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 6

17-0121-ОК-1-П-КР4.6

Том 4.4.6

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 6

17-0121-ОК-1-П-КР4.6

Том 4.4.6

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 6

17-0121-ОК-1-П-КР4.6
Том 4.4.6

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 6

17-0121-ОК-1-П-КР
4.6 Том 4.4.6

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

Главный инженер проекта — Першин Н.Н.

2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. РАСЧЕТ КОРПУСА К3 СЕК.6 2

1.1. ПОСАДКА НА ГЕОЛОГИЮ 3

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

1.3. НАГРУЗКА 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. -0.650, -0.500 (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 (ТИПОВОЙ ЭТАЖ) 66

2.3. РАСЧЕТ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ НА ОТМ. +48.250 77

3. РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ОТМ. -7.200 88

3.1. РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ОТМ. -0.650, -0.500 111

3.2. РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ОТМ. +4.250 129

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

4.1. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПЛИТЫ НА ОТМ. -0.650, -0.500 145

4.2. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ТИПОВОЙ ПЛИТЫ С ОТМ. +4.250...+46.250 149

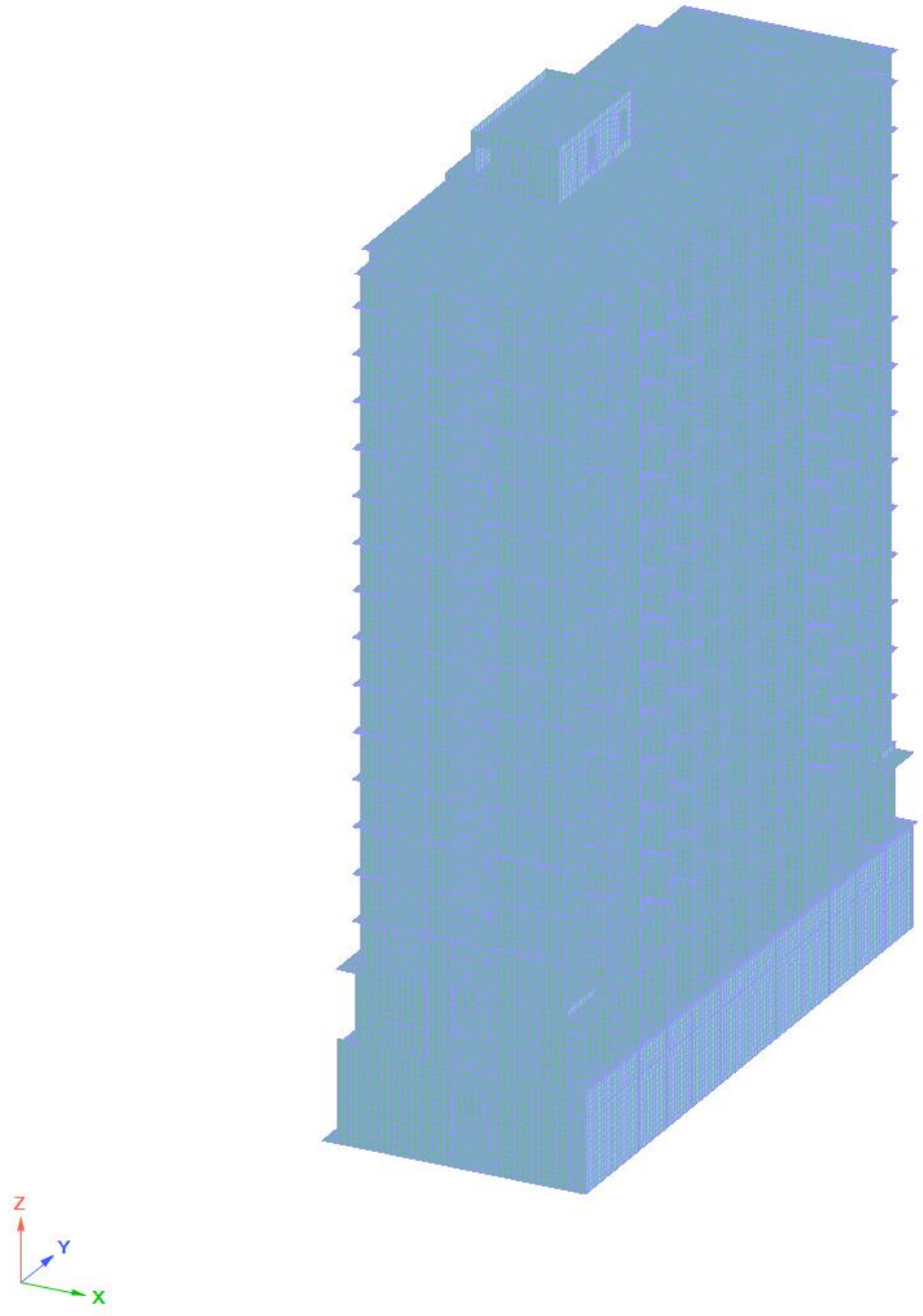
4.3. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ ОТМ. +48.250 153

