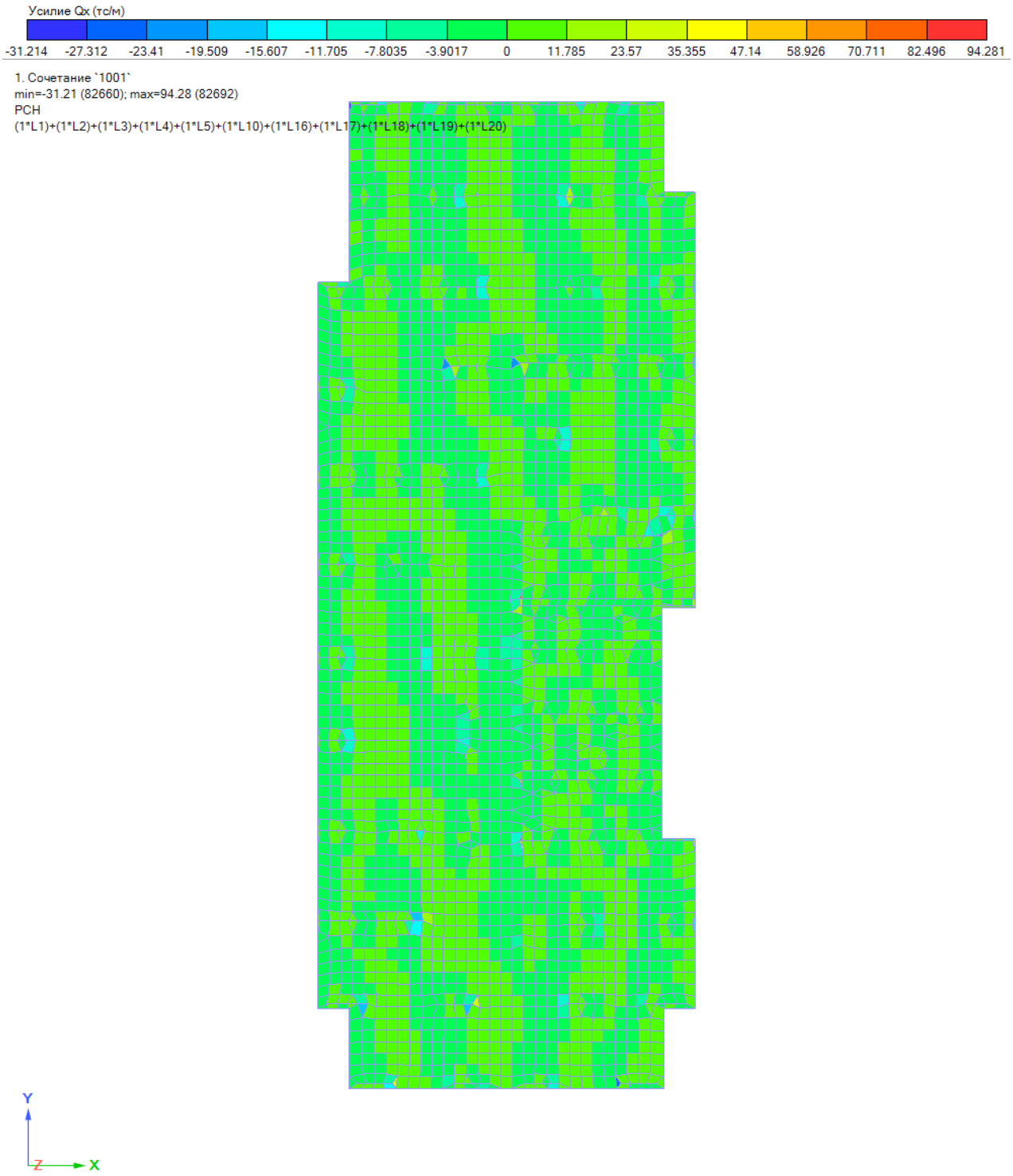
Изополя перемещения по Z, мм



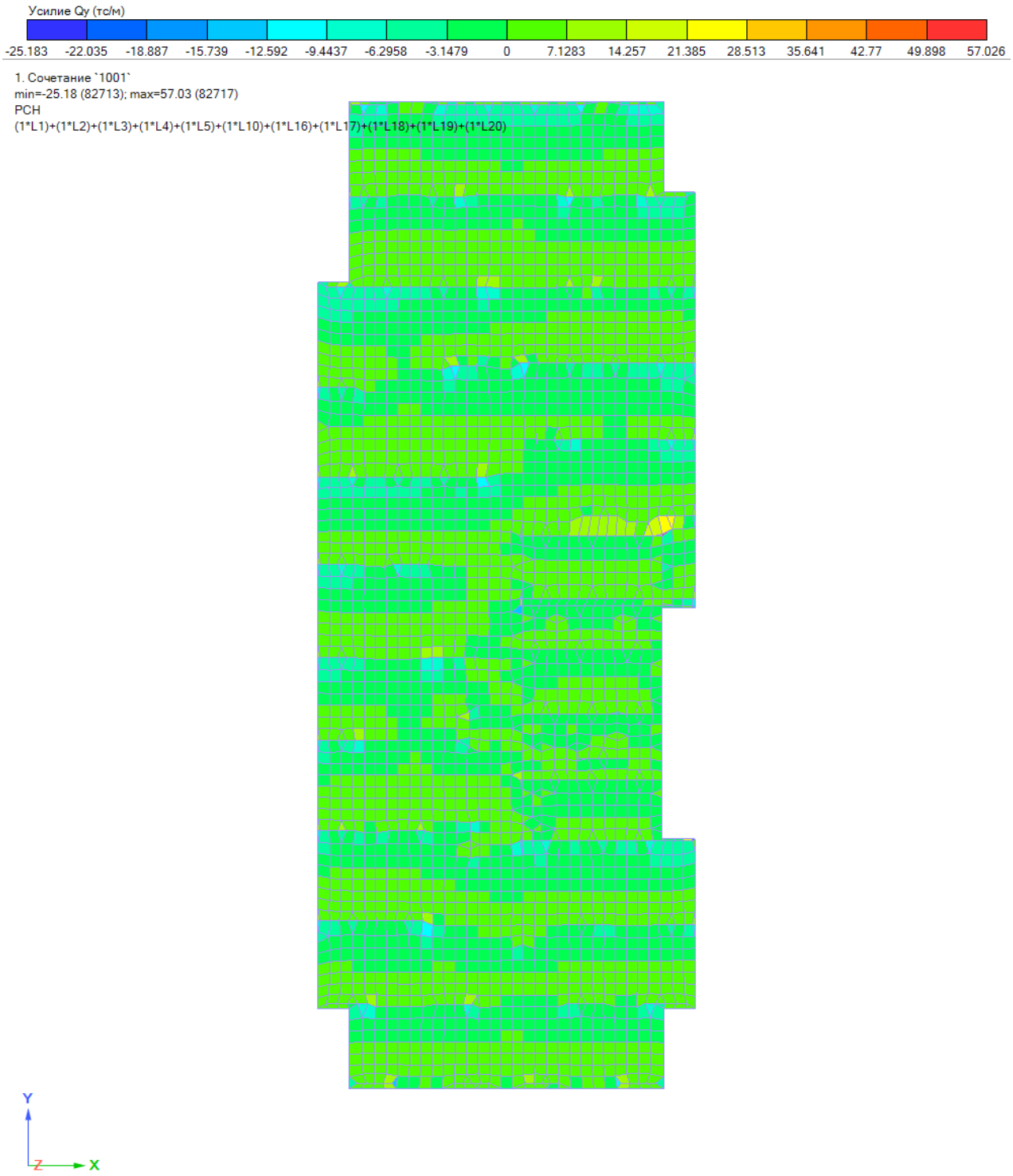
Изополя усилия Mx, тс*м/м



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qx, тс/м



Изополя усилия Qy, тс/м

Проверка сечения плиты в/о 1.ББ-1.ВВ/1.1-1.2 на отм. +72.250 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)

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

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Изгибающий момент от полной нагрузки $M = 22.2\text{кНм}$
- Изгибающий момент от постоянной и длительной нагрузки $M_l = 21.09\text{кНм}$
- Продольная сила от полной нагрузки $N = 24.7\text{кН}$
- Продольная сила от постоянной и длительной нагрузки $N_l = 23.47\text{кН}$

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

$$h_0 = 0.2 - 0.04 = 0.16\text{м}$$

$$h_0' = 0.2 - 0.03 = 0.17\text{м}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} - Ne_x = 1750 \cdot 0.009 - 24.7 \cdot 0.034 = 14.92\text{кНм}$$

$$M = 22.2\text{кНм} > M_{crc} = 14.92\text{кНм, трещины образуются}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N_l}{A_{red}M_l} = 0.041 + \frac{6.910E-004\cdot 23.47}{0.206\cdot 21.09} = 0.038\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.038\cdot 1 = 0.0376\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0376 + 13.636\cdot 0.39\cdot 10^{-3} + 13.636\cdot 0.57\cdot 10^{-3} = 0.0507\text{м}^2$$

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

$$= 0.0376\left(0.2-\frac{0.038}{2}\right) + (0.39\cdot 10^{-3})\cdot 0.17\cdot 13.636 + (0.57\cdot 10^{-3})\cdot 0.16$$

$$\cdot 13.636 = 0.008\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.2 - \frac{0.008}{0.0507} = 0.041\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0-y_c)^2 = (0.57\cdot 10^{-3})\cdot(0.16-0.041)^2 = 7.939E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c-a')^2 = (0.39\cdot 10^{-3})\cdot(0.041-0.03)^2 = 5.160E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1\cdot\frac{0.041^3}{12} + 0.041\cdot 1\left(\frac{0.041}{2}\right) = 2.375E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 2.375E-005 + 7.939E-006\cdot 13.636 + 5.160E-008\cdot 13.636$$

$$= 1.327E-004\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.2 - 0.038 = 0.162\text{м}$$

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

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

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

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

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

Принимаем $l_s = 0.4$м

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M_l(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{21.09(0.16 - 0.041)}{1.327E-004} + \frac{23.47}{0.0507}\right)13.636 = 263182\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{14.92(0.16 - 0.041)}{1.327E-004} + \frac{23.47}{0.0507}\right)13.636 = 188039\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\,\frac{188039.29}{263182.03} = 0.428$$

$$a_{crc1} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.428\,\frac{263182}{200000000}\,0.4 = 0.000189\text{м} = 0.189\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$a_{crc3} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.428\,\frac{263182}{200000000}\,0.4 = 0.000135\text{м} = 0.135\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N}{A_{red}M} = 0.041 + \frac{6.910E-004 \cdot 24.7}{0.206 \cdot 22.2} = 0.038\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.038 \cdot 1 = 0.0376\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0376 + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 0.57 \cdot 10^{-3} = 0.0507\text{м}^2$$

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

$$= 0.0376\left(0.2 - \frac{0.038}{2}\right) + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.17 \cdot 13.636 + (0.57 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.16 \cdot 13.636$$

$$= 0.008\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.2 - \frac{0.008}{0.0507} = 0.041\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c) = (0.57 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.16 - 0.041) = 7.939E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a') = (0.39 \cdot 10^{-3})(0.041 - 0.03) = 5.160E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.041^3}{12} + 0.041 \cdot 1\left(\frac{0.041}{2}\right) = 2.375E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 2.375E-005 + 7.939E-006 \cdot 13.636 + 5.160E-008 \cdot 13.636 = 1.327E-004\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.2 - 0.038 = 0.162\text{м}$$

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{22.2(0.16 - 0.041)}{1.327E-004} + \frac{24.7}{0.0507}\right)13.636 = 277034\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{14.92(0.16 - 0.041)}{1.327E-004} + \frac{24.7}{0.0507}\right)13.636 = 188372\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\,\frac{188371.79}{277033.72} = 0.456$$

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

$$a_{crc2} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.456\,\frac{277034}{200000000}\,0.4 = 0.000135\text{м} = 0.135\text{мм}$$

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

$$a_{crc1} = 0.189\text{мм} \le a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм}$$

Ширина продолжительного раскрытия трещин не превышает предельной

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.000189 + 0.000152 - 0.000135 = 0.000206\text{м} = 0.206\ \text{мм}$$

$$a_{crc} = 0.206\text{мм} \le a_{crc,ult} = 0.4\text{мм}$$

Ширина непродолжительного раскрытия трещин не превышает предельной.

ПРОВЕРКА ПО ПЕРВОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

$$R_s = 435000\text{кПа}$$

$$R_{sc} = 435000\text{кПа}$$

$$R_b = 17000\text{кПа}$$

$$\varepsilon_{b2} = 0.0042$$

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

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

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

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

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

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

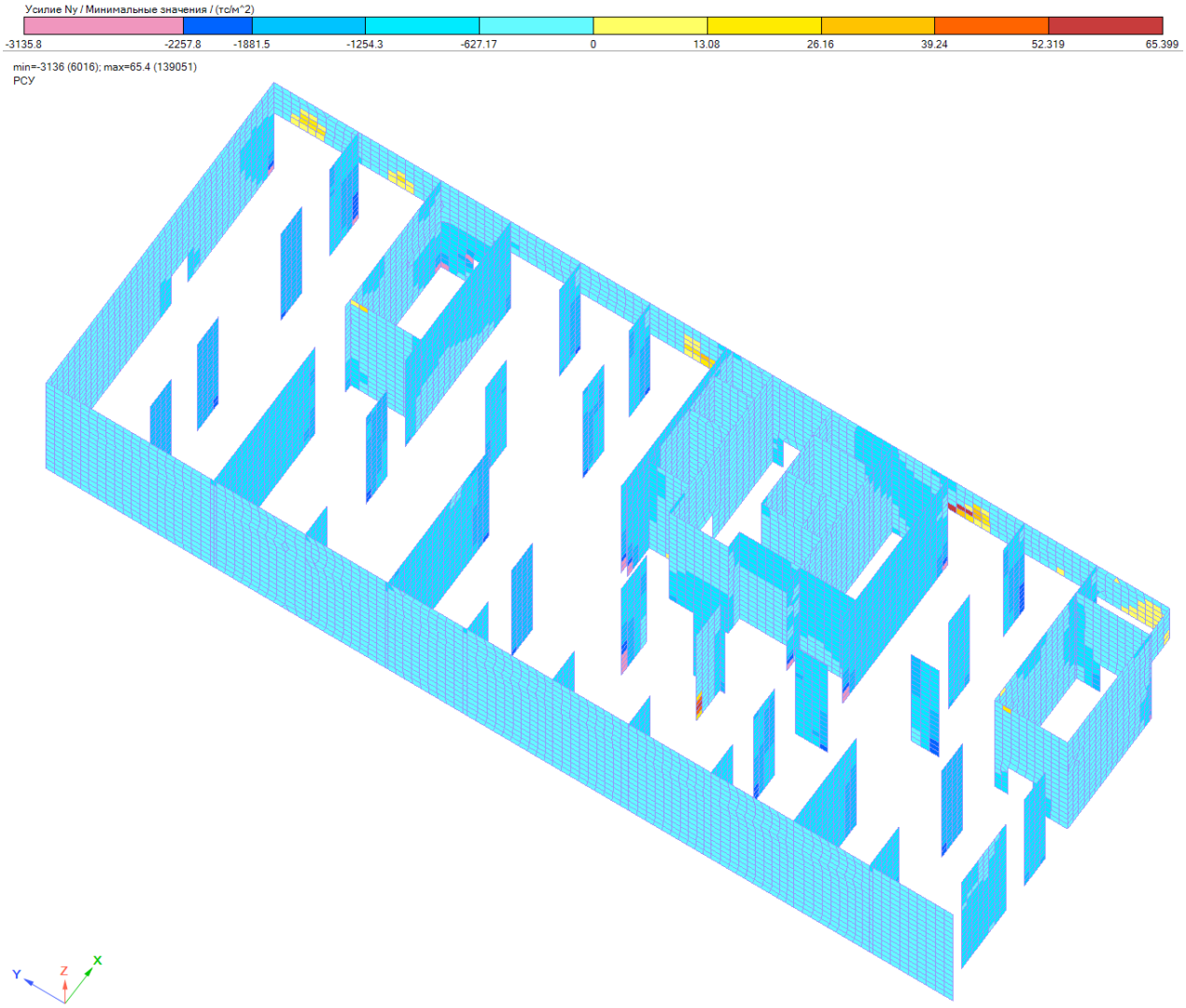
$$M = 29\text{кНм} < M_{ult} = 34\text{кНм}$$

Условие прочности выполняется

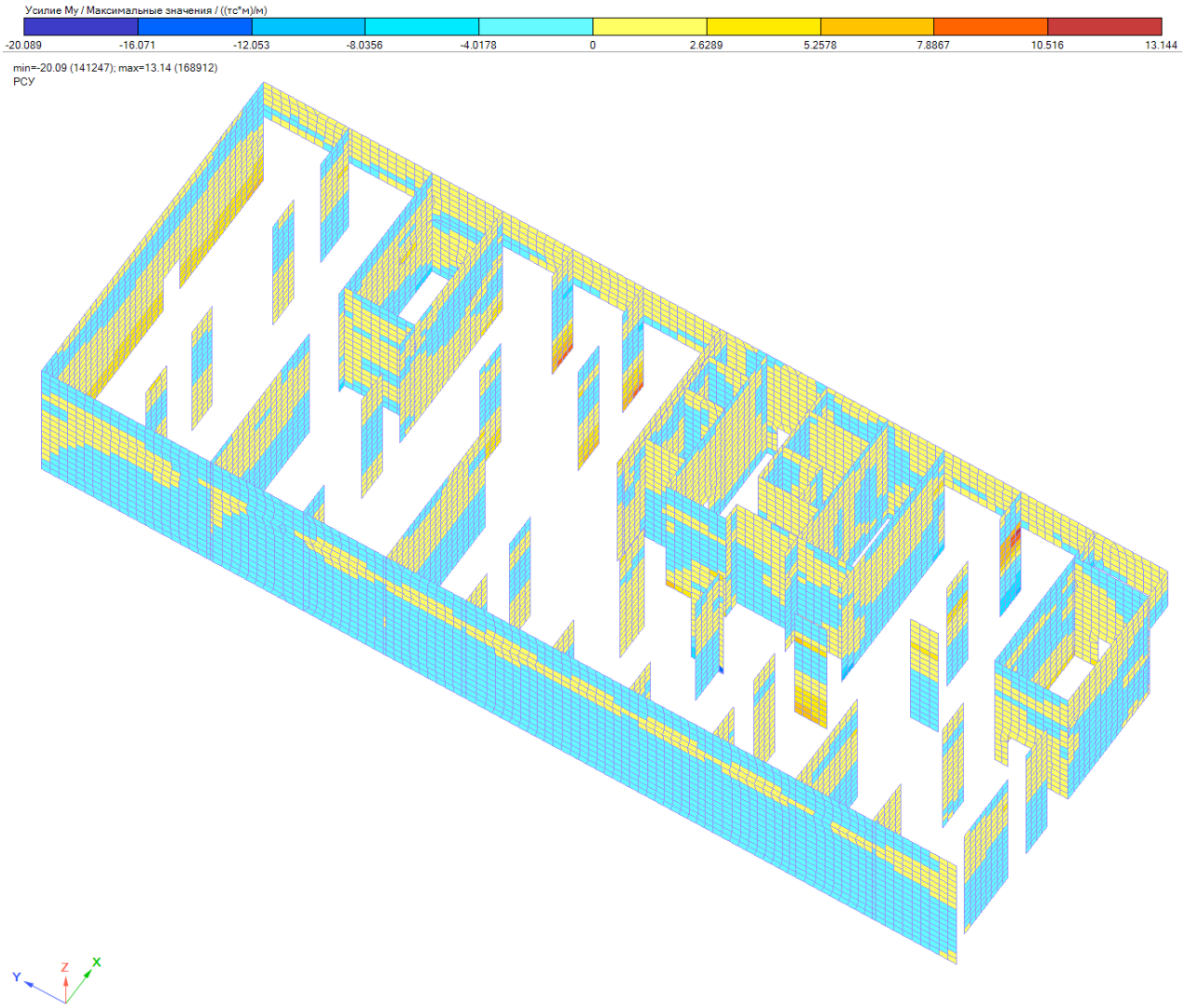
Коэффициент использования 0.8481



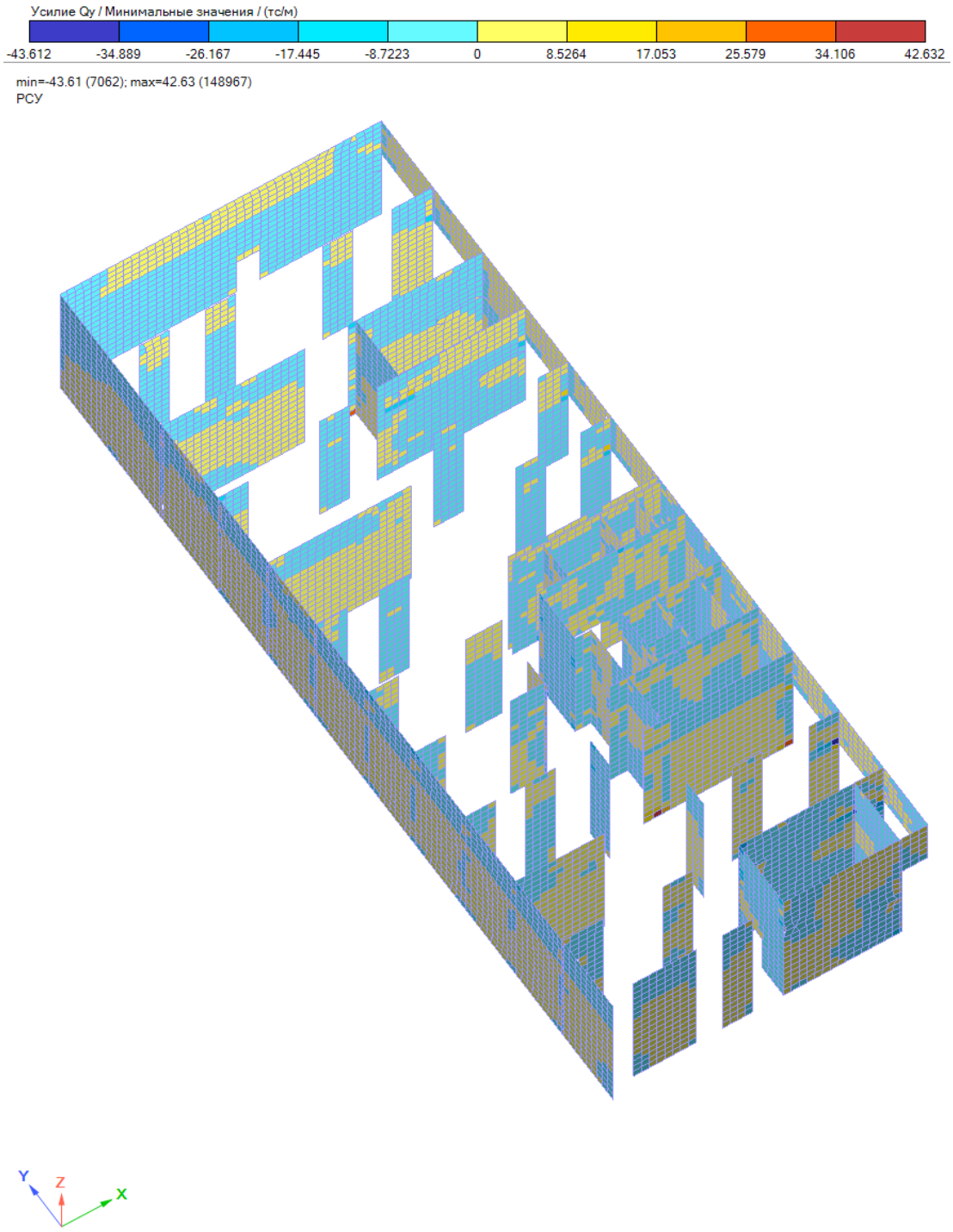
3. РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ОТМ. -7.200



Изополя усилия Ny, тс*/м2



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qy, тс/м

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 300ММ В/О 1.2-1.3/1.Ю 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 $N = -7560{,}0$ 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 - 2хØ28, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 7хØ28, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

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

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

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

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

Радиусы инерции сечения:

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

Гибкости колонны:

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

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

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

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

$$e_{a(x,y)} \geq 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-7560{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{11{,}0}{-7560{,}0}\right| = 0{,}001 \text{ м}$$

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

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

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

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

Окончательно принимается:

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

Коэффициенты k_b:

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

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

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

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

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

Условная критическая сила:

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

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

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{7560{,}0}{127689{,}7}} = 1{,}063$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{7560{,}0}{15379{,}7}} = 1{,}967$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

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

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1{,}967 \cdot 11{,}0 = 21{,}6 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 288550{,}9\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 34557{,}3\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

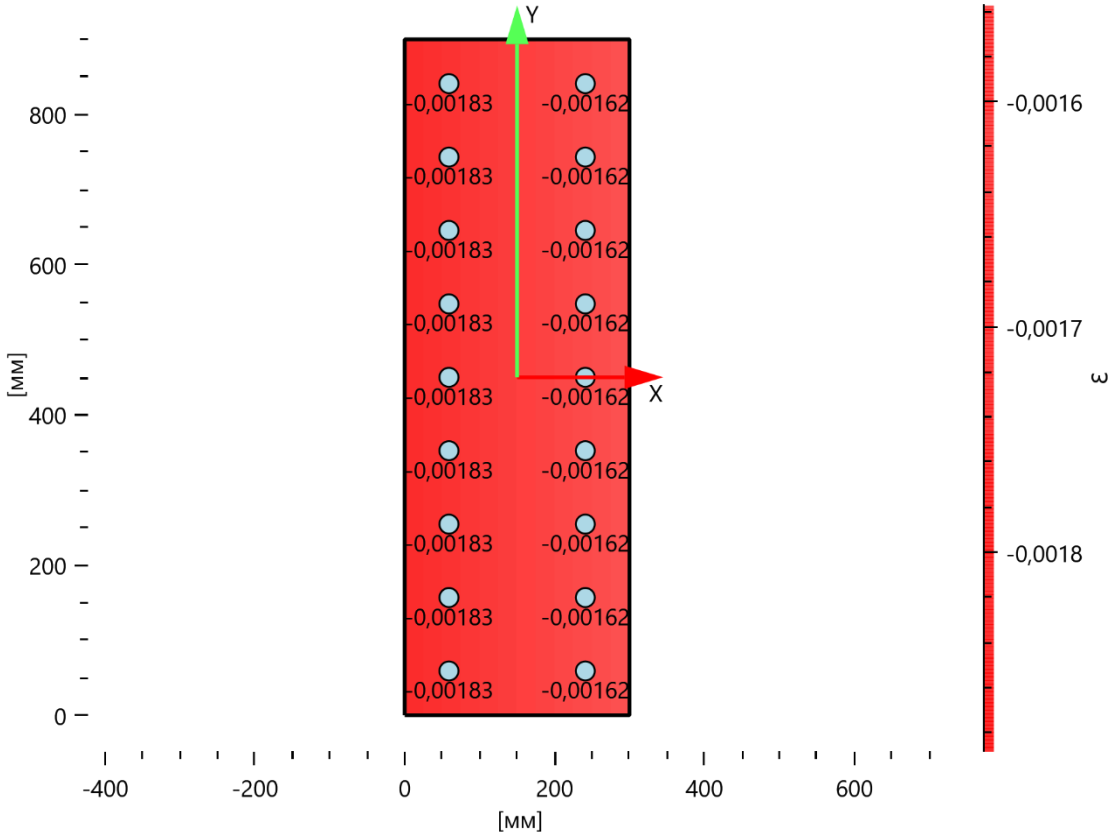
$$D_{12} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 11083{,}9\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 4396107{,}4\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

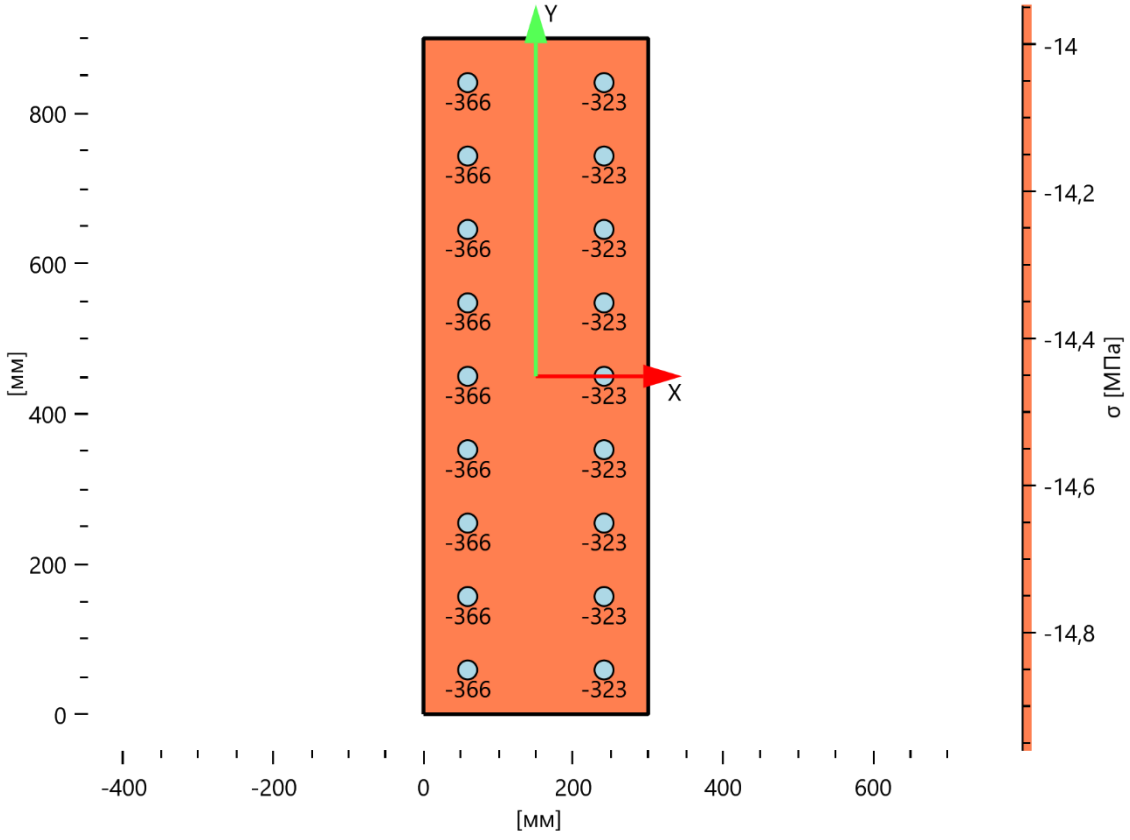
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00117860;\ \varepsilon_0 = -0{,}00172268$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}001885$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}001561}{-0{,}001885} = 0{,}002258$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001885| = 0{,}001885 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}002258$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость		45.3	120
Деформации сжатия в бетоне		-1.88‰	-2.26‰
Деформации растяжения в арматуре		0.00‰	25.00‰
Процент использования по N		95%	
Процент использования по Mx		0%	
Процент использования по My		38%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 250ММ В/О 1.6-1.8/1.Я-1.АА 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 $N = -3556{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 57{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

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

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

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

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

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

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

Радиусы инерции сечения:

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

Гибкости колонны:

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

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

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

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-3556{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{57{,}0}{-3556{,}0}\right| = 0{,}016 \text{ м}$$

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:

$$e_{0,x} = 0{,}025 \text{ м};\ e_{0,y} = \ 0{,}016 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

$$0{,}15 \le \delta_{e,y} = \frac{e_{0,y}}{b} = \frac{0{,}016}{0{,}25} = 0{,}064 \le 1{,}5$$

Окончательно принимается:

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

Коэффициенты k_b:

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

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

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

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

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

Условная критическая сила:

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

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

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{3556,0}{61482,0}} = 1,061$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{3556,0}{6689,5}} = 2,135$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1,061 \cdot 0,0 = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 2,135 \cdot 57,0 = 121,7 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 182016,3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 17320,7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

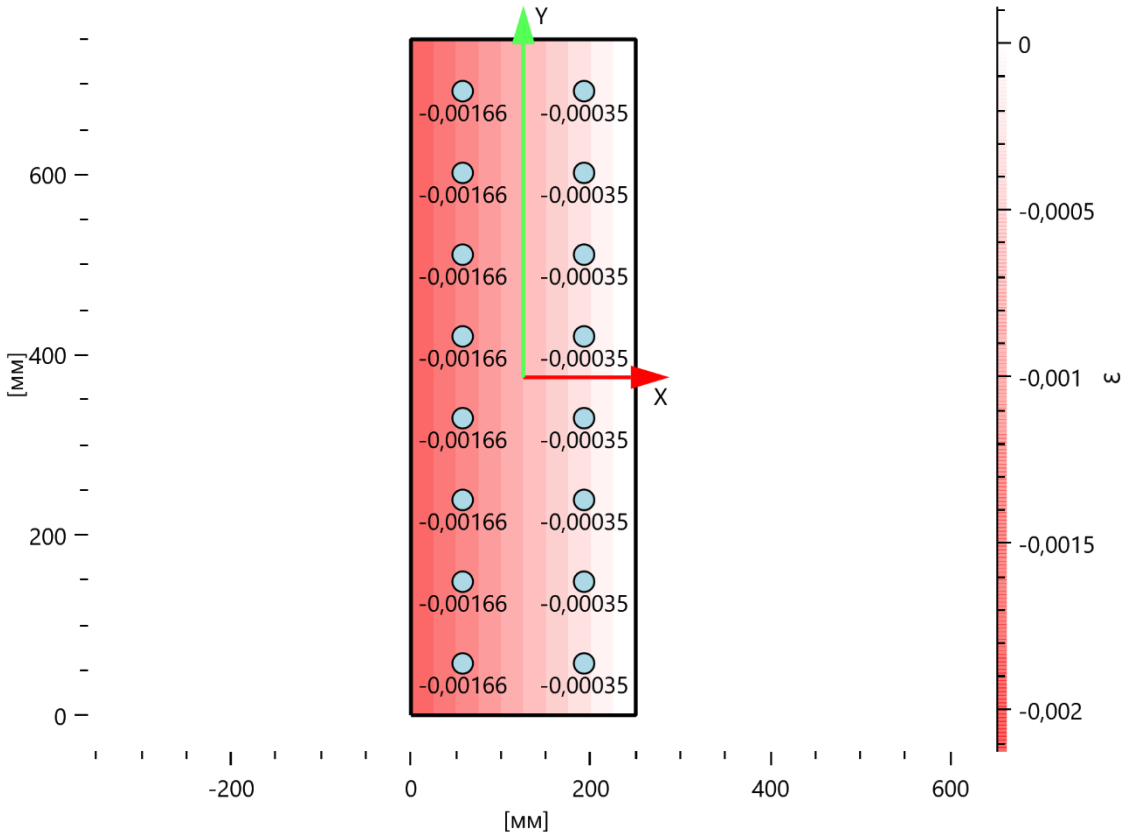
$$D_{12} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 46944,3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 3997070,8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

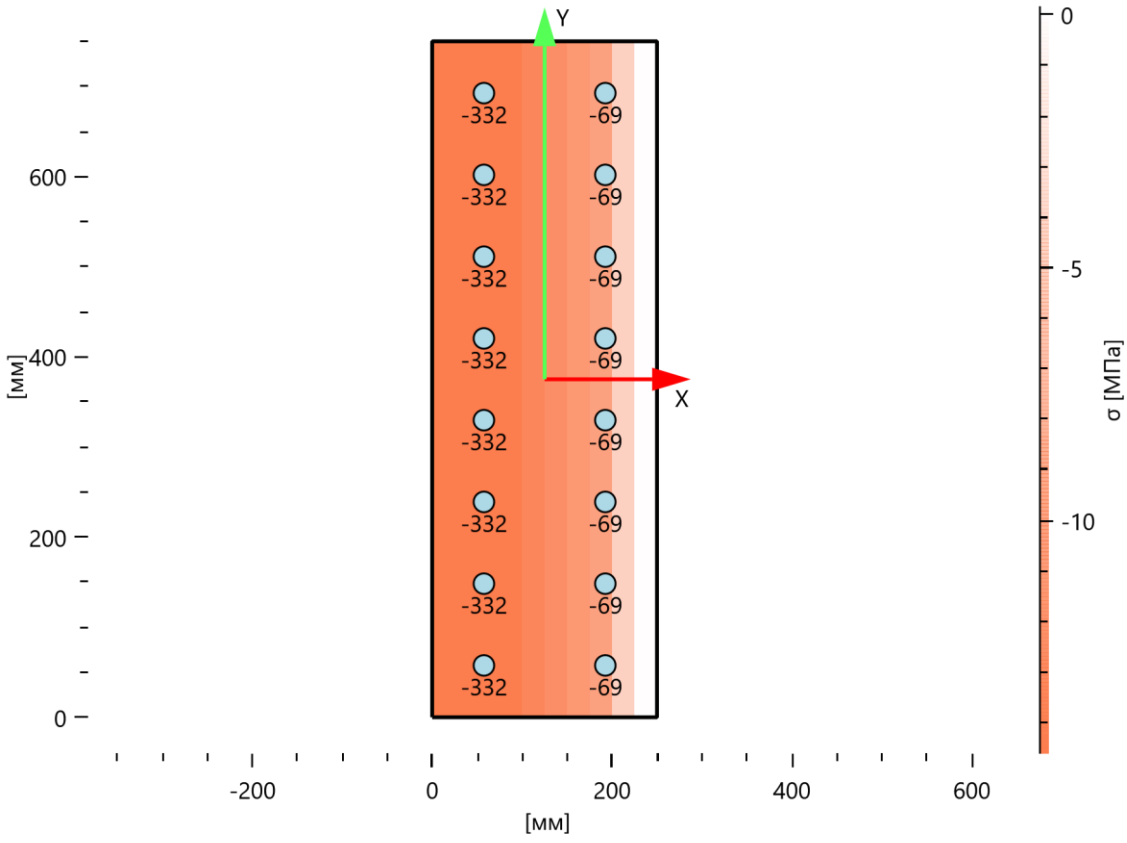
$$\frac{1}{r_x} = 0,00000000; \frac{1}{r_y} = 0,00974644;\ \varepsilon_0 = -0,00100412$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0,002101$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



						17-0121-ОК-1-П-КР4.4	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		100

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:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}002101| = 0{,}002101 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003500$$

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

выполняются, то прочность сечения колонны обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	54.3	120	
Деформации сжатия в бетоне	-2.10‰	-3.50‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	91%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	76%		