5. РАСЧЕТ ЗАКЛАДНОЙ ДЕТАЛИ 156

6. ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТОВ 160

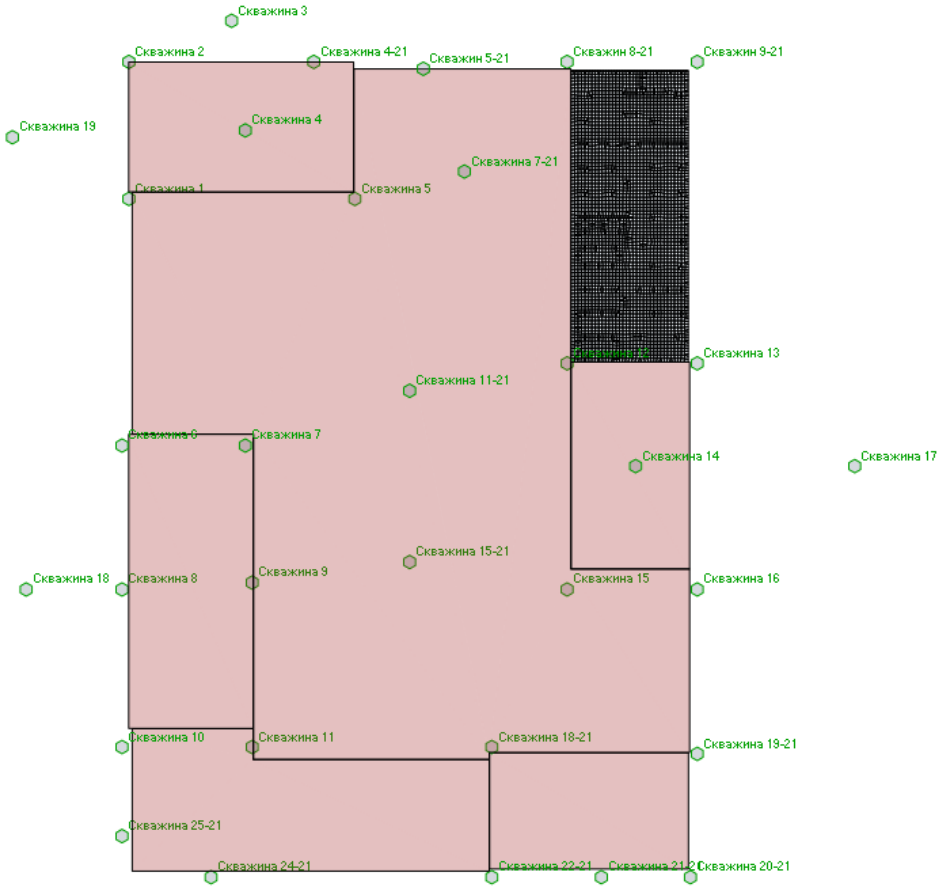
1. РАСЧЕТ КОРПУСА К3 сек.6

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)

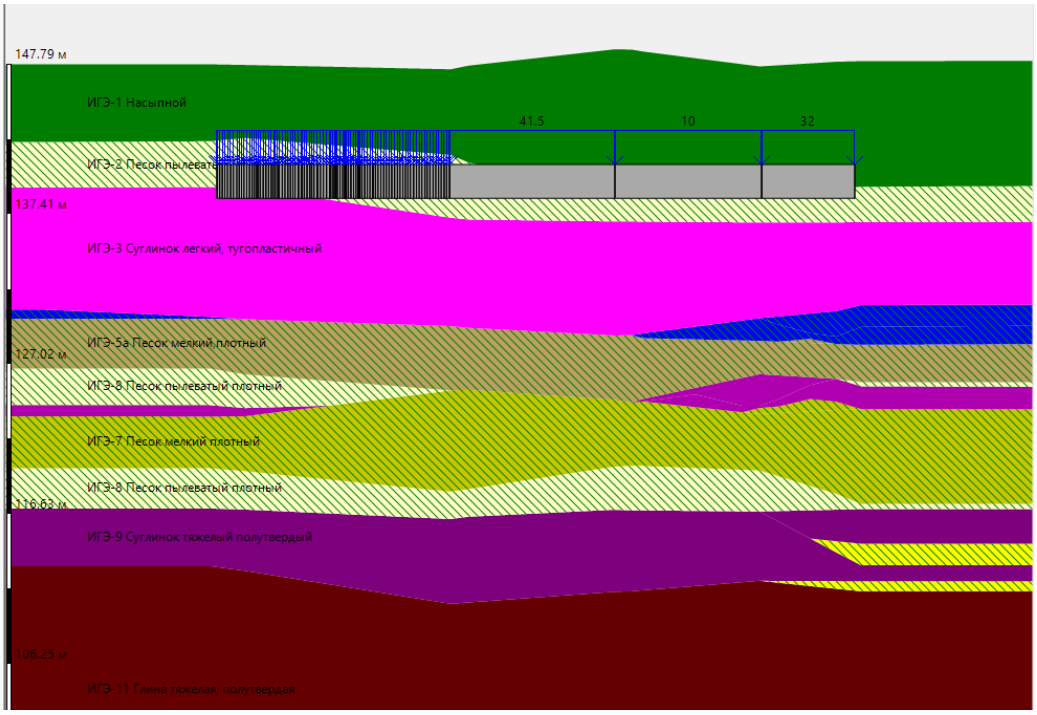


Общий вид здания

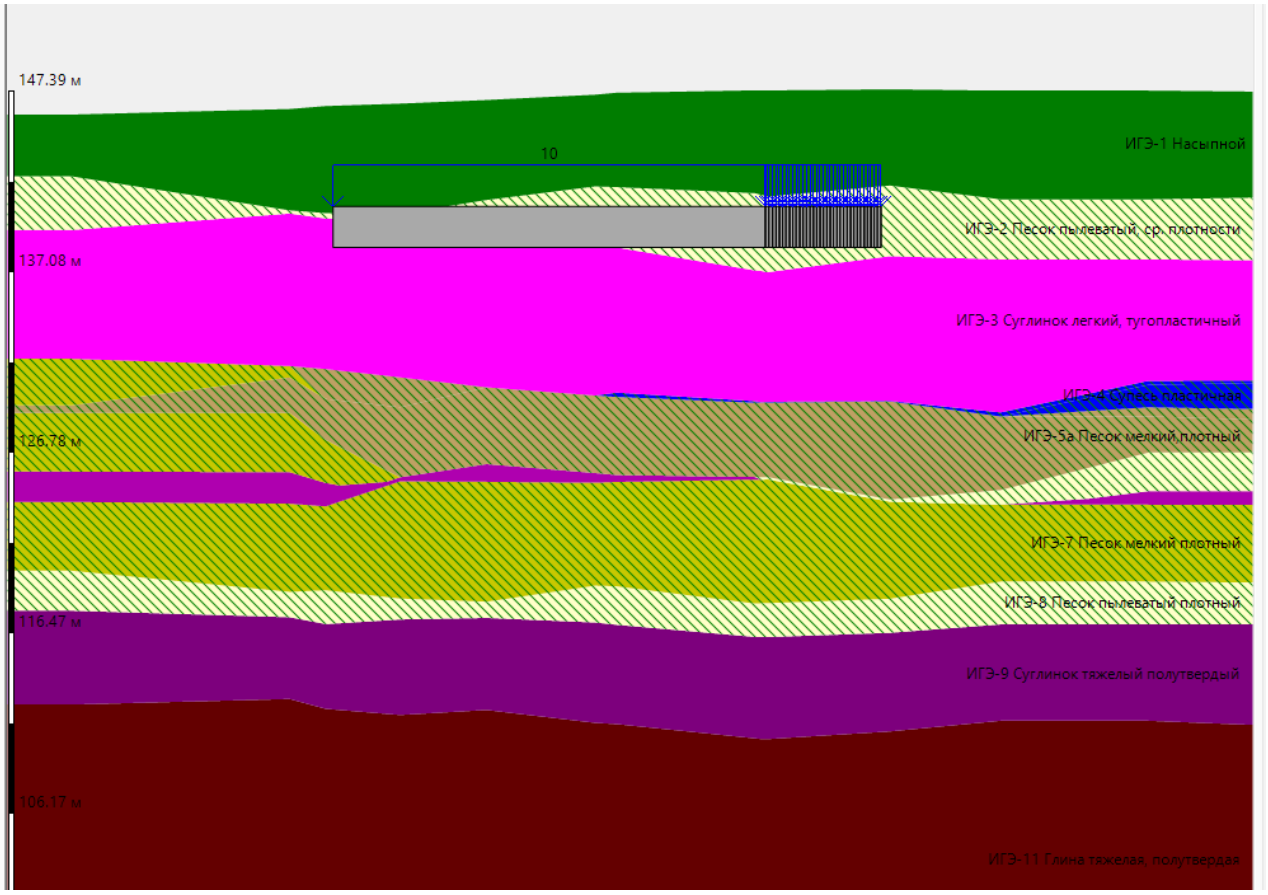
1.1. ПОСАДКА НА ГЕОЛОГИЮ



План скважин



Разрез по скв. 8-21/12

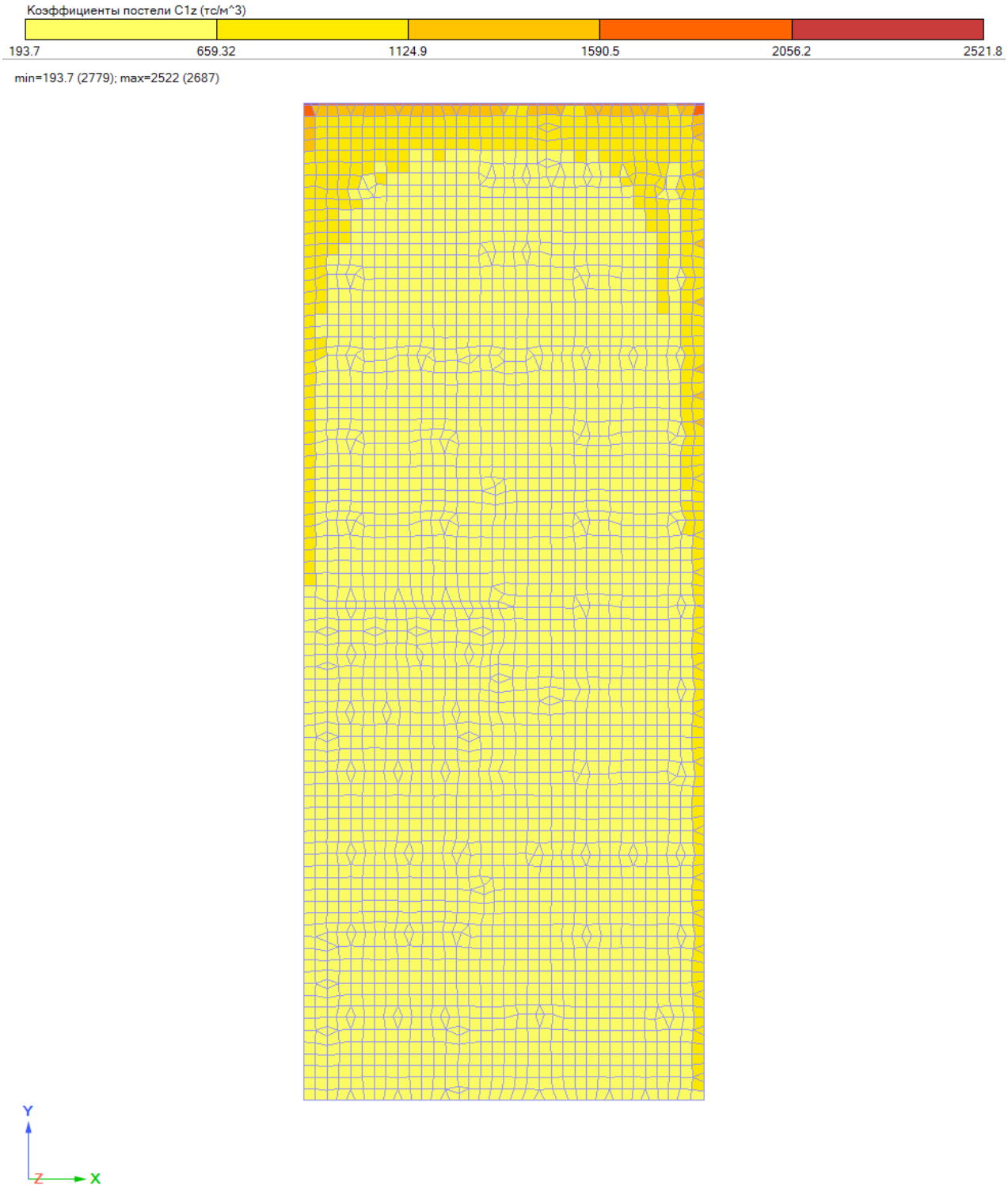


Разрез по скв. 12/13

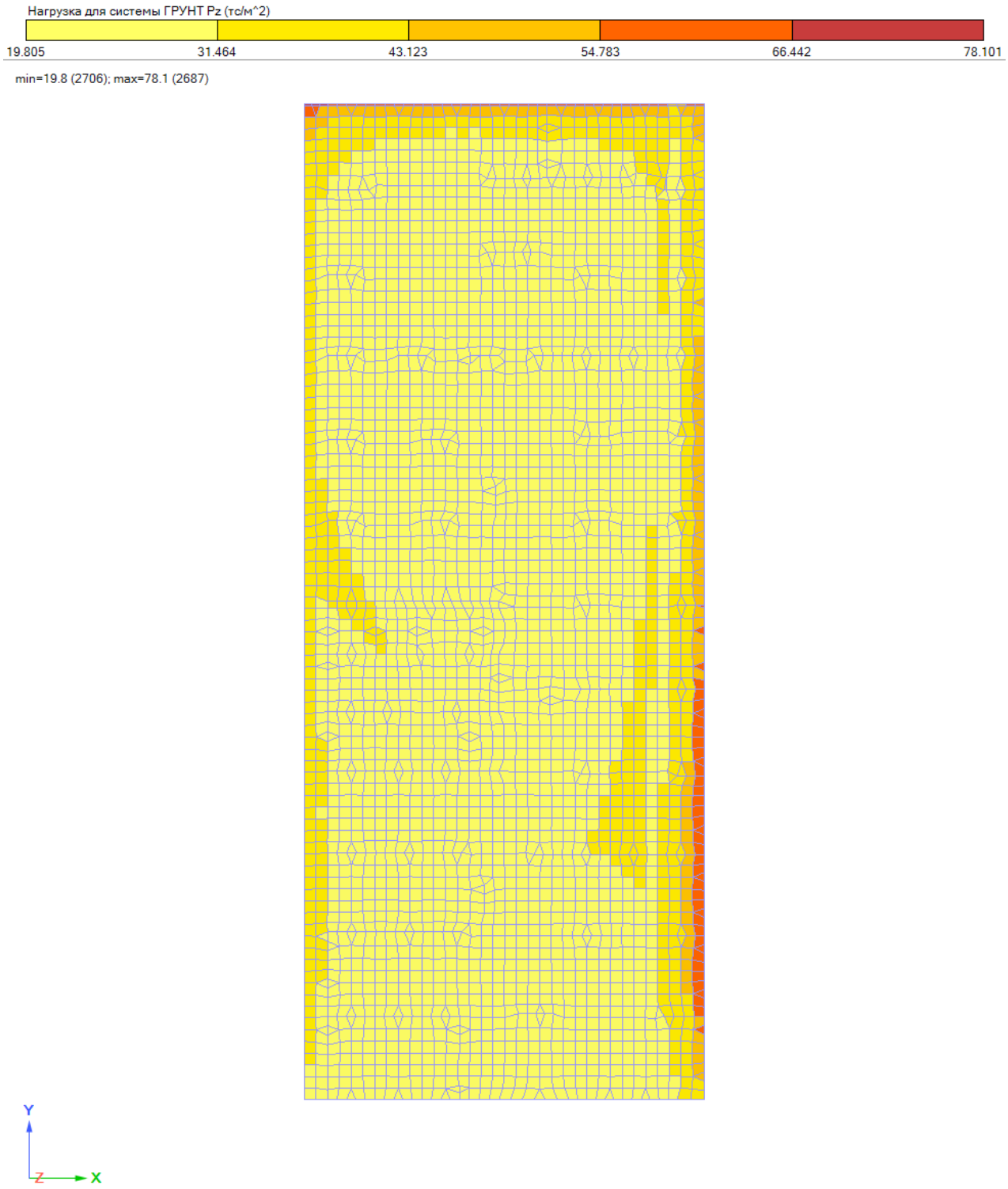
№	Усл. обозн	Наименование грунта	Насыпной грунт	Цвет	Модуль деформации, тс/м^2	Коэффициент Пуассона	Удельный вес грунта, тс/м^3		Коэффициент перехода ко 2 модулю деформации	Природная влажность, д.