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ ПОДВАЛА ТОЛЩ. 250ММ В/О 1.ВВ-1.ДД/1.1 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 $N = -1357{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 87{,}0$ 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 - 2хØ16, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 3хØ16, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

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

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

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

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

Радиусы инерции сечения:

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

Гибкости колонны:

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

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

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

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-1357{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{87{,}0}{-1357{,}0}\right| = 0{,}064 \text{ м}$$

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:

$$e_{0,x} = 0{,}033 \text{ м};\ e_{0,y} = 0{,}064 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

$$0{,}15 \le \delta_{e,y} = \frac{e_{0,y}}{b} = \frac{0{,}064}{0{,}25} = 0{,}256 \le 1{,}5$$

Окончательно принимается:

$$\delta_{e,x} = 0{,}150;\ \delta_{e,y} = 0{,}256$$

Коэффициенты k_b:

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

$$k_{b,y} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,y})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}256)} = 0{,}142$$

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

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

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}142 \cdot 32500000 \cdot 0{,}001302 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000010 = 7419{,}4 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

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

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 7419{,}4}{3{,}92^2} = 4765{,}4 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{1357{,}0}{93624{,}1}} = 1{,}015$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{1357,0}{4765,4}} = 1,398$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

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

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1,398 \cdot 87,0 = 121,6 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 240568,8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 10490,1 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

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

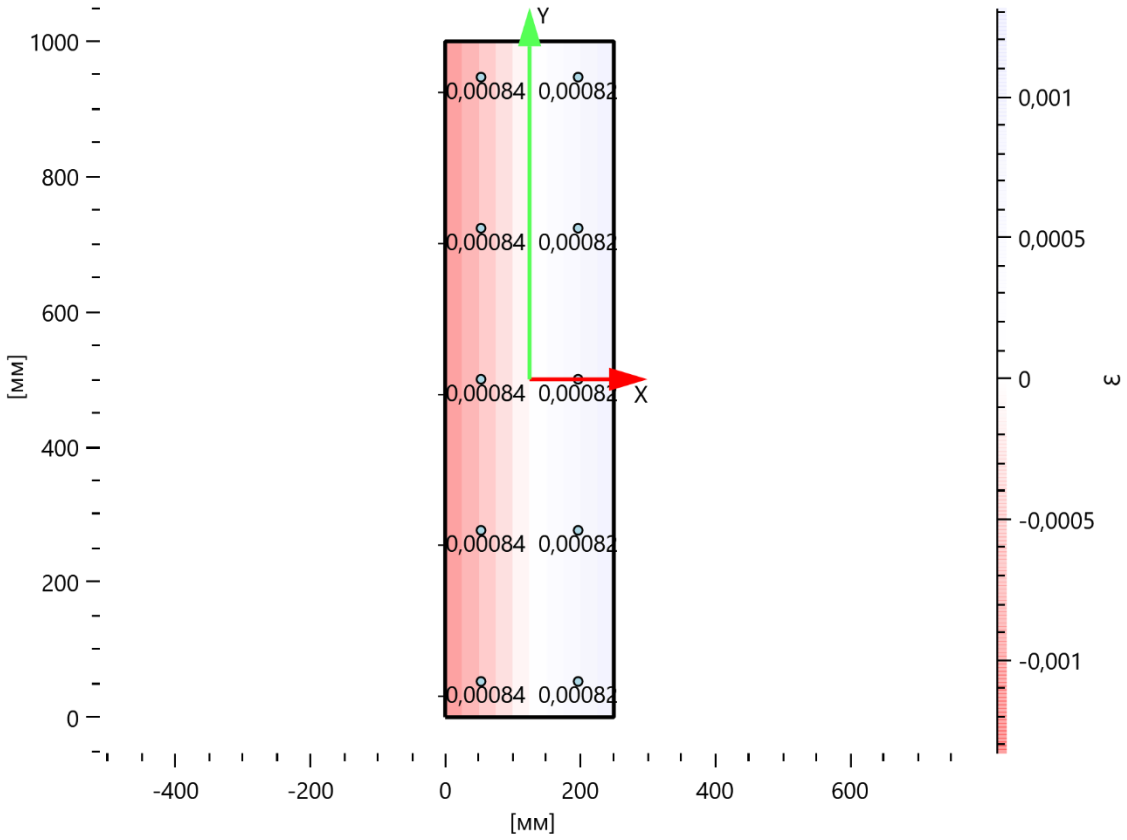
$$D_{23} = -116191,3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 2811318,7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$\frac{1}{r_x} = 0,00000000; \frac{1}{r_y} = 0,01152500;\ \varepsilon_0 = -0,00000636$$

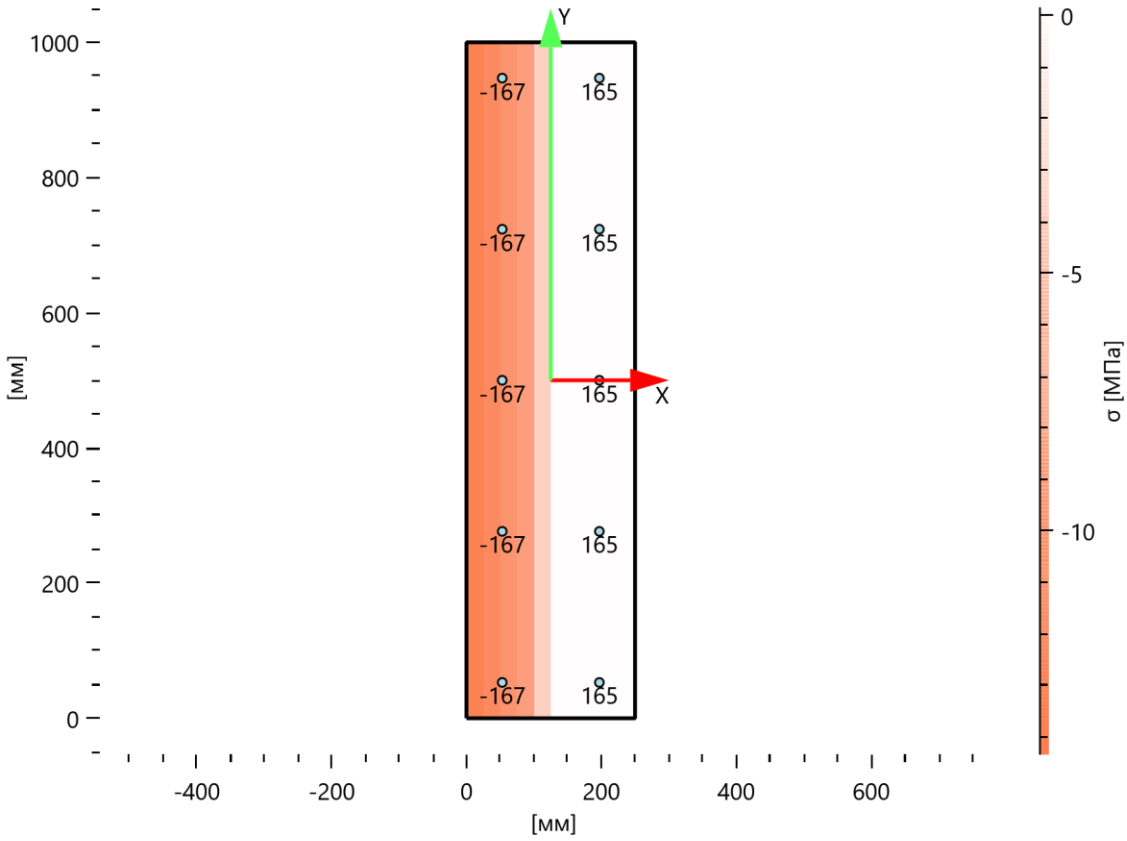
Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0,001303$

Максимальная отн. деформация наиболее растянутого стержня арматуры $\varepsilon_{s,max} = 0,000823$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

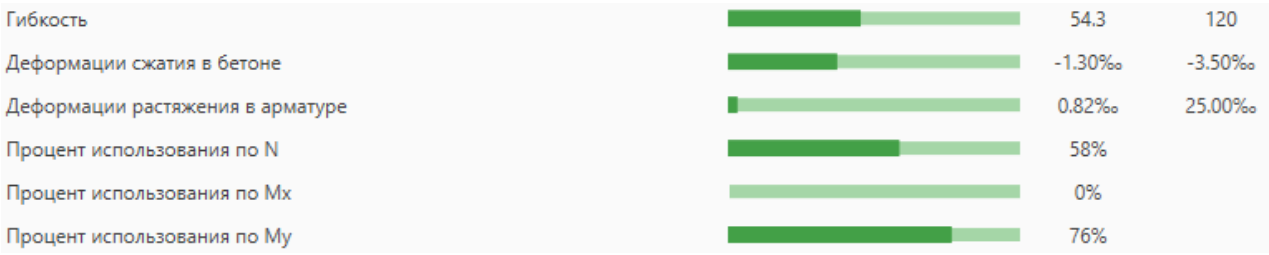
Т.к. условия:

$$|\varepsilon_{b,max}| = |-0{,}001303| = 0{,}001303 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003500$$

$$\varepsilon_{s,max} = 0{,}000823 \leq \varepsilon_{s,ult} = 0{,}025$$

выполняются, то прочность сечения колонны обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА



Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 200ММ В/О 1.Ю-1.Я/1.4 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 $N = -2520{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН $\cdot$ м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 12{,}0$ кН $\cdot$ 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 A500
- Расчетное сопротивление растяжению $R_s = 435$ МПа
- Расчетное сопротивление сжатию $R_{sc} = 400$ МПа
- Модуль упругости $E_s = 200000$ МПа
- Предельное значение отн. деформации удлинения арматуры $\varepsilon_{s,ult} = 0{,}025$
- Арматура у верхней и нижней грани - 2xØ20, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 4xØ20, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}9$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}2$ м
- Высота сечения $h = 0{,}6$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}5$, $\mu_y = 0{,}5$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}5 \cdot 4{,}9 = 2{,}45 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}5 \cdot 4{,}9 = 2{,}45 \text{ м}$$

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:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{2{,}45}{0{,}173} = 14{,}1 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{2{,}45}{0{,}058} = 42{,}4 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

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

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

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

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{12{,}0}{-2520{,}0}\right| = 0{,}005 \text{ м}$$

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

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

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

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

Окончательно принимается:

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

Коэффициенты k_b:

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

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

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

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

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

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 34721{,}1}{2{,}45^2} = 57090{,}1 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 3318{,}6}{2{,}45^2} = 5456{,}6 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{2520{,}0}{57090{,}1}} = 1{,}046$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{2520,0}{5456,6}} = 1,858$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1,046 \cdot 0,0 = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1,858 \cdot 12,0 = 22,3 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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

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

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

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

$$D_{11} = 63435,9 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 6353,2 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

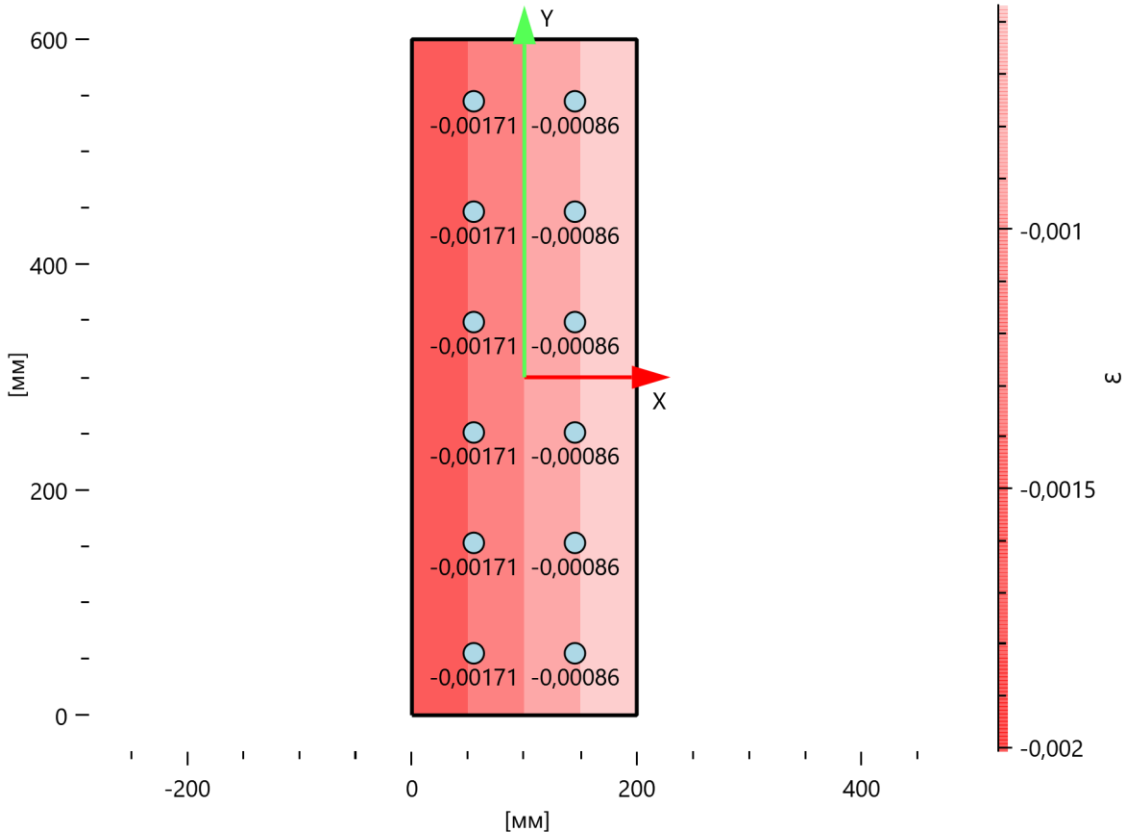
$$D_{12} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 29150,2 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 2171794,5 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

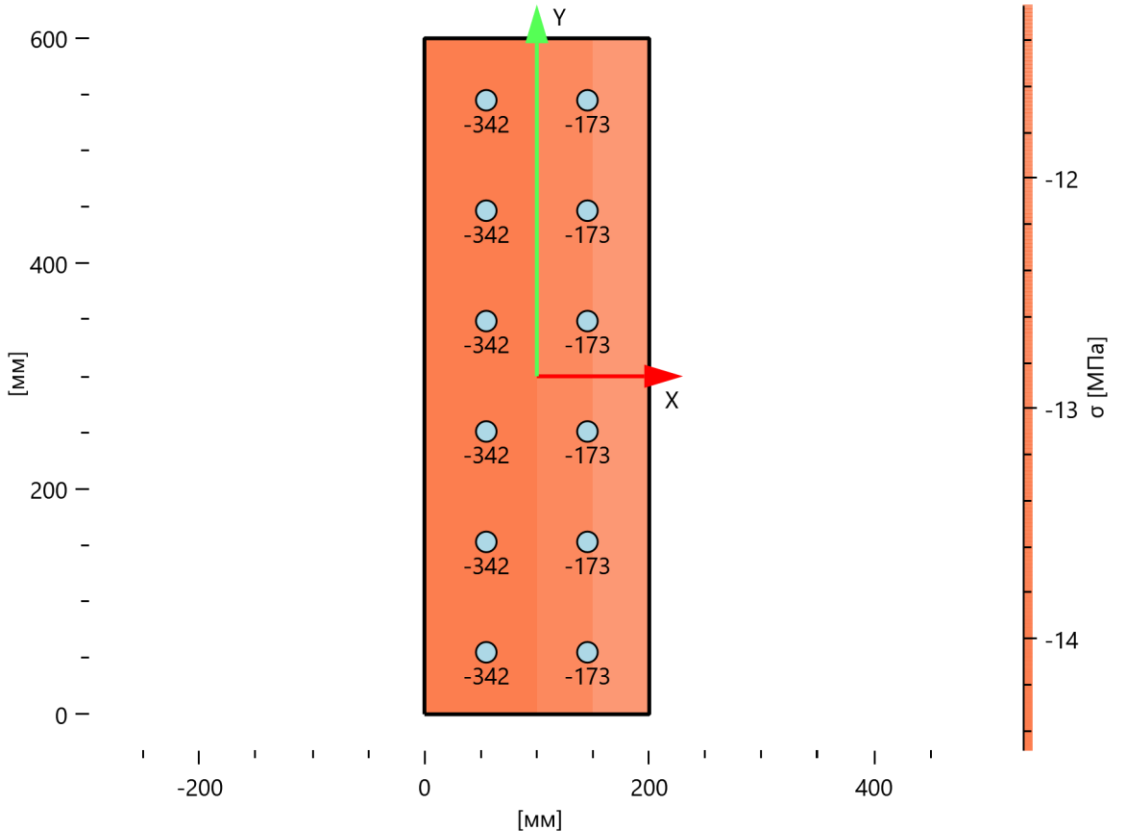
$$\frac{1}{r_x} = 0,00000000; \frac{1}{r_y} = 0,00941330;\ \varepsilon_0 = -0,00128668$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0,001993$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000581}{-0{,}001993} = 0{,}003063$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001993| = 0{,}001993 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003063$$

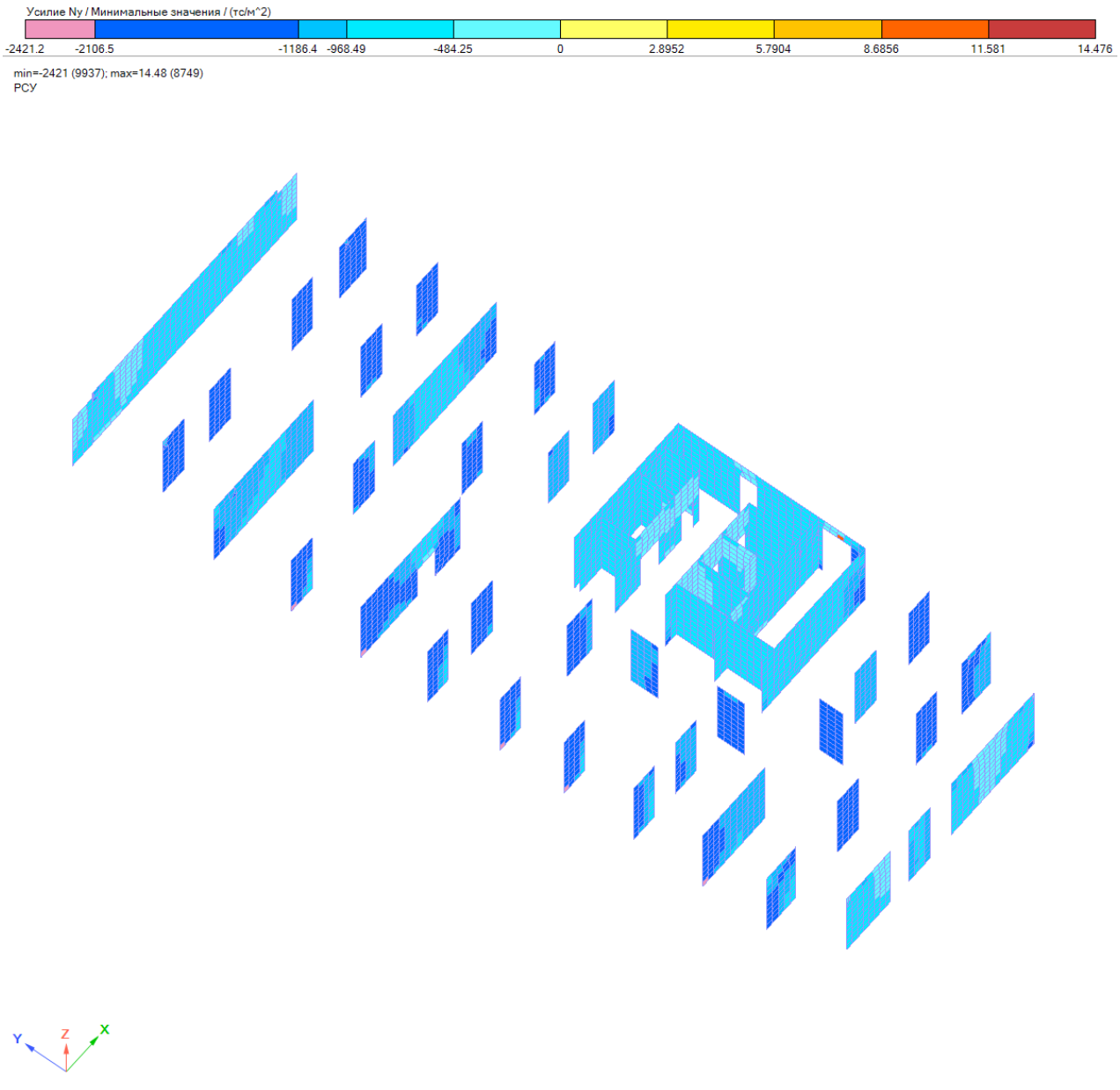
выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