е.	Показатель текучести	Вода	Коэффициент пористости	Удельное сцепление, тс/м^2		Угол внутреннего трения,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

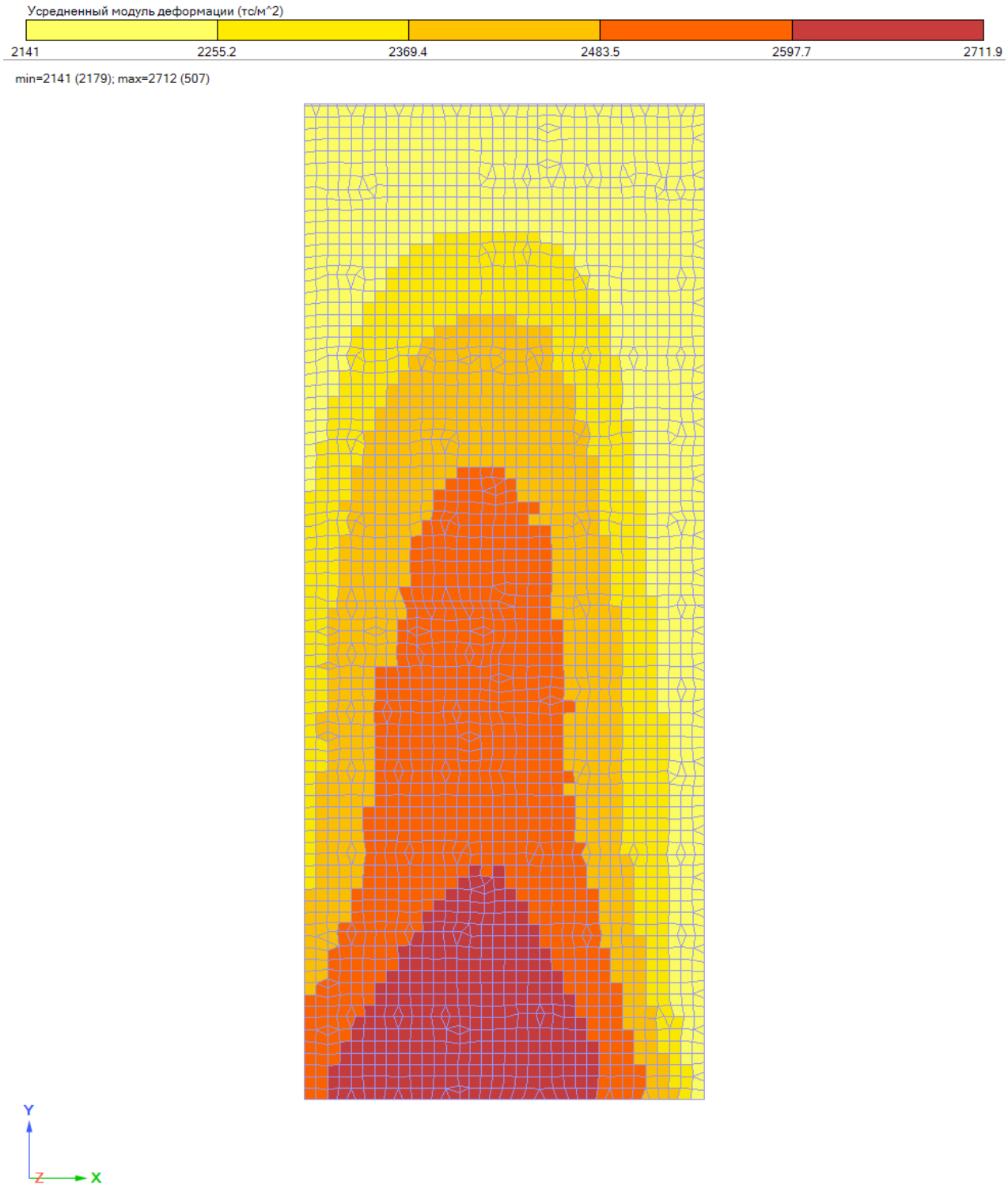
1.2. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОСТЕЛИ, ОСАДКИ, ГЛУБИНЫ СЖИМАЕМОЙ ТОЛЩИ, РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА