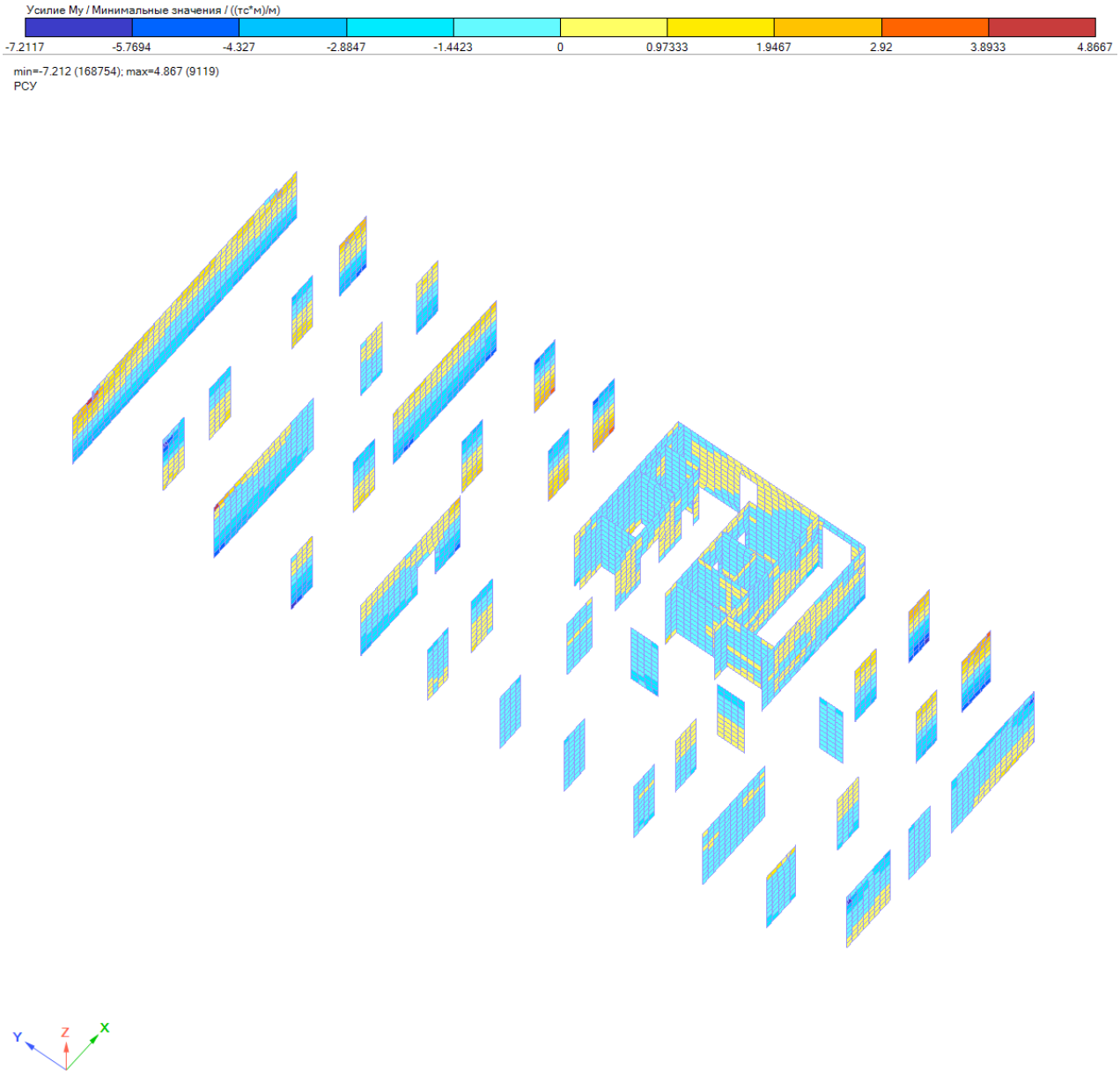
Гибкость	42.4	120	
Деформации сжатия в бетоне	-1.99‰	-3.06‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	93%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	62%		

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

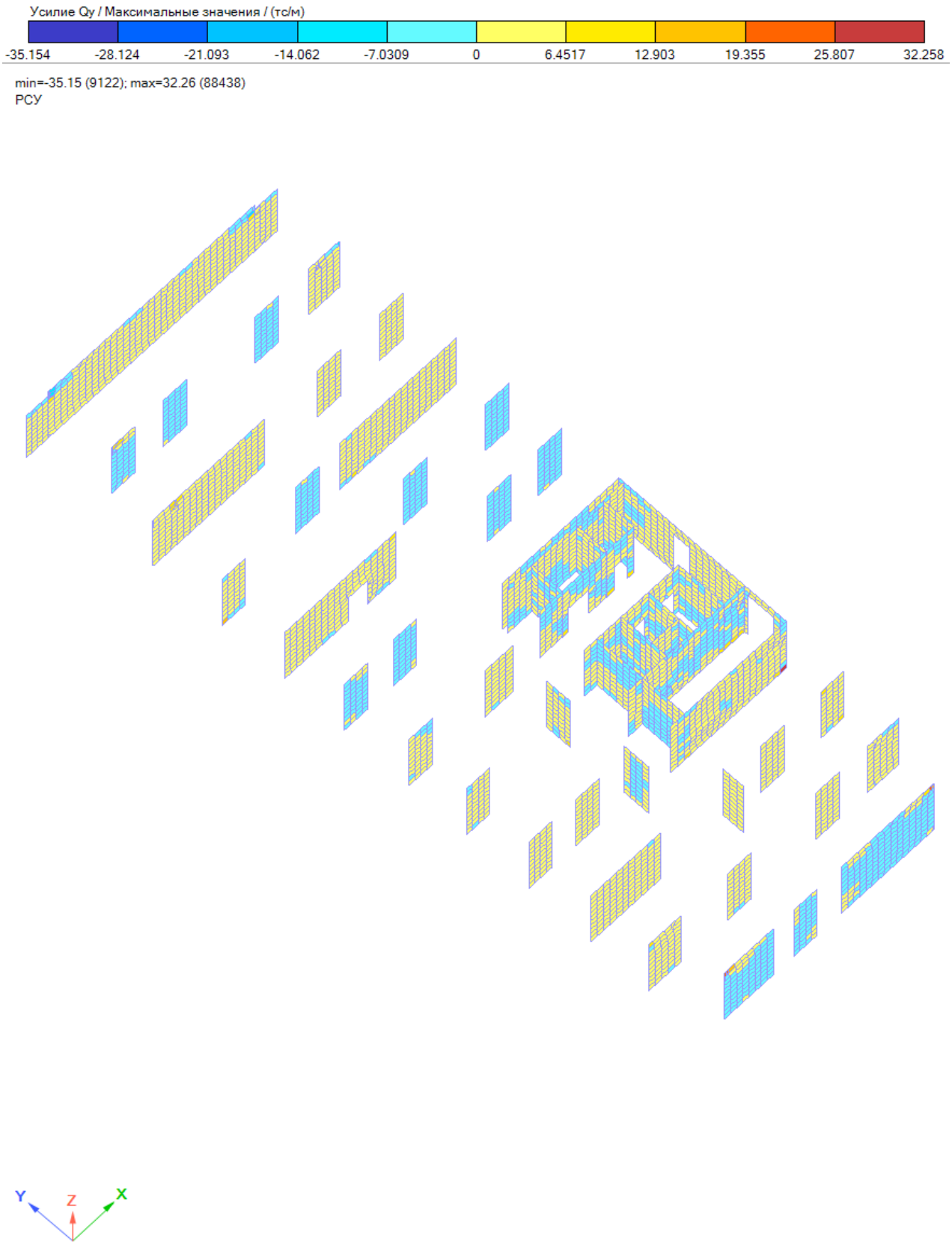
3.1. РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ОТМ. -0.100



Изополя усилия Ny, тс*/м2



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qy, тс/м

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 300ММ В/О 1.1-1.2/1.Э НА ОТМ. -0.100 НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

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

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Продольная сила $N = -6129{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 24{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

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

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

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

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

Радиусы инерции сечения:

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

Гибкости колонны:

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

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

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

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

$$e_{a(x,y)} \geq 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-6129{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{24{,}0}{-6129{,}0}\right| = 0{,}004 \text{ м}$$

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:

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

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

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

Окончательно принимается:

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

Коэффициенты k_b:

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

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

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

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

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

Условная критическая сила:

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

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

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{6129{,}0}{159747{,}6}} = 1{,}040$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{6129{,}0}{19284{,}8}} = 1{,}466$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1{,}040 \cdot 0{,}0 = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1{,}466 \cdot 24{,}0 = 35{,}2 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 297756{,}9\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 35319{,}5\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

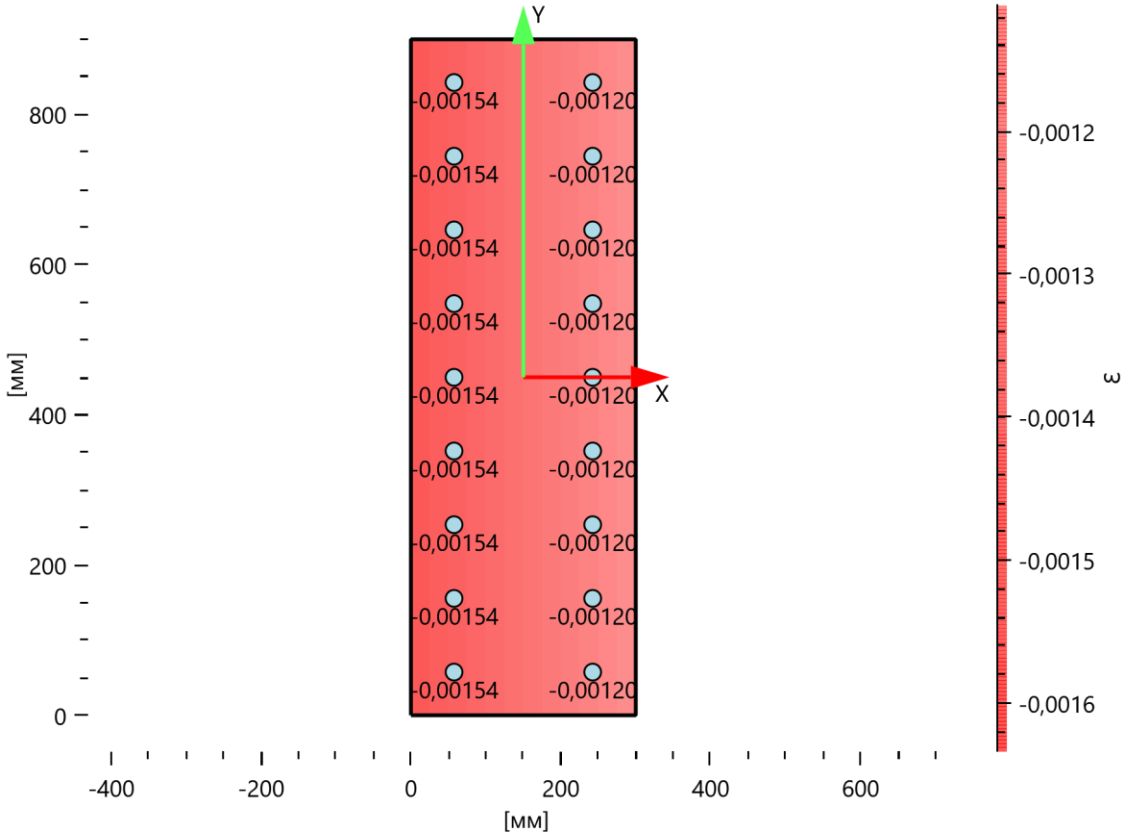
$$D_{12} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = -7{,}5\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 22216{,}7\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 4495529{,}3\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

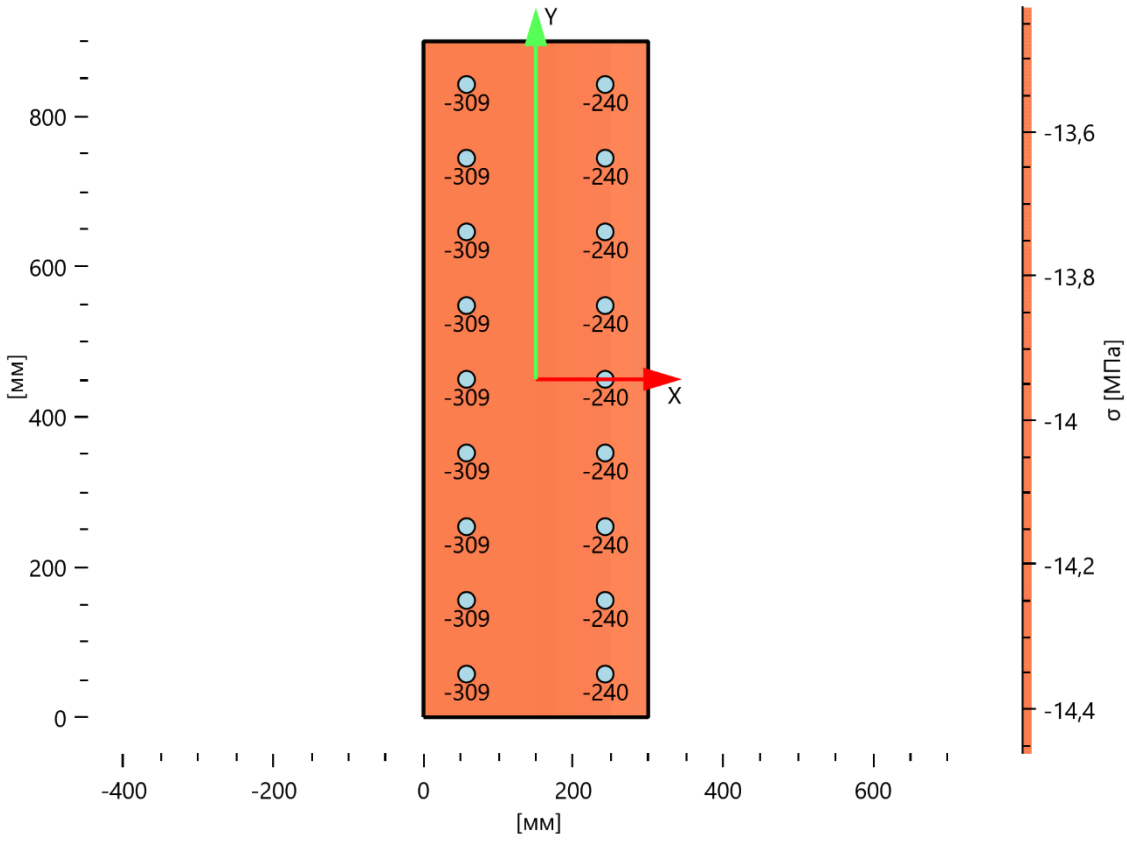
$$\frac{1}{r_x} = -0{,}00000003; \frac{1}{r_y} = 0{,}00185945;\ \varepsilon_0 = -0{,}00137254$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}001628$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



						17-0121-ОК-1-П-КР4.4	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:

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}001117}{-0{,}001628} = 0{,}002471$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001628| = 0{,}001628 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}002471$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость		38.5	120
Деформации сжатия в бетоне		-1.63‰	-2.47‰
Деформации растяжения в арматуре		0.00‰	25.00‰
Процент использования по N		89%	
Процент использования по Mx		0%	
Процент использования по My		32%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 250ММ В/О 1.1-1.2/1.АА НА ОТМ. -0.100 НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

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

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Продольная сила $N = -4380{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 28{,}5$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

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

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

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

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

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

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

Радиусы инерции сечения:

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

Гибкости колонны:

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

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

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

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-4380{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{28{,}5}{-4380{,}0}\right| = 0{,}007 \text{ м}$$

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:

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

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

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

Окончательно принимается:

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

Коэффициенты k_b:

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

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

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

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

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

Условная критическая сила:

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

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

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{4380,0}{84892,3}} = 1,054$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{4380,0}{9236,6}} = 1,902$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1,054 \cdot 0,0 = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1,902 \cdot 28,5 = 54,2 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 168152,5 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 18841,7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

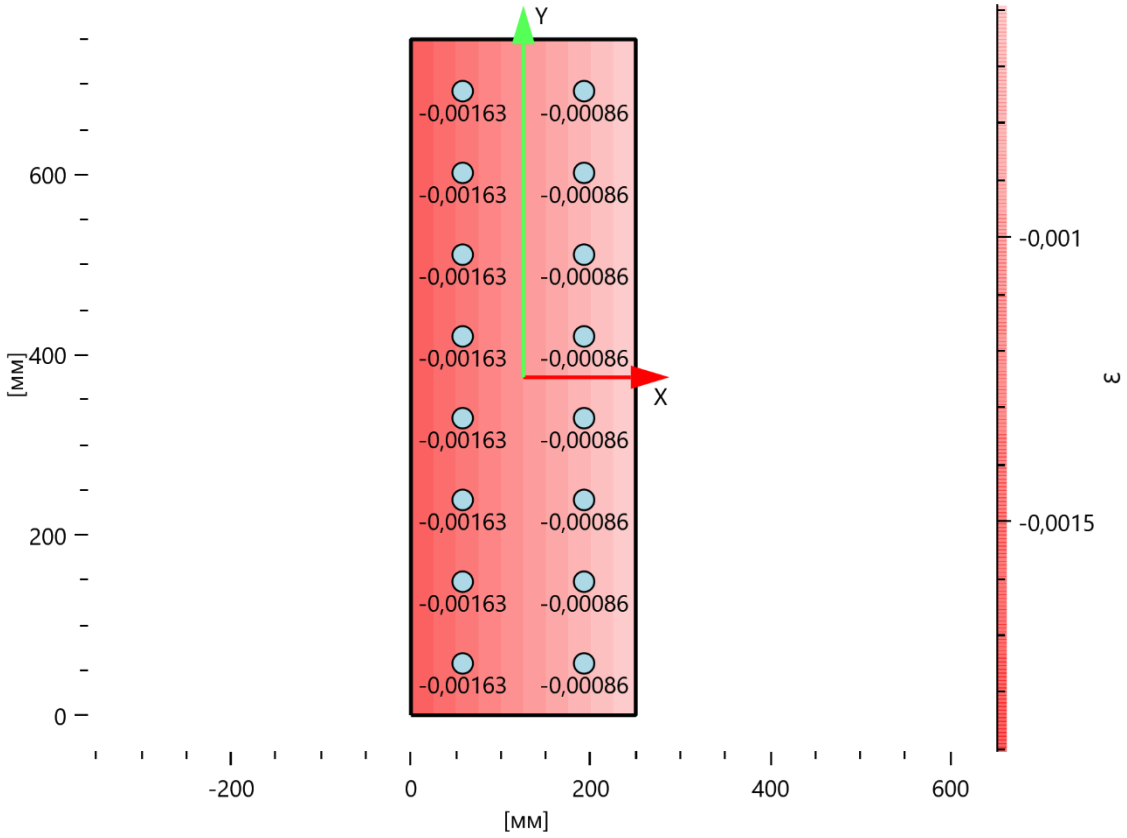
$$D_{12} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 42712,8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 3705624,6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

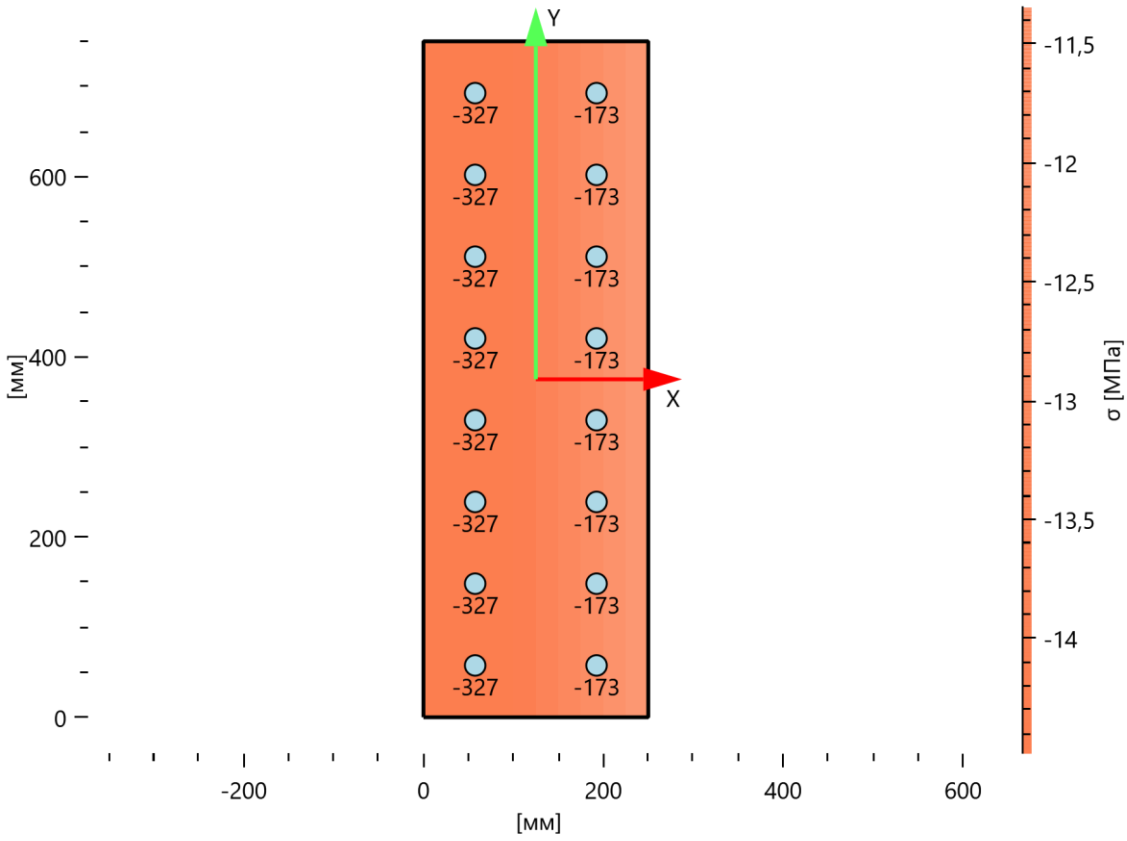
$$\frac{1}{r_x} = 0,00000000; \frac{1}{r_y} = 0,00570534;\ \varepsilon_0 = -0,00124775$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0,001890$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000606}{-0{,}001890} = 0{,}003019$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001890| = 0{,}001890 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003019$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	46.2	120	
Деформации сжатия в бетоне	-1.89‰	-3.02‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	90%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	55%		

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 200ММ В/О 1.6-1.8/1.У НА ОТМ. -0.100 НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

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

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Продольная сила $N = -2045{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 24{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}7$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

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

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}17$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}2$ м
- Высота сечения $h = 0{,}6$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}8$, $\mu_y = 0{,}7$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

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

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

Радиусы инерции сечения:

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

Гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}336}{0{,}173} = 19{,}3 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{2{,}919}{0{,}058} = 50{,}6 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

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

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-2045{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{24{,}0}{-2045{,}0}\right| = 0{,}012 \text{ м}$$

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:

$$e_{0,x} = 0{,}020 \text{ м};\ e_{0,y} = \ 0{,}012 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

$$\varphi_l = 1 + \frac{M_l}{M} = 1 + 0{,}7 = 1{,}7$$

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

$$0{,}15 \le \delta_{e,y} = \frac{e_{0,y}}{b} = \frac{0{,}012}{0{,}2} = 0{,}059 \le 1{,}5$$

Окончательно принимается:

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

Коэффициенты k_b:

$$k_{b,x} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,x})} = \frac{0{,}15}{1{,}7(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}196$$

$$k_{b,y} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,y})} = \frac{0{,}15}{1{,}7(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}196$$

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}196 \cdot 32500000 \cdot 0{,}003600 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000106 = 37065{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}196 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000400 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000008 = 3581{,}7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 37065{,}0}{3{,}336^2} = 32870{,}9 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 3581{,}7}{2{,}919^2} = 4148{,}8 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{2045{,}0}{32870{,}9}} = 1{,}066$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{2045{,}0}{4148{,}8}} = 1{,}972$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1{,}066 \cdot 0{,}0 = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1{,}972 \cdot 24{,}0 = 47{,}3 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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

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

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

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

$$D_{11} = 79026{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 8613{,}3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

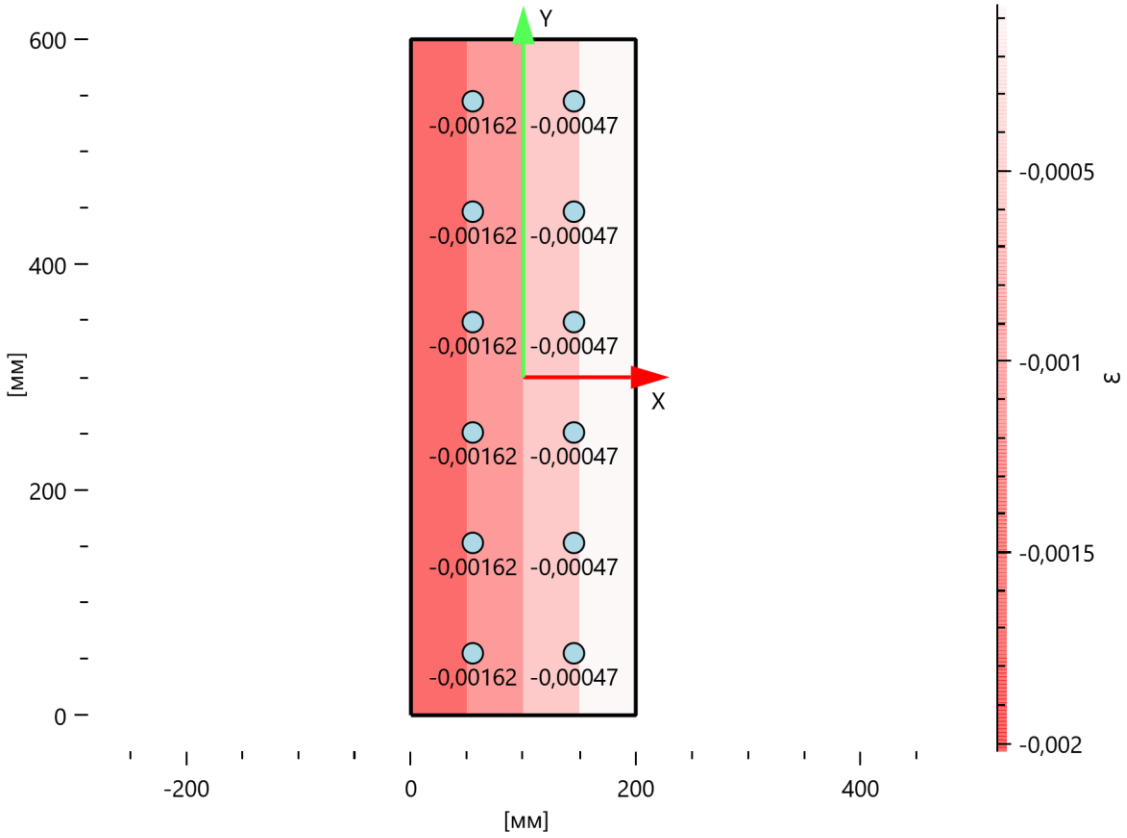
$$D_{12} = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 60007{,}6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 2694065{,}2 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

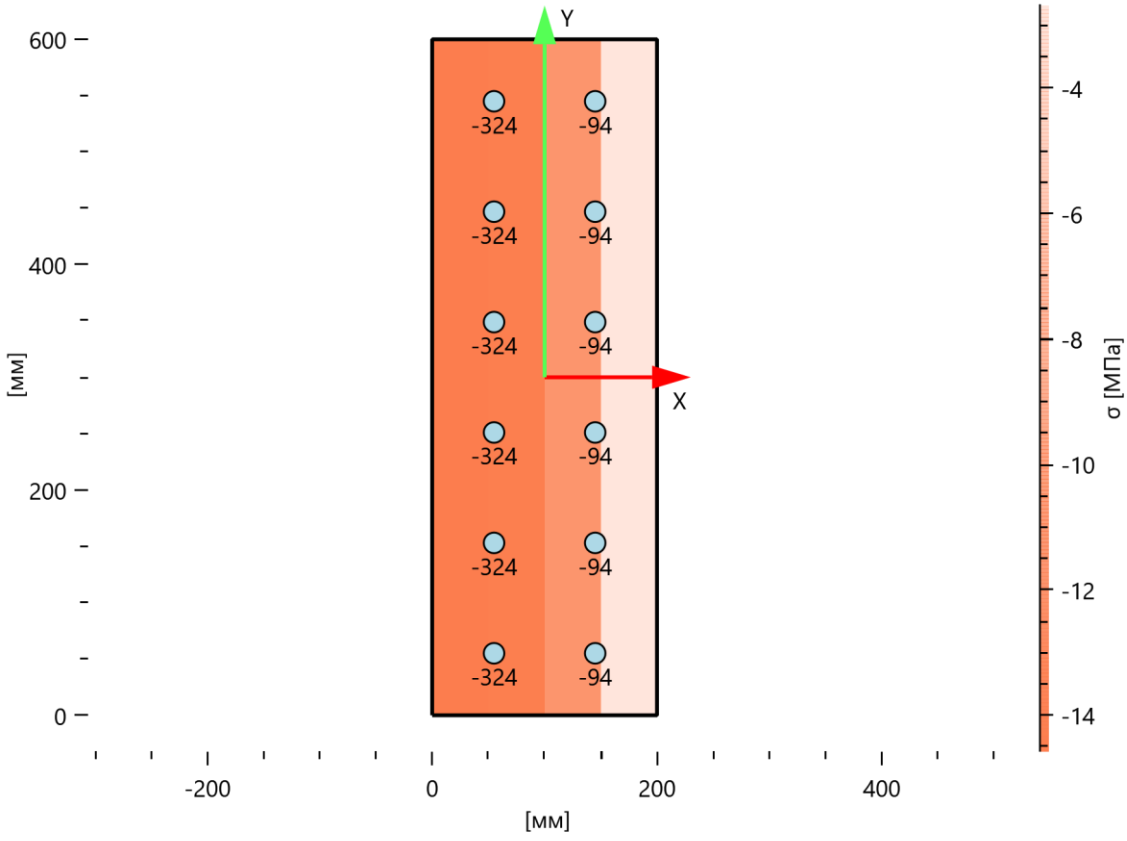
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}01276403;\ \varepsilon_0 = -0{,}00104338$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}002001$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000086}{-0{,}002001} = 0{,}003435$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}002001| = 0{,}002001 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003435$$

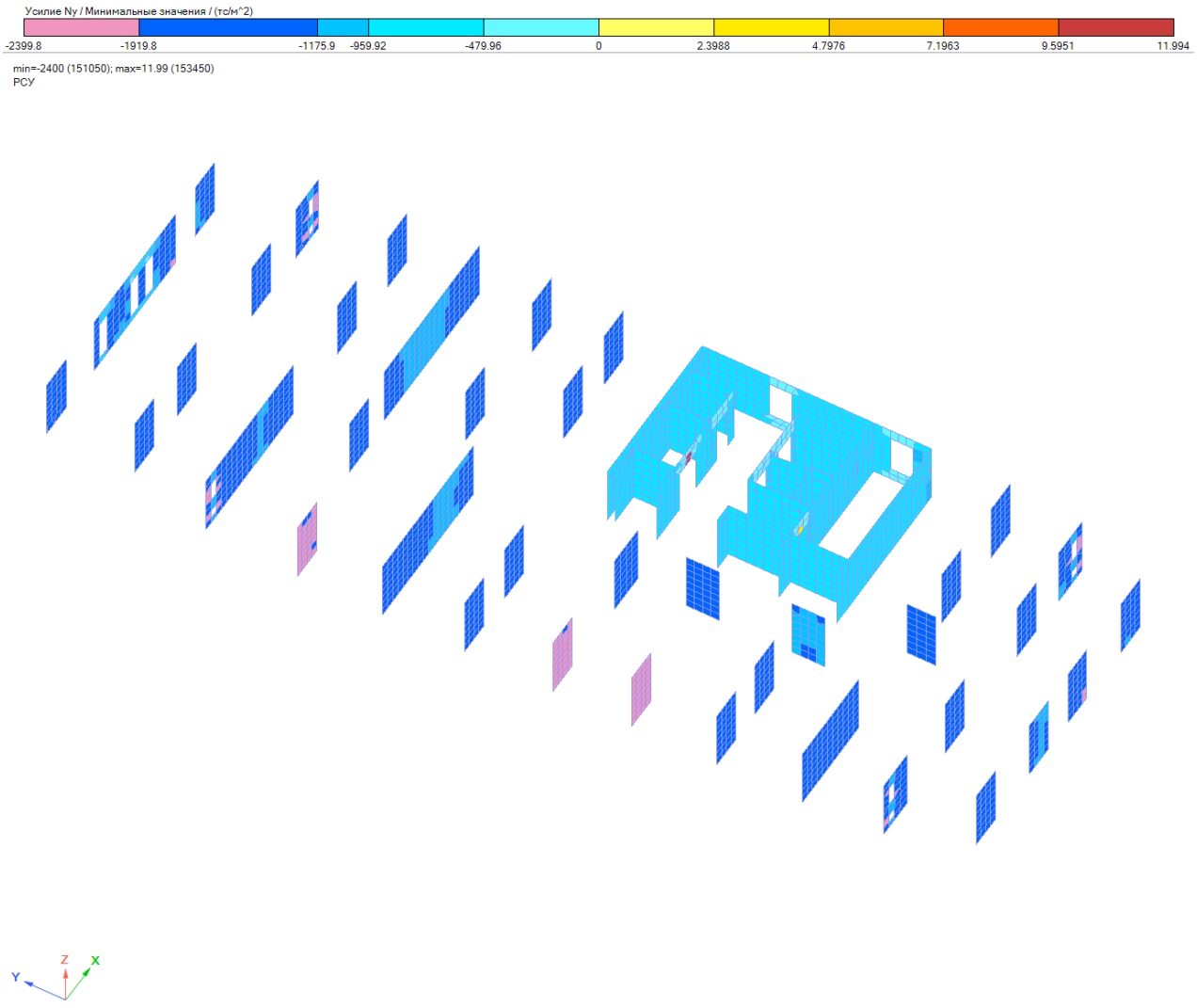
выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

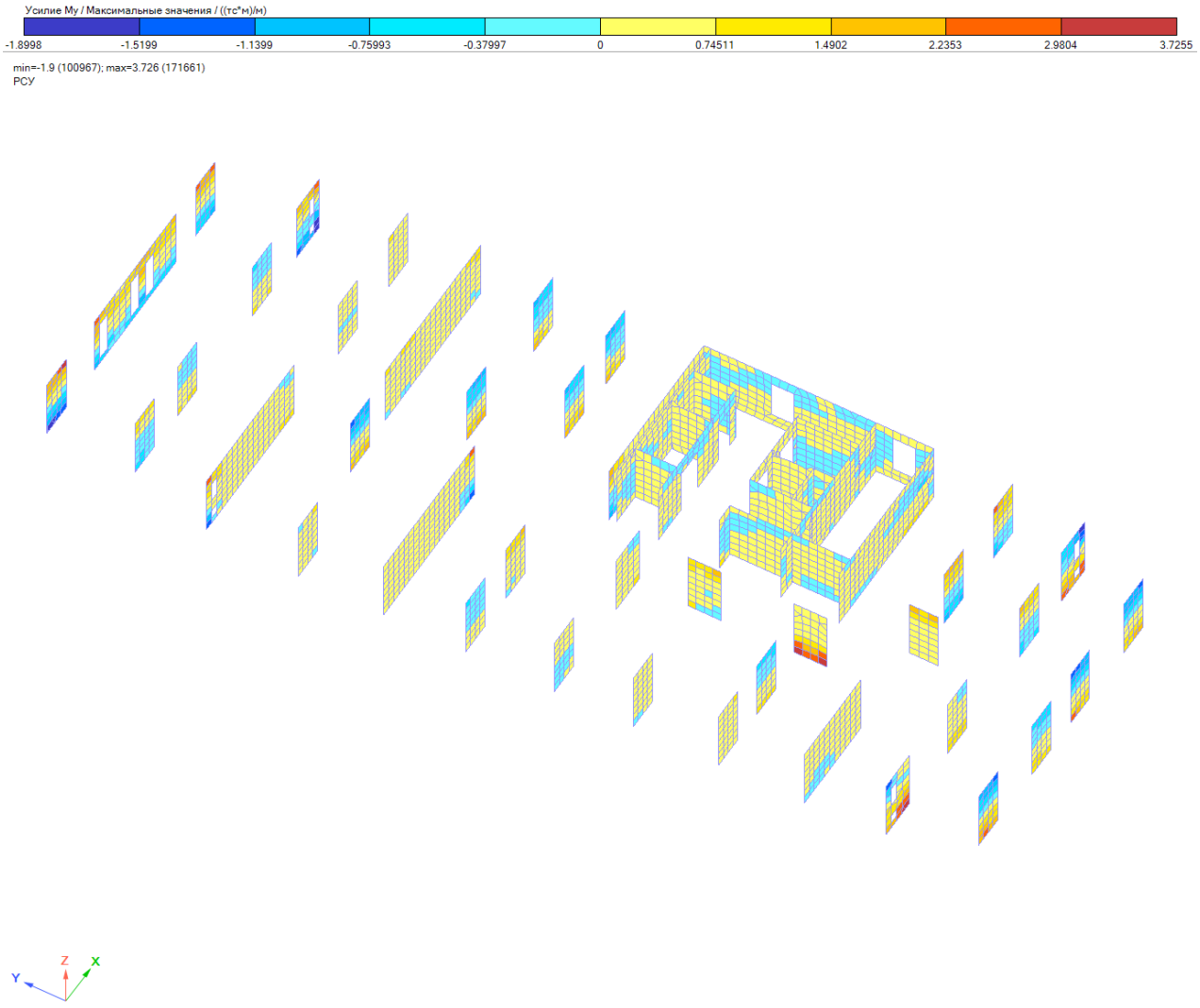
Гибкость	50.6	120	
Деформации сжатия в бетоне	-2.00‰	-3.44‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	90%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	74%		