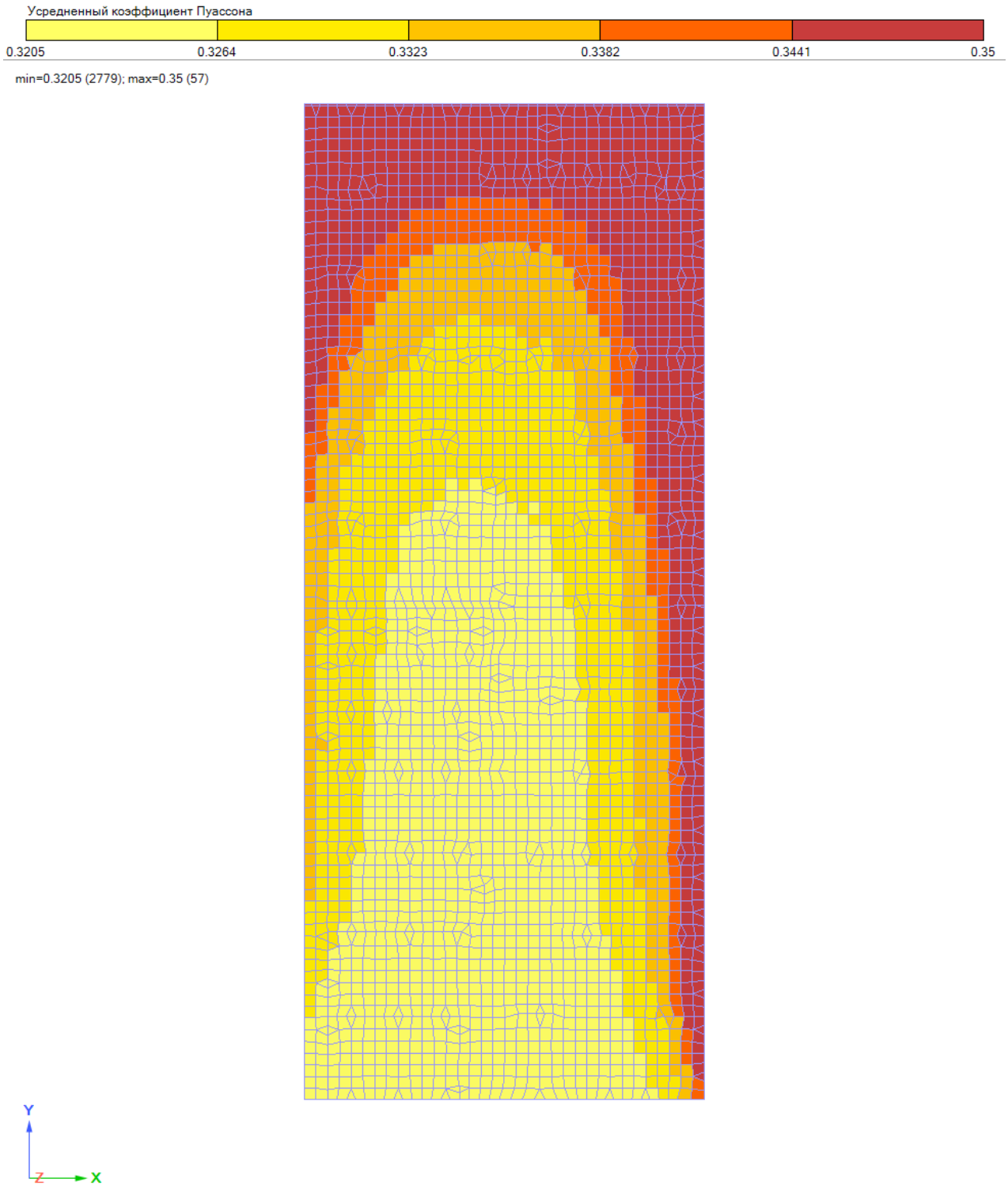
Коэффициенты постели С1 (тс/м3)