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

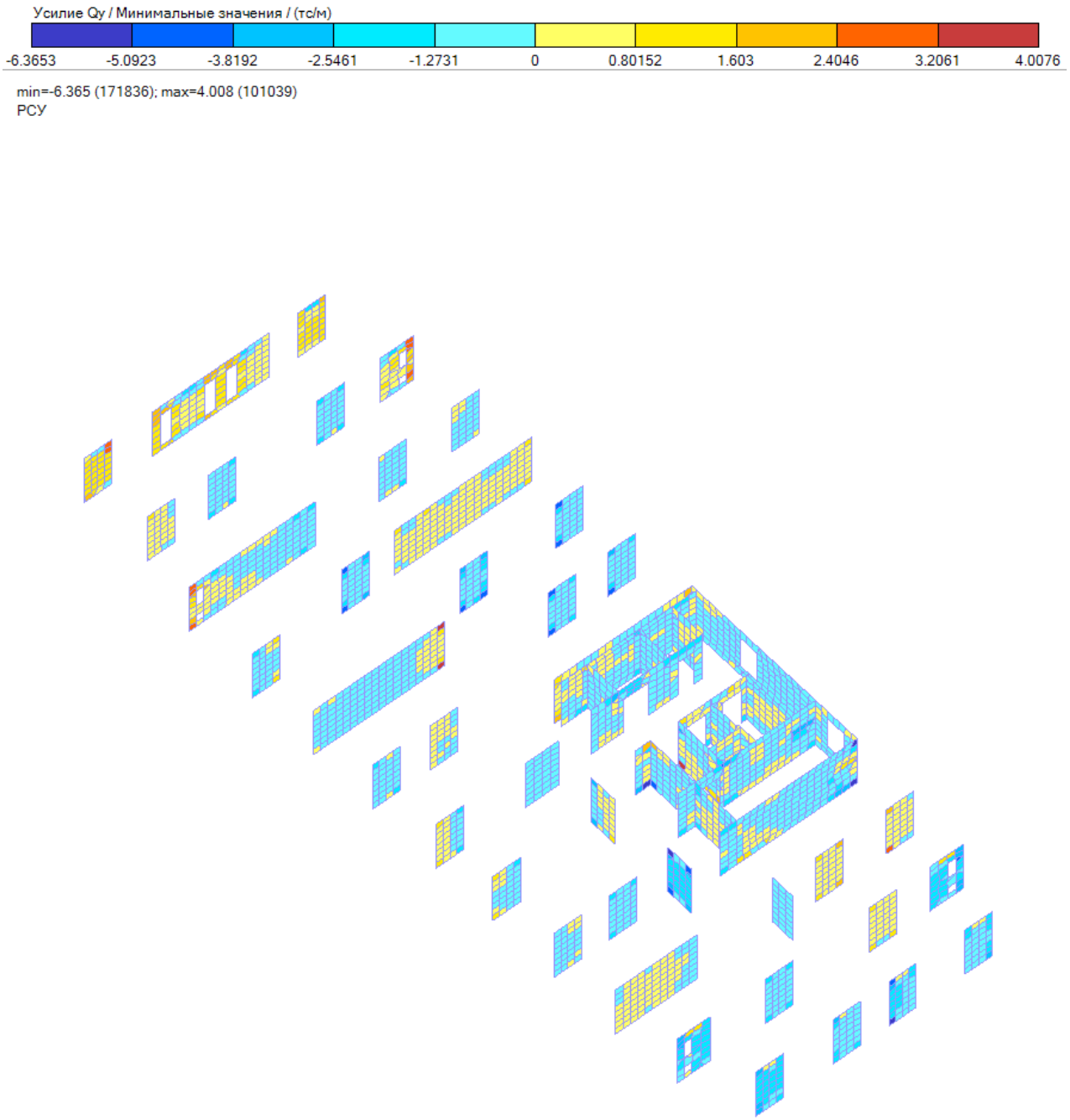
3.2. РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ОТМ. +4.250



Изополя усилия Ny, тс*/м2



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qy, тс/м

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 250ММ В/О 1.7/1.ГГ 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 $N = -2345{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 24{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}7$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 2{,}82$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}25$ м
- Высота сечения $h = 0{,}4$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}8$, $\mu_y = 0{,}7$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

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

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}7 \cdot 2{,}82 = 1{,}974 \text{ м}$$

Радиусы инерции сечения:

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

Гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{2{,}256}{0{,}115} = 19{,}5 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{1{,}974}{0{,}072} = 27{,}4 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

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

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-2345{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{24{,}0}{-2345{,}0}\right| = 0{,}010 \text{ м}$$

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:

$$\varphi_l = 1 + \frac{M_l}{M} = 1 + 0{,}7 = 1{,}7$$

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

$$0{,}15 \le \delta_{e,y} = \frac{e_{0,y}}{b} = \frac{0{,}010}{0{,}25} = 0{,}041 \le 1{,}5$$

Окончательно принимается:

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

Коэффициенты k_b:

$$k_{b,x} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,x})} = \frac{0{,}15}{1{,}7(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}196$$

$$k_{b,y} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,y})} = \frac{0{,}15}{1{,}7(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}196$$

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}196 \cdot 32500000 \cdot 0{,}001333 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000044 = 14437{,}1 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}196 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000521 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000018 = 5730{,}4 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 14437{,}1}{2{,}256^2} = 27996{,}4 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 5730{,}4}{1{,}974^2} = 14514{,}2 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{2345{,}0}{27996{,}4}} = 1{,}091$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{2345{,}0}{14514{,}2}} = 1{,}193$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1{,}091 \cdot 0{,}0 = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1{,}193 \cdot 24{,}0 = 28{,}6 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 23237{,}9\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 9295{,}8\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

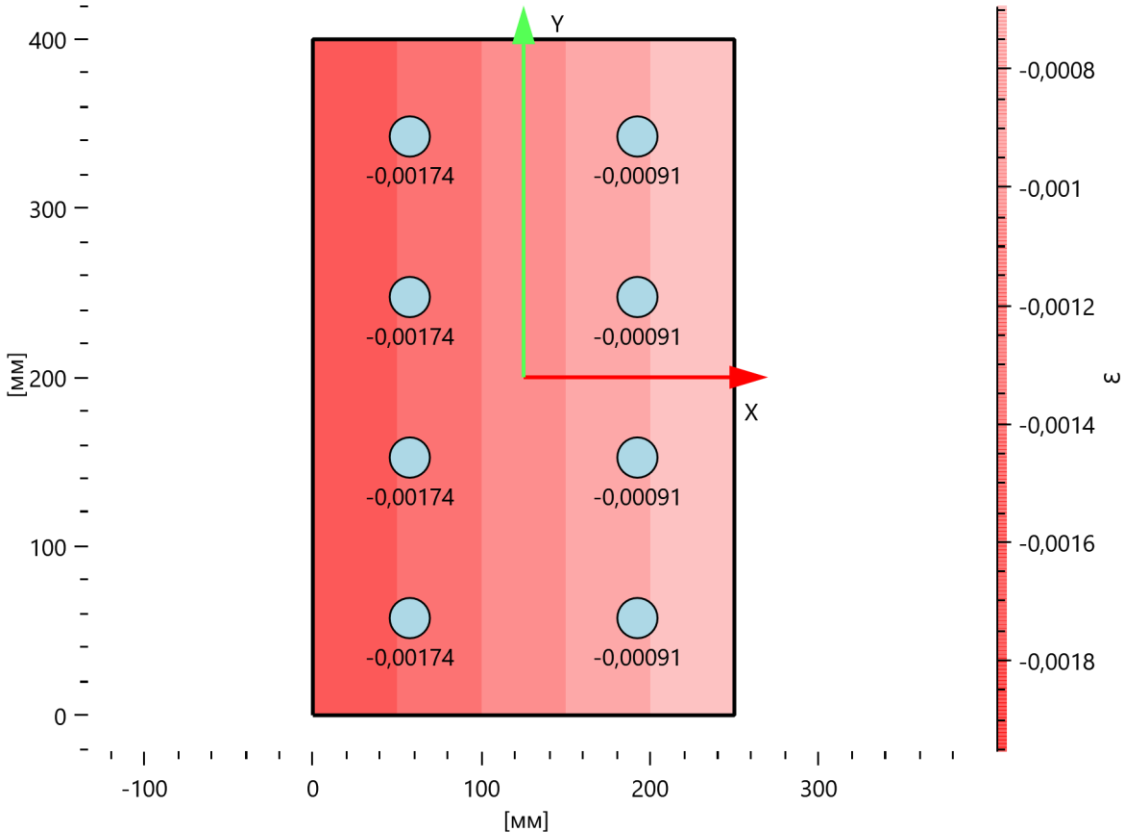
$$D_{12} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 21763{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 1874713{,}5\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

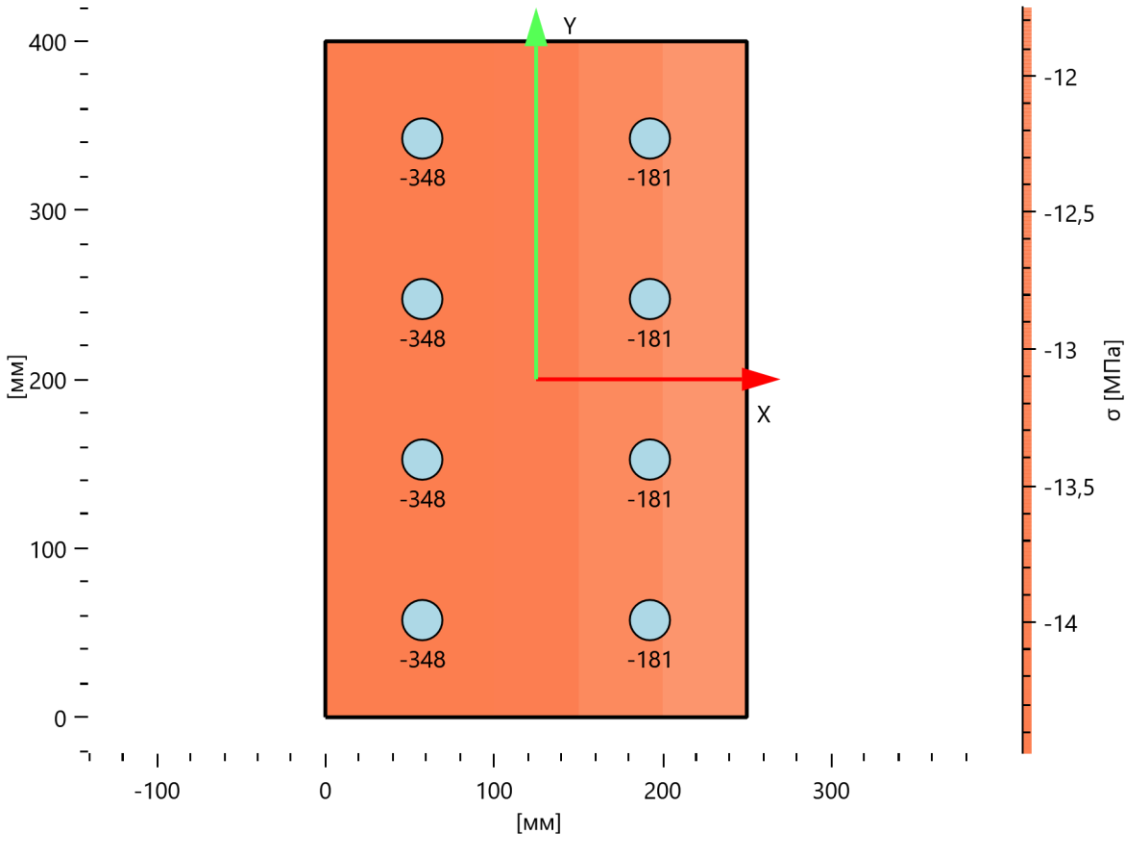
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00617567;\ \varepsilon_0 = -0{,}00132255$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}001940$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000705}{-0{,}001940} = 0{,}002955$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001940| = 0{,}001940 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}002955$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость		27.4	120
Деформации сжатия в бетоне		-1.94‰	-2.95‰
Деформации растяжения в арматуре		0.00‰	25.00‰
Процент использования по N		92%	
Процент использования по Mx		0%	
Процент использования по My		65%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 200ММ В/О 1.1-1.2/1.Э 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 $N = -2424{,}0$ 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 $\frac{M_l}{M} = 0{,}8$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

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

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 2{,}82$ 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:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-2424{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{11{,}0}{-2424{,}0}\right| = 0{,}005 \text{ м}$$

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

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

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

$$\varphi_l = 1 + \frac{M_l}{M} = 1 + 0{,}8 = 1{,}8$$

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:

$$k_{b,x} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,x})} = \frac{0{,}15}{1{,}8(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}185$$

$$k_{b,y} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,y})} = \frac{0{,}15}{1{,}8(0{,}3 + 0{,}150)} = 0{,}185$$

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}185 \cdot 32500000 \cdot 0{,}003600 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000106 = 35827{,}9 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}185 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000400 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000008 = 3442{,}9 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 35827{,}9}{2{,}256^2} = 69477{,}4 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 3442{,}9}{2{,}256^2} = 6676{,}4 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{2424{,}0}{69477{,}4}} = 1{,}036$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{2424{,}0}{6676{,}4}} = 1{,}570$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

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

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1{,}570 \cdot 11{,}0 = 17{,}3 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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

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

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

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

$$D_{11} = 64473{,}5 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 6296{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

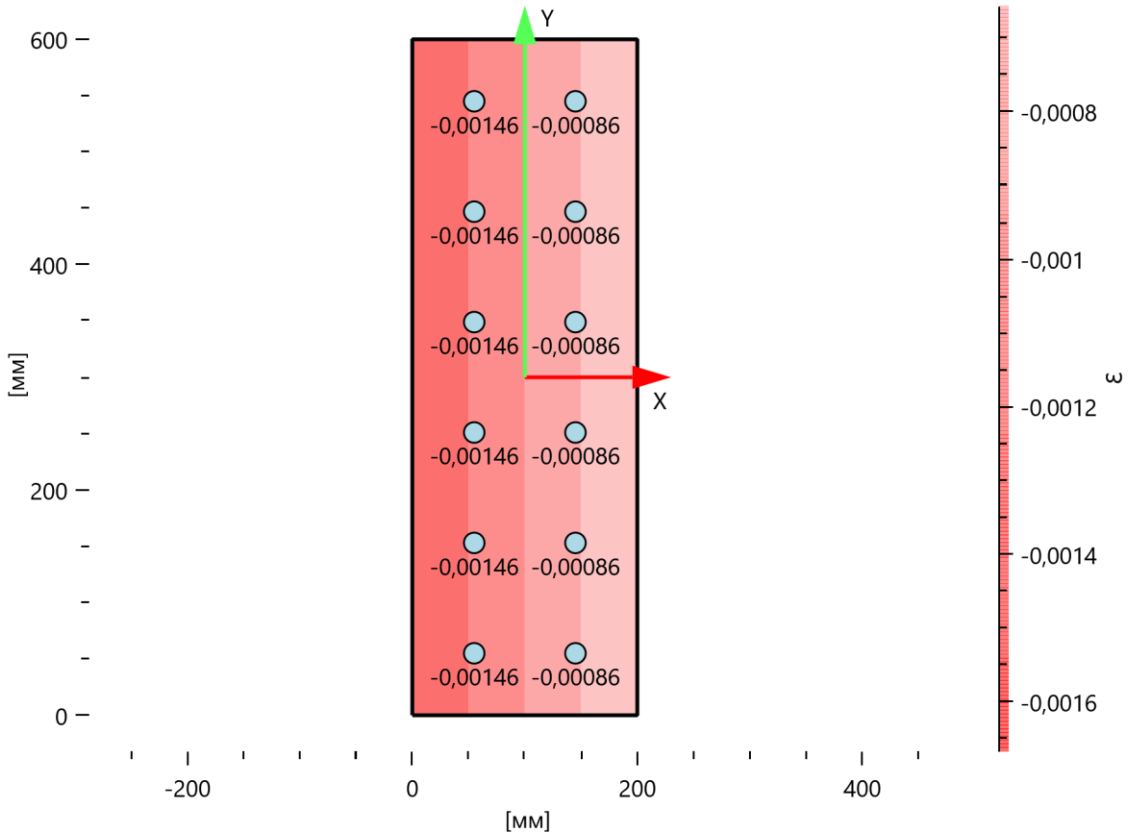
$$D_{12} = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 20913{,}6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 2206458{,}7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

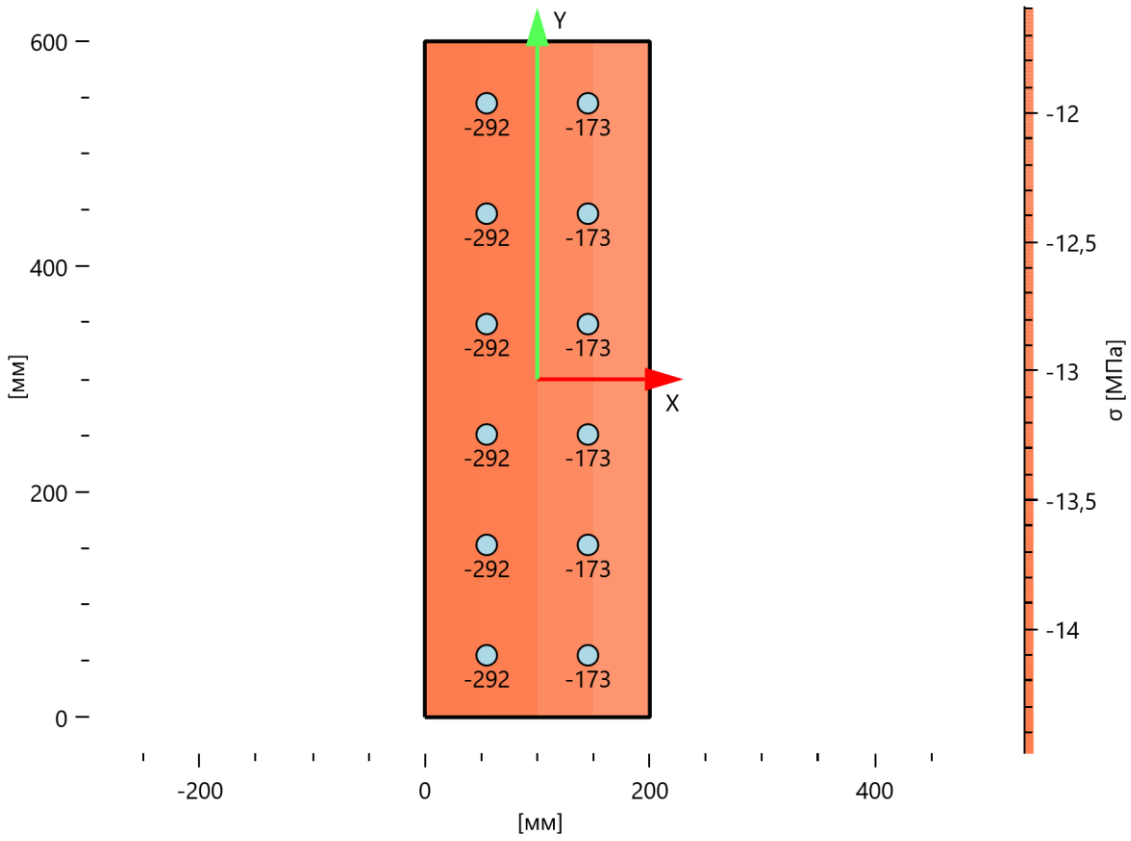
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00659964;\ \varepsilon_0 = -0{,}00116113$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}001656$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000666}{-0{,}001656} = 0{,}002897$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001656| = 0{,}001656 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}002897$$

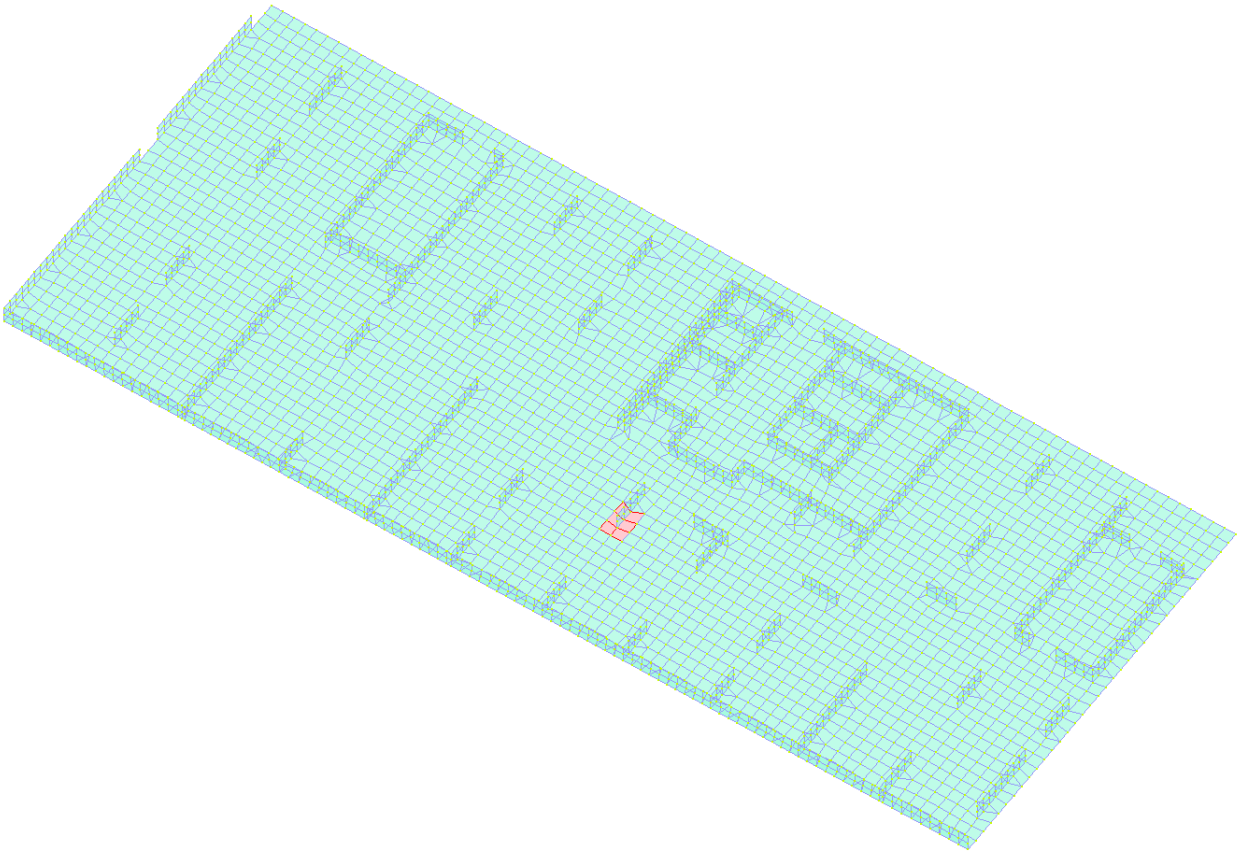
выполняется, то прочность сечения обеспечена.

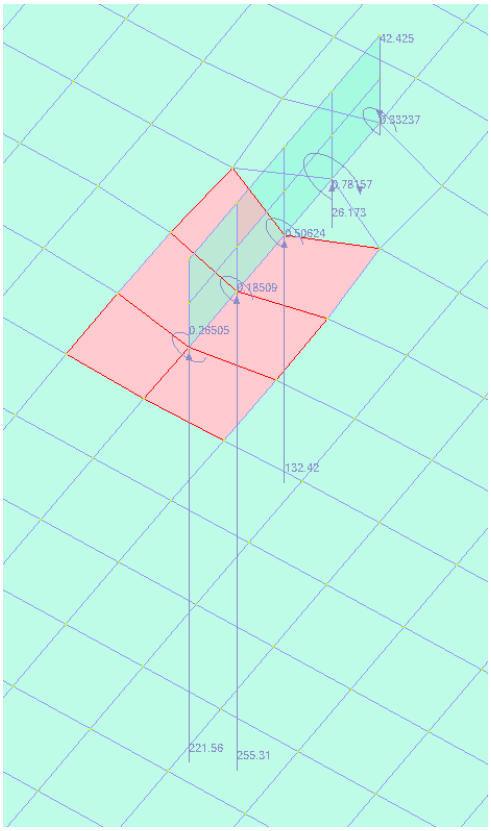
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	39.1	120	
Деформации сжатия в бетоне	-1.66‰	-2.90‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	87%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	40%		

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 1.2-1.3/1.Ю на отм. -7.200

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Ширина сечения $b_1 = 30$ см $= 0.3$ м
- Толщина плиты $h = 90$ см $= 0.9$ м
- Защитный слой арматуры по направлению X $a_x = 5$ см $= 0.05$ м
- Защитный слой арматуры по направлению Y $a_y = 5$ см $= 0.05$ м
- Класс бетона B30 $R_{bt} = 1150$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы бетона $\gamma_b = 1$
- Класс арматуры A500 $R_{sw} = 300000$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы арматуры $\gamma_s = 1.0$
- Диаметр поперечной арматуры $d_s = 10$ мм $= 0.01$ м
- Количество стержней поперечной арматуры $n_s = 24$
- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 100$ мм $= 0.1$ м
- Продольная сила $N_{sup} = 6080$ кН;
- Изгибающий момент , $M_{y,sup} = 24$ кНм
- Нагрузка на перекрытие $q_{int} = 320$ кН/м^2

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

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

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

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

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

$$F_q = q_{int} A_q$$

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

$$F_q = q_{int} A_q = 320 \cdot 0.8338 = 266.8 \text{ кН}$$

$$F = N_{sup} - F_q = 6080 - 266.8 = 5813.2 \text{ кН}$$

$$M_y = \frac{M_{y,sup}}{2} = \frac{24}{2} = 12 \text{ кНм}$$

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

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

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

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

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

$$\frac{F}{F_{b,ult}} = \frac{5813.2}{3372.38} = 1.724$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = \frac{12}{646.37} = 0.019$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 1.724 + 0.019 = 1.742$$

Коэффициент использования $1.742 > 1$, установка поперечной арматуры требуется

$$U_s = U_b = 3.45 \text{ м}$$

$$q_{sw} = \frac{R_{sw}A_{sw}}{s_w} = \frac{300000 \cdot 1.8850E-003}{0.1} = 5654.87 \text{ кН/м}$$

$$F_{sw,ult} = 0.8q_{sw}U_s = 0.8 \cdot 5654.87 \cdot 3.45 = 15607.43 \text{ кН}$$

Условие $F_{sw,ult} = 15607.4\text{кН} \geq 0.25F_{b,ult} = 843.1\text{кН}$ выполняется.

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 3372.38 + 15607.43 = 18979.81 \text{ кН}$$

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 18979.81 > 2F_{b,ult} = 2 \cdot 3372.38 = 6744.75 \Rightarrow F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 6744.75 \text{ кН}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{5813.2}{6744.75} = 0.862$$

$$W_{sw,y} = W_{by} = 6.6125E-001 \text{ м}^2$$

$$M_{sw,y,ult} = 0.8q_{sw}W_{sw,y} = 0.8 \cdot 5654.87 \cdot 6.6125E-001 = 2991.42 \text{ кНм}$$

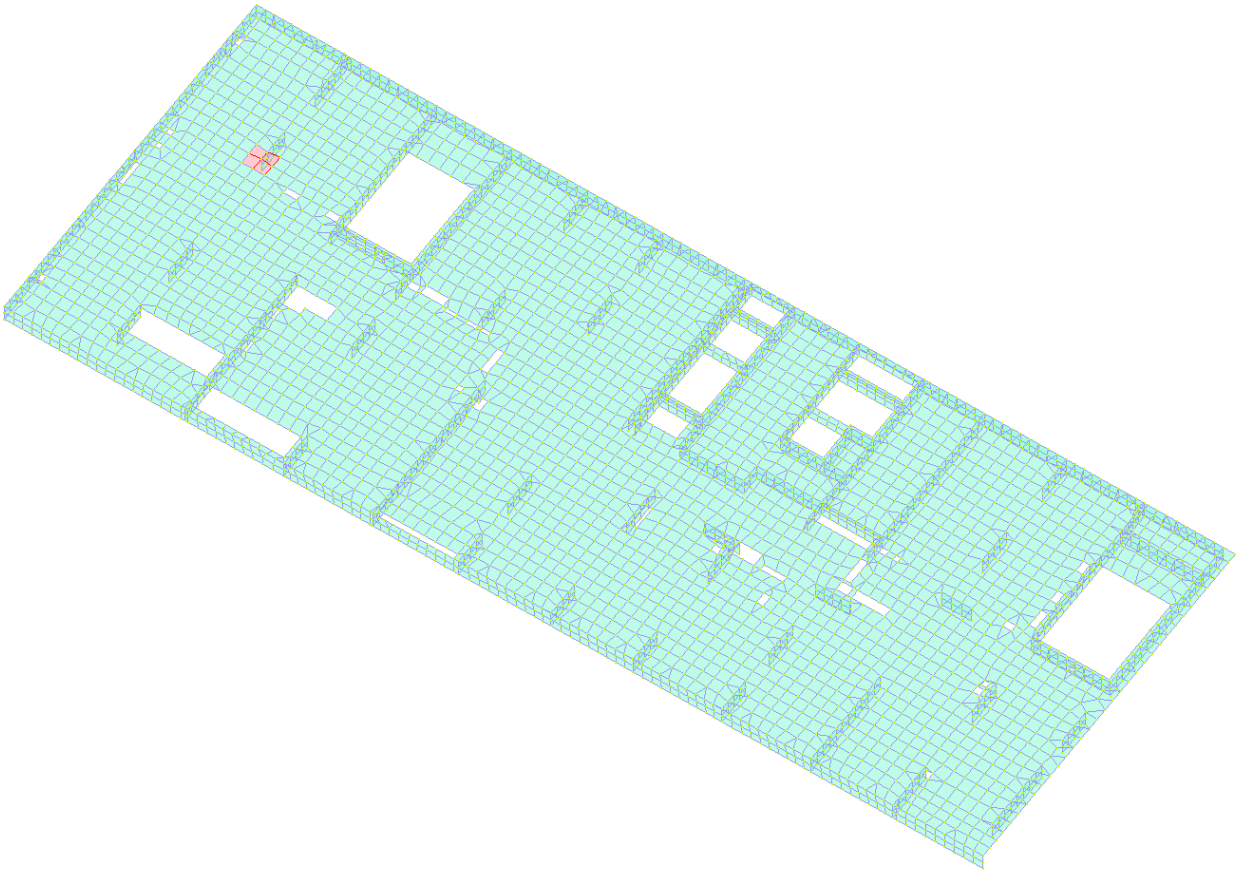
$$M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult} = 646.37 + 2991.42 = 3637.8 \text{ кНм}$$

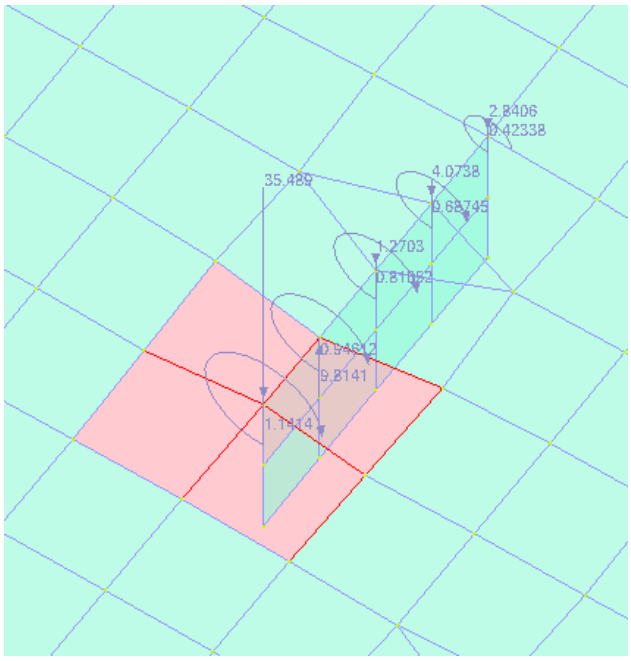
$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{12}{1292.74} = 0.009$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.862 + 0.009 = 0.871$$

Коэффициент использования составляет $K = 0.871$. Условие прочности выполняется

4.1. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПЛИТЫ НА ОТМ. -0.100





Расчет на продавливание согласно СП 63.13330.2018.

Конструкция - плита, рядовая стена в/о 1.4-1.5/1.ГГ на отм. -0.100

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Ширина сечения $b_1 = 25$ см $= 0.25$ м
- Толщина плиты $h = 20$ см $= 0.2$ м
- Защитный слой арматуры по направлению X $a_x = 3$ см $= 0.03$ м
- Защитный слой арматуры по направлению Y $a_y = 4$ см $= 0.04$ м
- Класс бетона B30 $R_{bt} = 1150$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы бетона $\gamma_b = 1$
- Класс арматуры A500 $R_{sw} = 300000$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы арматуры $\gamma_s = 1.0$
- Диаметр поперечной арматуры $d_s = 8$ мм $= 0.008$ м
- Количество стержней поперечной арматуры $n_s = 18$
- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 50$ мм $= 0.05$ м
- Продольная сила $N_{sup} = 257$ кН;
- Изгибающий момент , $M_{y,sup} = 21$ кНм

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

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

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

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

$$F = N_{sup} = 257 \text{ кН}$$

$$M_y = \frac{M_{y,sup}}{2} = \frac{21}{2} = 10.5 \text{ кНм}$$

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

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

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

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

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

$$\frac{F}{F_{b,ult}} = \frac{257}{236.24} = 1.088$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = \frac{10.5}{16.34} = 0.643$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 1.088 + 0.544 = 1.632$$

Коэффициент использования $1.632 > 1$, 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.

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

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

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{257}{472.48} = 0.544$$

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

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

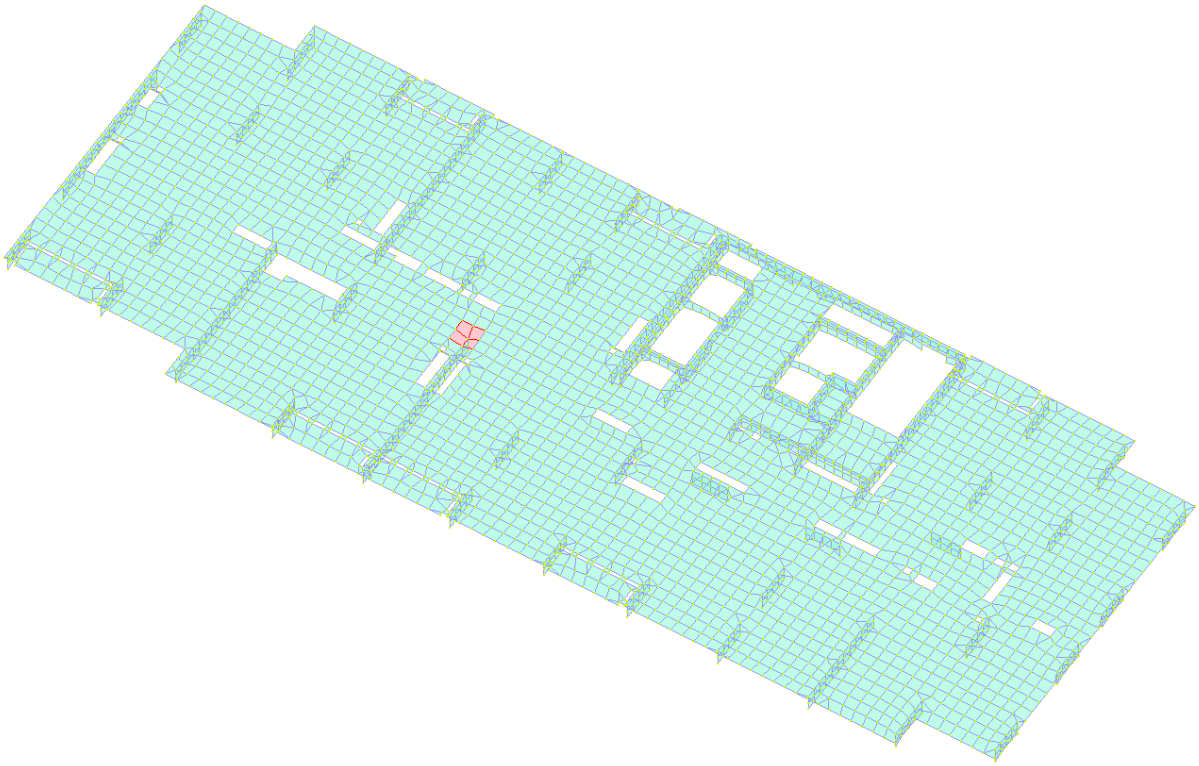
$$M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult} = 16.34 + 373.98 = 390.32 \text{ кНм}$$

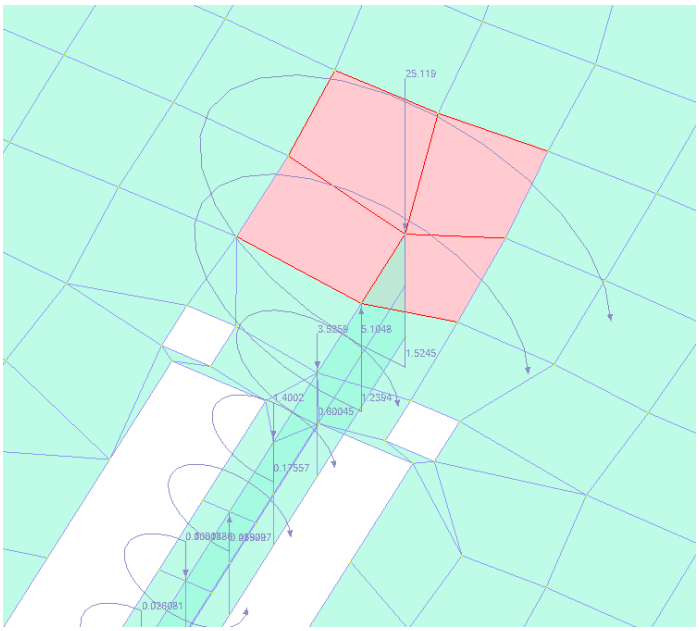
$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{10.5}{32.68} = 0.321$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.544 + 0.272 = 0.816$$

Коэффициент использования составляет $K = 0.816$. Условие прочности выполняется

4.2. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ТИПОВОЙ ПЛИТЫ С ОТМ. +4.250...+70.250





Расчет на продавливание согласно СП 63.13330.2018.