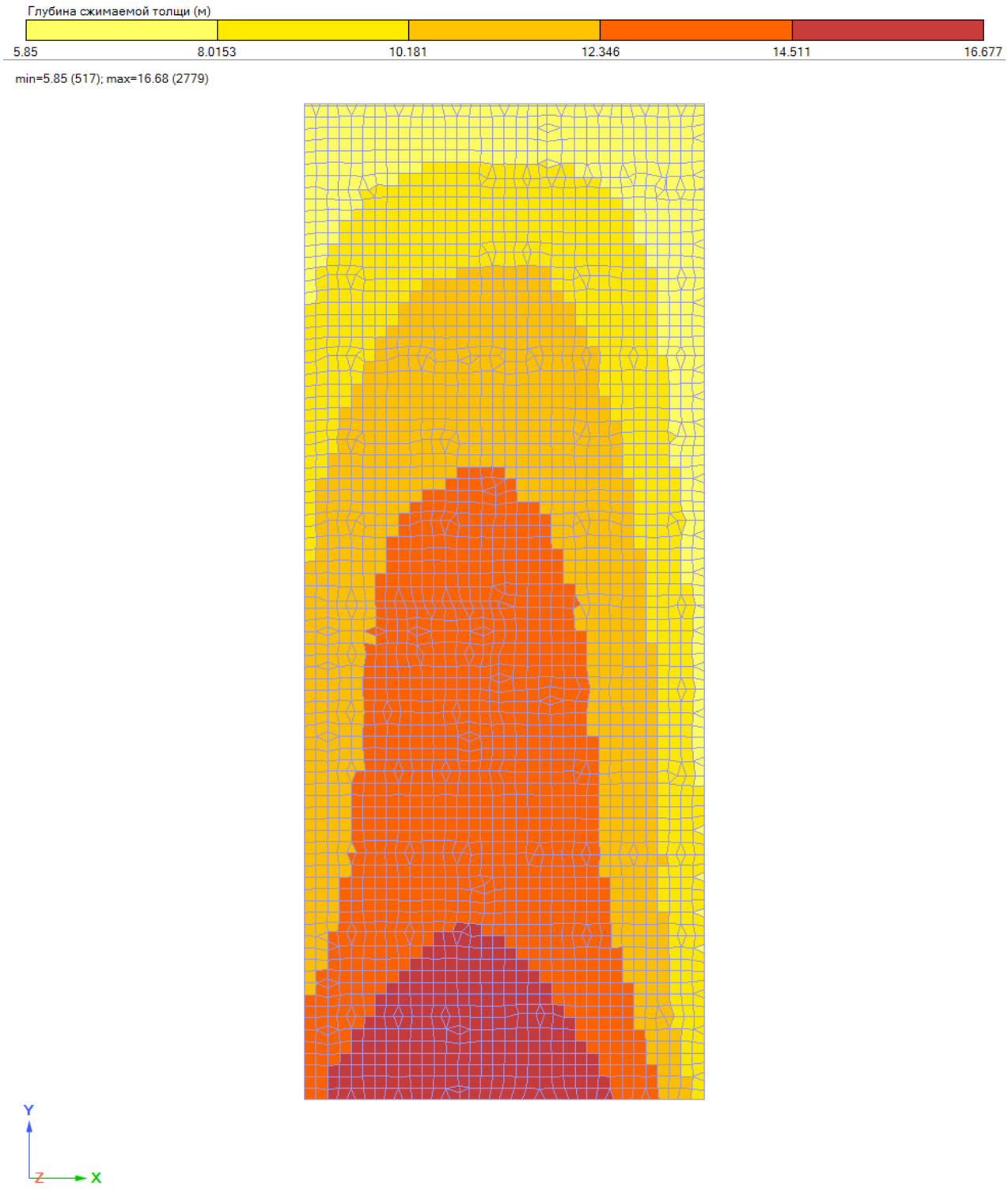
Нагрузка Pz (тс/м2)



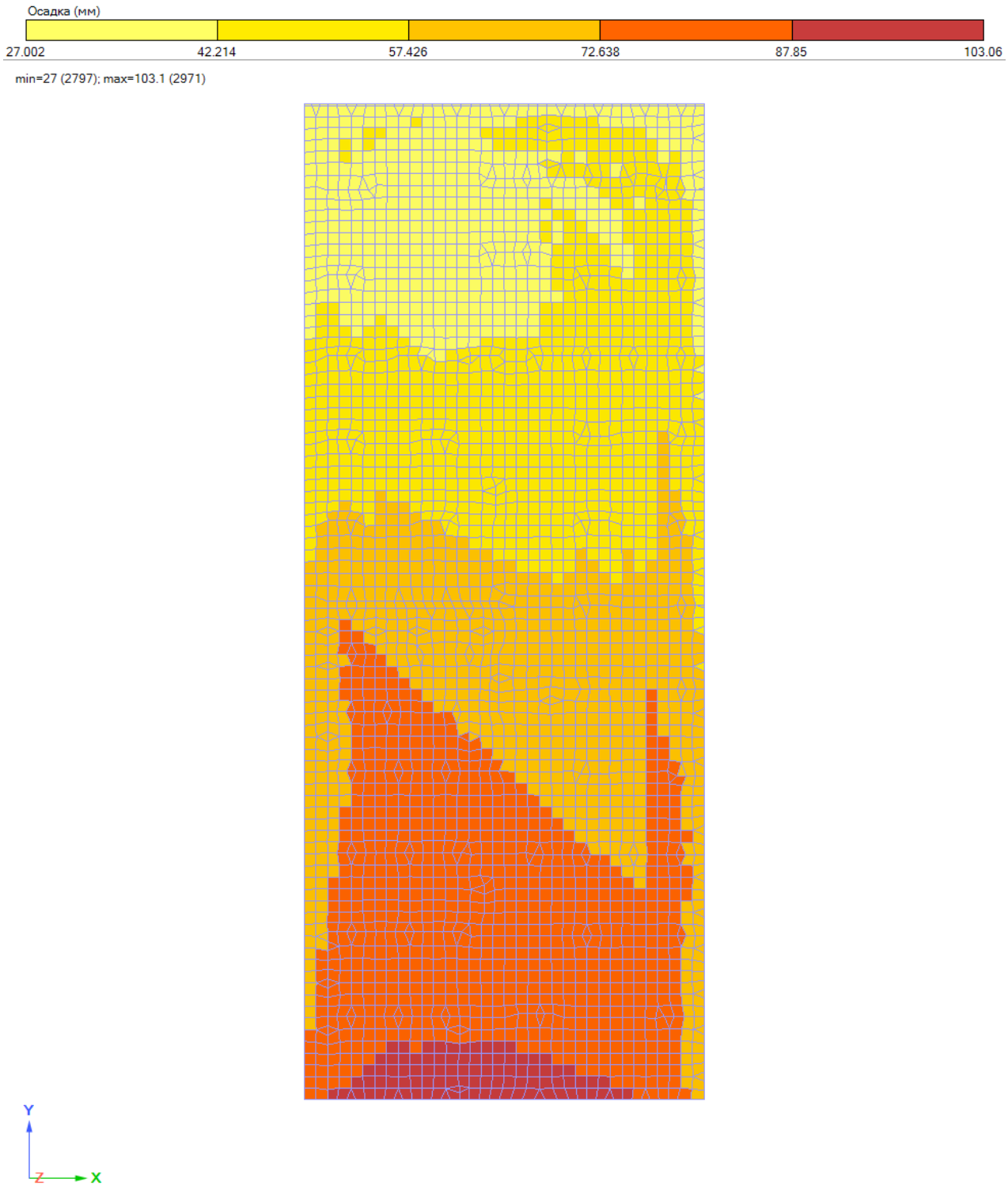
Усредненный модуль деформации (тс/м2)