Конструкция - плита, рядовая стена в/о 1.3/1.АА на отм. +4.250...+70.250

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 $N_{sup} = 201$ кН;
- Изгибающий момент , $M_{y,sup} = 27$ кНм

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

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

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

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

$$F = N_{sup} = 201 \text{ кН}$$

$$M_y = \frac{M_{y,sup}}{2} = \frac{27}{2} = 13.5 \text{ кНм}$$

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

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

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

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

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

$$\frac{F}{F_{b,ult}} = \frac{201}{172.59} = 1.165$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = \frac{13.5}{9.92} = 1.36$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 1.165 + 0.582 = 1.747$$

Коэффициент использования $1.747 > 1$, 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.

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

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

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{201}{345.17} = 0.582$$

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

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

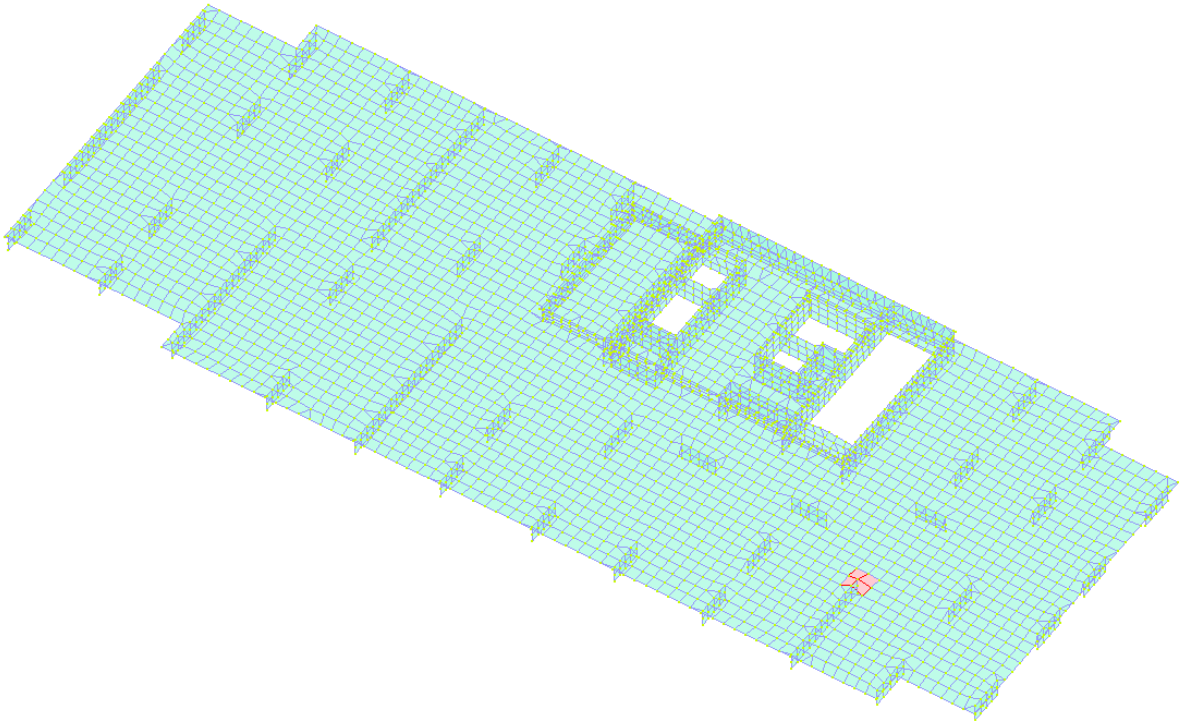
$$M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult} = 9.92 + 258.46 = 268.38 \text{ кНм}$$

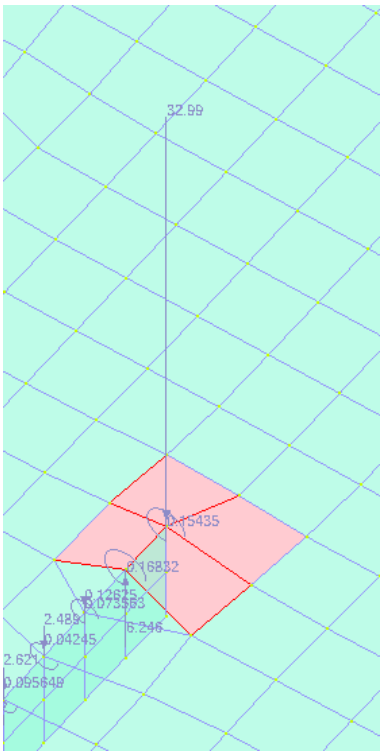
$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{13.5}{19.85} = 0.68$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.582 + 0.291 = 0.873$$

Коэффициент использования составляет $K = 0.873$. Условие прочности выполняется

4.3. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ ОТМ. +72.250





Расчет на продавливание согласно СП 63.13330.2018.

Конструкция - фундамент, рядовая стена в/о 1.2-1.3/1.С на отм. +72.250

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Ширина сечения $b_1 = 20$ см $= 0.2$ м
- Толщина плиты $h = 20$ см $= 0.2$ м
- Защитный слой арматуры по направлению X $a_x = 3$ см $= 0.03$ м
- Защитный слой арматуры по направлению Y $a_y = 4$ см $= 0.04$ м
- Класс бетона B30 $R_{bt} = 1150$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы бетона $\gamma_b = 1$
- Класс арматуры A500 $R_{sw} = 300000$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы арматуры $\gamma_s = 1.0$
- Диаметр поперечной арматуры $d_s = 8$ мм $= 0.008$ м
- Количество стержней поперечной арматуры $n_s = 18$
- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 50$ мм $= 0.05$ м
- Продольная сила $N_{sup} = 264$ кН;
- Изгибающий момент , $M_{y,sup} = 27$ кНм
- Нагрузка на перекрытие $q_{int} = 4$ кН/м^2

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

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

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

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

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

$$F_q = q_{int} A_q$$

$$A_q = (b_1 + h_0)\left(b_1 + \frac{h_0}{2}\right) = (0.2 + h_0)\left(0.2 + \frac{h_0}{2}\right) = 0.1031 \text{ м}^2$$

$$F_q = q_{int} A_q = 4 \cdot 0.1031 = 0.41 \text{ кН}$$

$$F = N_{sup} - F_q = 264 - 0.41 = 263.59 \text{ кН}$$

$$M_y = \frac{M_{y,sup}}{2} = \frac{27}{2} = 13.5 \text{ кНм}$$

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

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

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

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

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

$$\frac{F}{F_{b,ult}} = \frac{263.59}{207.78} = 1.269$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = \frac{13.5}{12.64} = 1.068$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 1.269 + 0.634 = 1.903$$

Коэффициент использования $1.903 > 1$, установка поперечной арматуры требуется

$$U_s = U_b = 1.095 \text{ м}$$

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

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

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

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

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

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{263.59}{415.55} = 0.634$$

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

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

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

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{13.5}{25.28} = 0.534$$

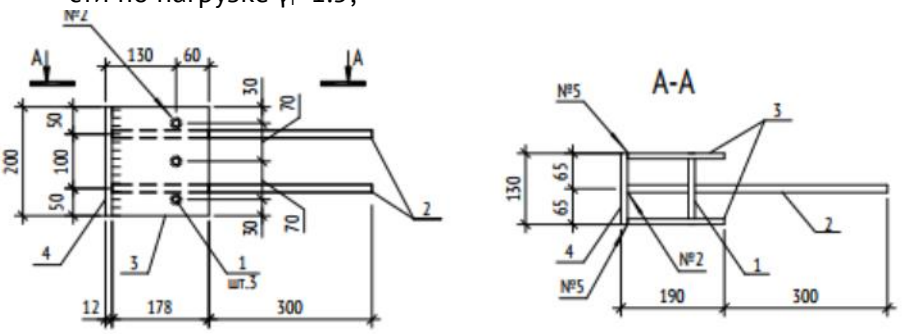
$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.634 + 0.317 = 0.951$$

Коэффициент использования составляет $K = 0.951$. Условие прочности выполняется

5. РАСЧЕТ ЗАКЛАДНОЙ ДЕТАЛИ

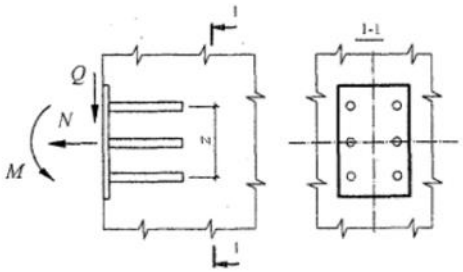
Расчётная нагрузка на панели с пролётом в осях до 7м с учётом пиковой ветровой нагрузки для проектирования закладных деталей на пилонах и стенах, в перекрытиях для навесных панелей с применёнными узлами равна:

- 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

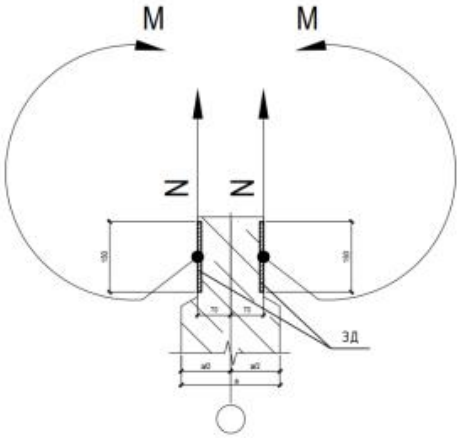
Расчетное сопротивление стали на срез(по СП 16.13330):

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

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

$$\varphi_1 = \frac{1}{\sqrt{1+\omega}} = 0.3$$

-толщина пластины закладной детали

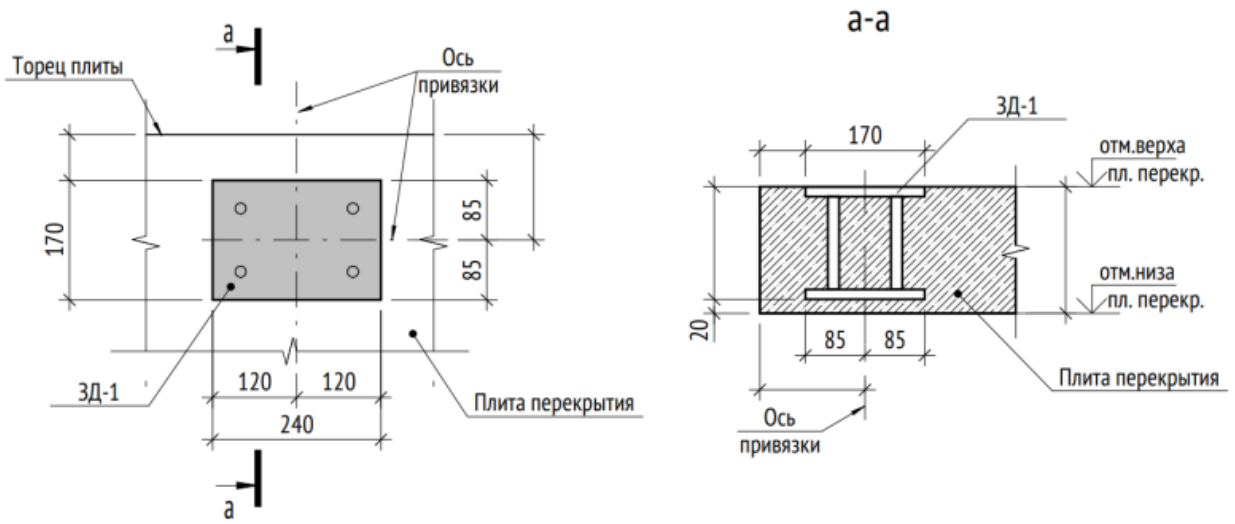
$$t \geq 0,25 d_{an}\frac{R_s}{R_{sq}} = 0.87 \text{ см}$$

Проверочный расчёт закладной детали в перекрытии

Исходные данные:

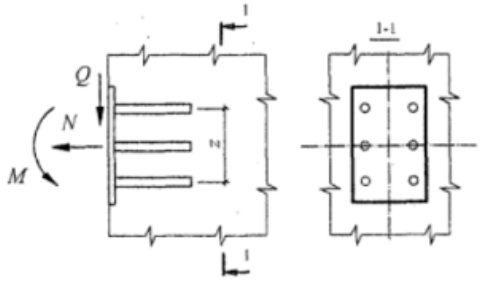
Расчётная нагрузка на панели с пролётом в осях 7м с учётом пиковой ветровой нагрузки для проектирования закладных деталей на пилонах и стенах, в перекрытиях для навесных панелей с применёнными узлами равна:

- 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

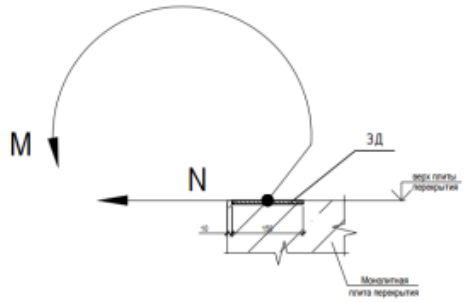
Расчетное сопротивление стали на срез(по СП 16.13330):

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

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

6. ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТОВ

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА КОРПУСА 1 СЕКЦИЯ 4

№ П/П	ПОКАЗАТЕЛЬ	ЗНАЧЕНИЕ ПОЛУЧЕННОЕ ПО РАСЧЕТУ	ПРЕДЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ	ПРИМЕЧАНИЕ
1	Средняя осадка фундаментной плиты отм. −7.200, мм	95.3	150	СП 22.13330.2016, прил. Г, табл. Г.1
2	Среднее давление под подошвой фундамента, т/м2	38.8	-	
3	Расчетное сопротивление грунта, т/м2	75.7	-	СП 22.13330.2016, п. 5.6.7
4	Относительная разность осадок фундамента, $\Delta s/L$	0.0001	0.003	СП 22.13330.2016, прил. Г, табл. Г.1
5	Максимальный прогиб плиты перекрытия толщ. 200мм в/о 1.Я/1.4-1.5 на отм -0.100, мм	9.8	5025/200=25.1	СП 20.13330.2016, табл. Д.1, п. 2
6	Максимальный прогиб плиты перекрытия толщ. 180мм в/о 1.Я/1.4-1.5 отм. +4.250, +7.250, +10.250, +13.250, +16.250, +19.250, +22.250, +25.250, +26.900, +28.250, +31.250, +34.250, +37.250, +40.250, +43.250, +46.250, +49.250, +52.250, +55.250, +58.250, +61.250, +64.250, +67.250, +70.250, мм	10.1	5025/200=25.1	СП 20.13330.2016, табл. Д.1, п. 2
7	Максимальный прогиб плиты покрытия толщ. 200мм в/о 1.ББ-1.ВВ/1.1-1.2 на отм. +72,250, мм	17.1	4200/200=21	СП 20.13330.2016, табл. Д.1, п. 2
8	Горизонтальное перемещение верха здания по оси X, мм	46.6	79250/500=158.5	СП 20.13330.2016, табл. Д.4, п. 1
9	Горизонтальное перемещение верха здания по оси Y, мм	30.1	79250/500=158.5	СП 20.13330.2016, табл. Д.4, п. 1

10	Максимальное ускорение верхнего этажа по оси X, м/с2	0.05	0.08	СП 20.13330.2016, В.3
11	Максимальное ускорение верхнего этажа по оси Y, м/с2	0.024	0.08	СП 20.13330.2016, В.3
12	Максимальный коэффициент использования сечения фундаментной плиты в/о 1.2-1.3/1.Ю отм. −7.200 при расчете на продавливание (с учетом поперечной арматуры)			0.871
13	Максимальный коэффициент использования сечения фундаментной плиты в/о 1.Я/1.4-1.5 на отм. -7.200 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продож. 0.3мм, не продолж.0.4мм)			0.682
14	Максимальный коэффициент использования сечения плиты перекрытия толщ. 200мм в/о 1.4-1.5/1.ГГ на отм. -0.100, при расчете на продавливание (с учетом поперечной арматуры)			0.816
15	Максимальный коэффициент использования сечения плиты толщ. 200мм в/о в/о 1.Я/1.4-1.5на отм. -0.100 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)			0.844
16	Максимальный коэффициент использования сечения плиты перекрытия толщ. 180мм в/о 1.4/1.АА отм. +4.250…+70.250 при расчете на продавливание (с учетом поперечной арматуры)			0.951
17	Максимальный коэффициент использования сечения плиты толщ. 180мм в/о в/о 1.Я/1.4-1.5на отм. +4.250…+70.250 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)			0.800
18	Максимальный коэффициент использования сечения плиты покрытия толщ. 200мм в/о 1.2-1.3/1.С на отм. +72.250 при расчете на продавливание (с учетом поперечной арматуры)			0.704
19	Максимальный коэффициент использования сечения плиты толщ. 200мм в/о 1.ББ-1.ВВ/1.1-1.2на отм. +72.250 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)			0.848
20	Максимальный коэффициент использования стен в/о 1.2-1.3/1.Ю на отм. -7.200 толщиной 300мм (по критическому фактору)			0.95
21	Максимальный коэффициент использования стен в/о 1.6-1.8/1.Я-1.АА на отм. -7.200 толщиной 250мм (по критическому фактору)			0.91

22	Максимальный коэффициент использования наружной стены подвала в/о 1.ВВ-1.ДД/1.1 на отм. -7.200 толщиной 250мм (по критическому фактору)	0.76
23	Максимальный коэффициент использования стен в/о 1.Ю-1.Я/1.4 на отм. -7.200 толщиной 200мм (по критическому фактору)	0.93
24	Максимальный коэффициент использования стен в/о 1.1-1.2/1.Э на отм. -0.100 толщиной 300мм (по критическому фактору)	0.89
25	Максимальный коэффициент использования стен в/о 1.1-1.2/1.АА на отм. -0.100 толщиной 250мм (по критическому фактору)	0.90
26	Максимальный коэффициент использования стен в/о 1.6-1.8/1.У на отм. -0.100 толщиной 200мм (по критическому фактору)	0.90
27	Коэффициент использования стен в/о 1.7/1.ГГ на отм. +4.250...+70.250 толщиной 250мм (по критическому фактору)	0.92
28	Коэффициент использования стен в/о 1.1-1.2/1.Э на отм. +4.250...+70.250 толщиной 200мм (по критическому фактору)	0.87

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.