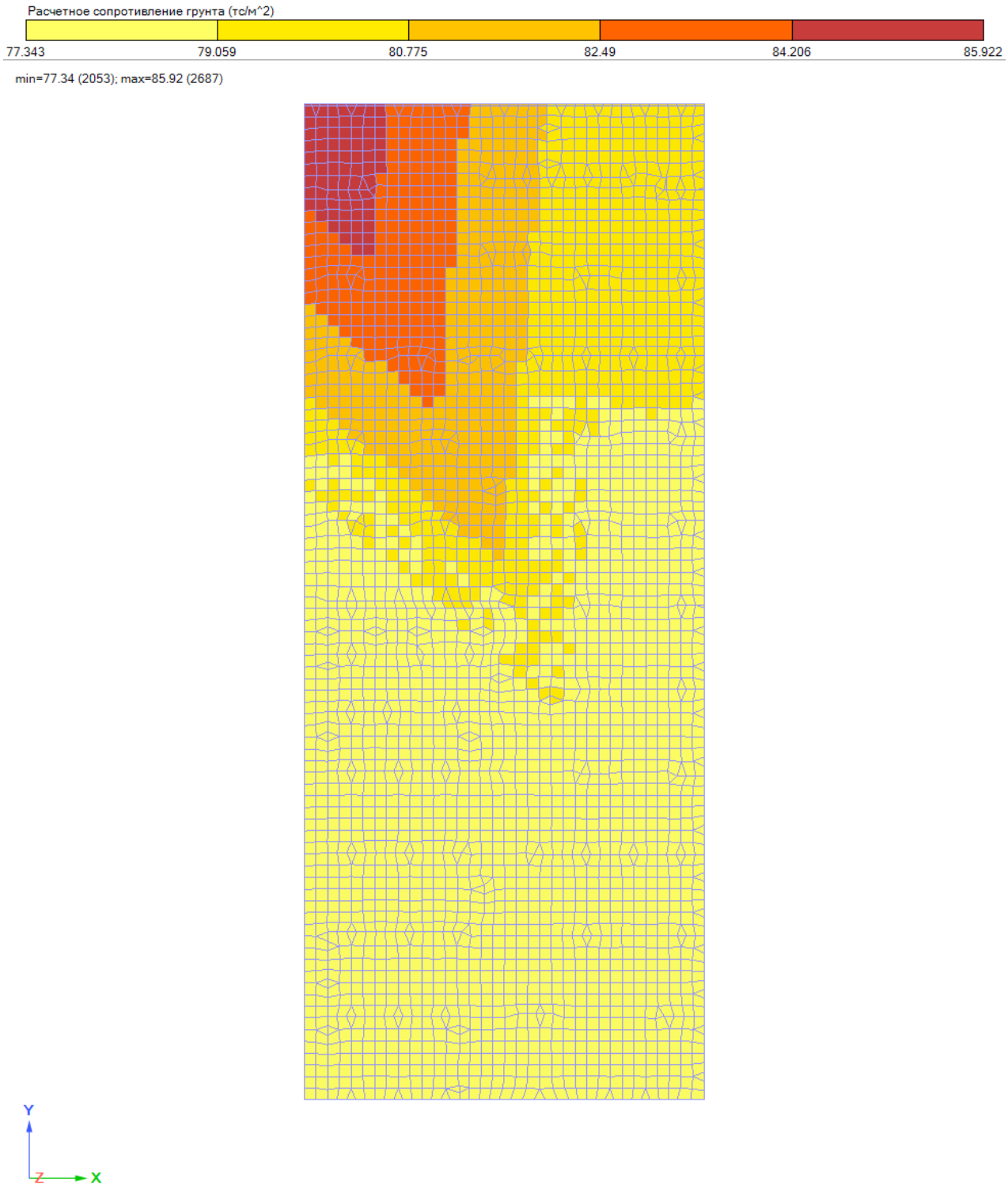
Усредненный коэффициент Пуассона



Глубина сжимаемой толщи (м)

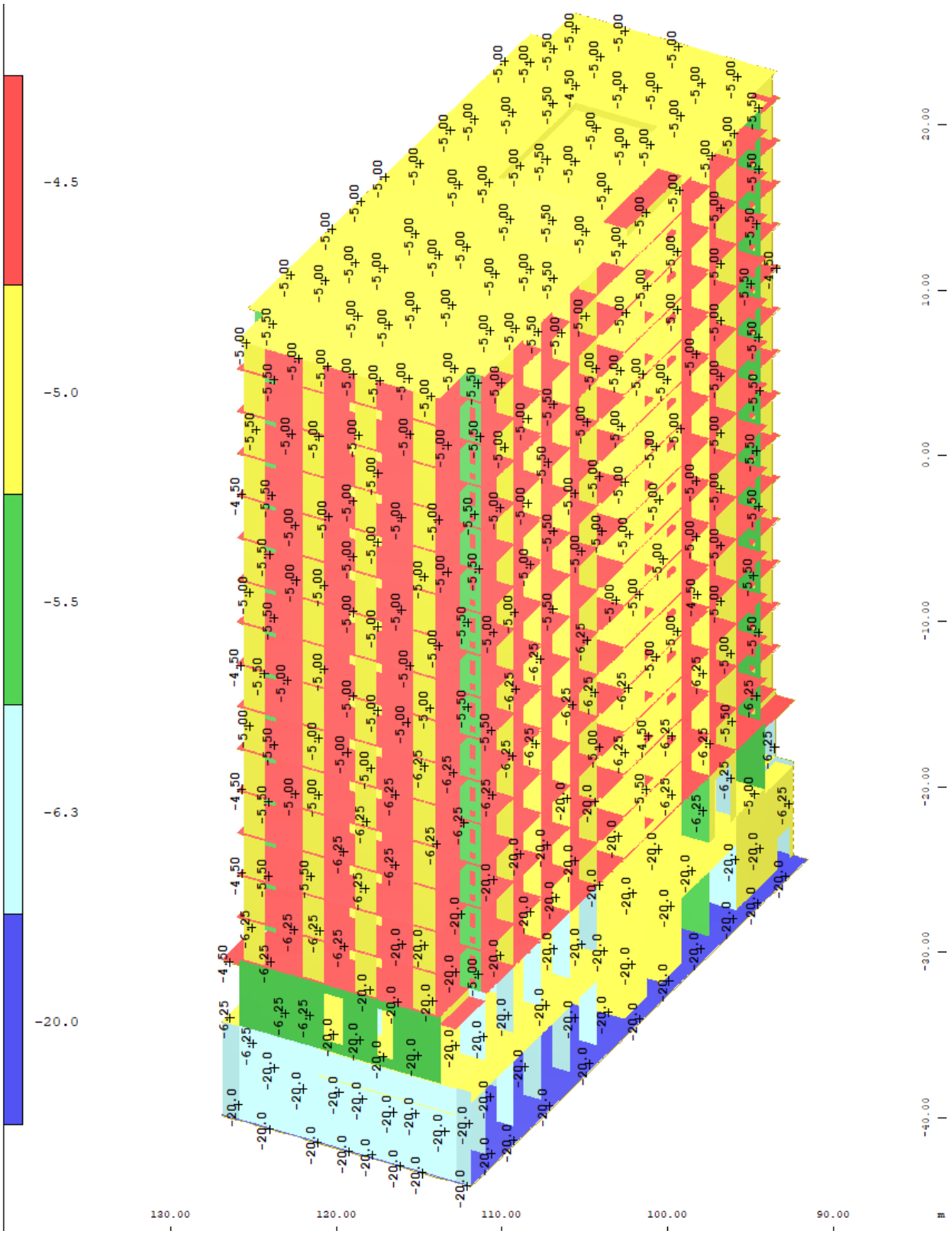

Осадка (мм)
27.002
42.214
57.426
72.638
87.85
103.06
min=27 (2797); max=103.1 (2971)
Y
Z
X

Осадка (мм)

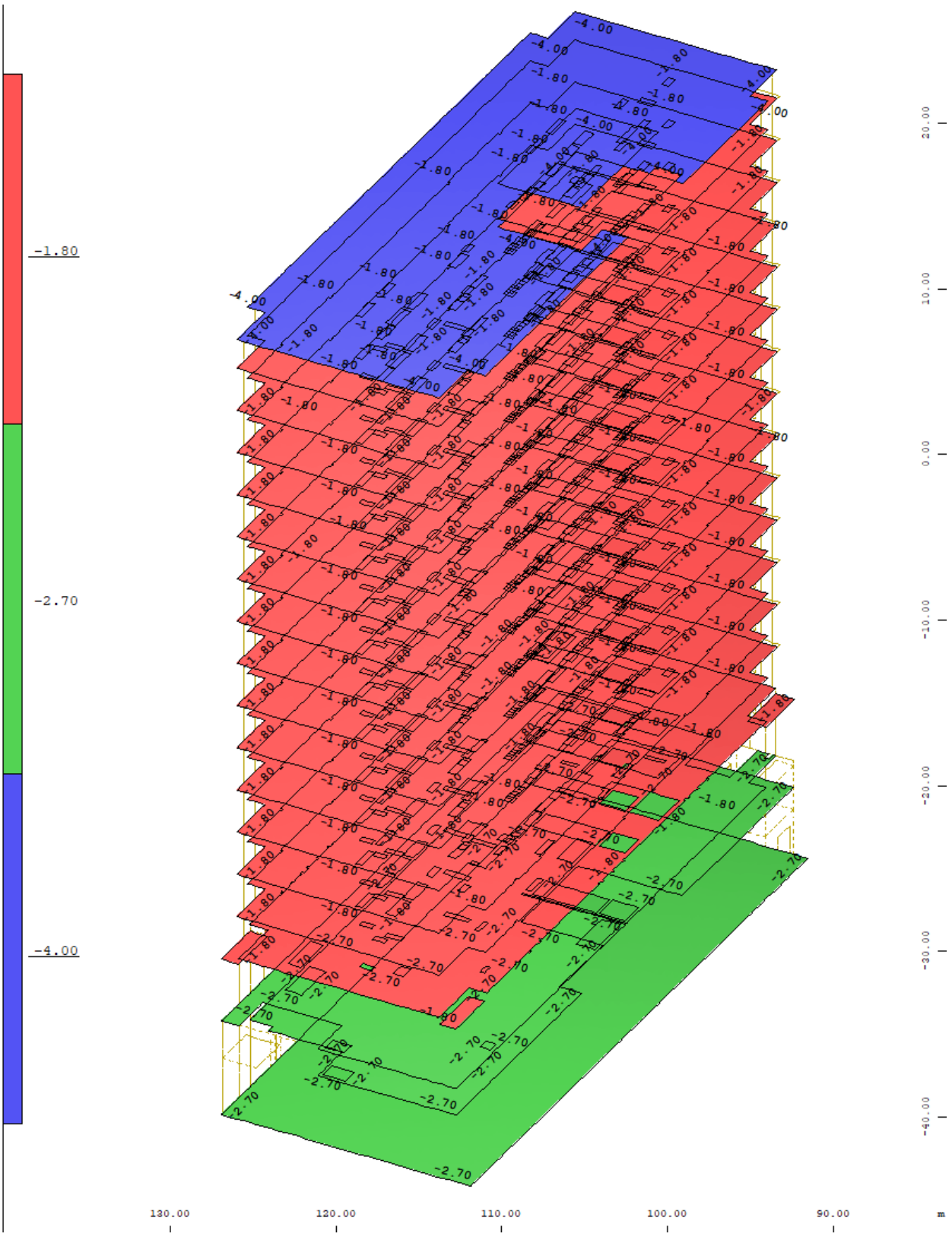


Расчетное сопротивление грунта R (тс/м2)

1.3. НАГРУЗКА НА МОДЕЛЬ, КОЭФФИЦИЕНТЫ РСУ И РСН

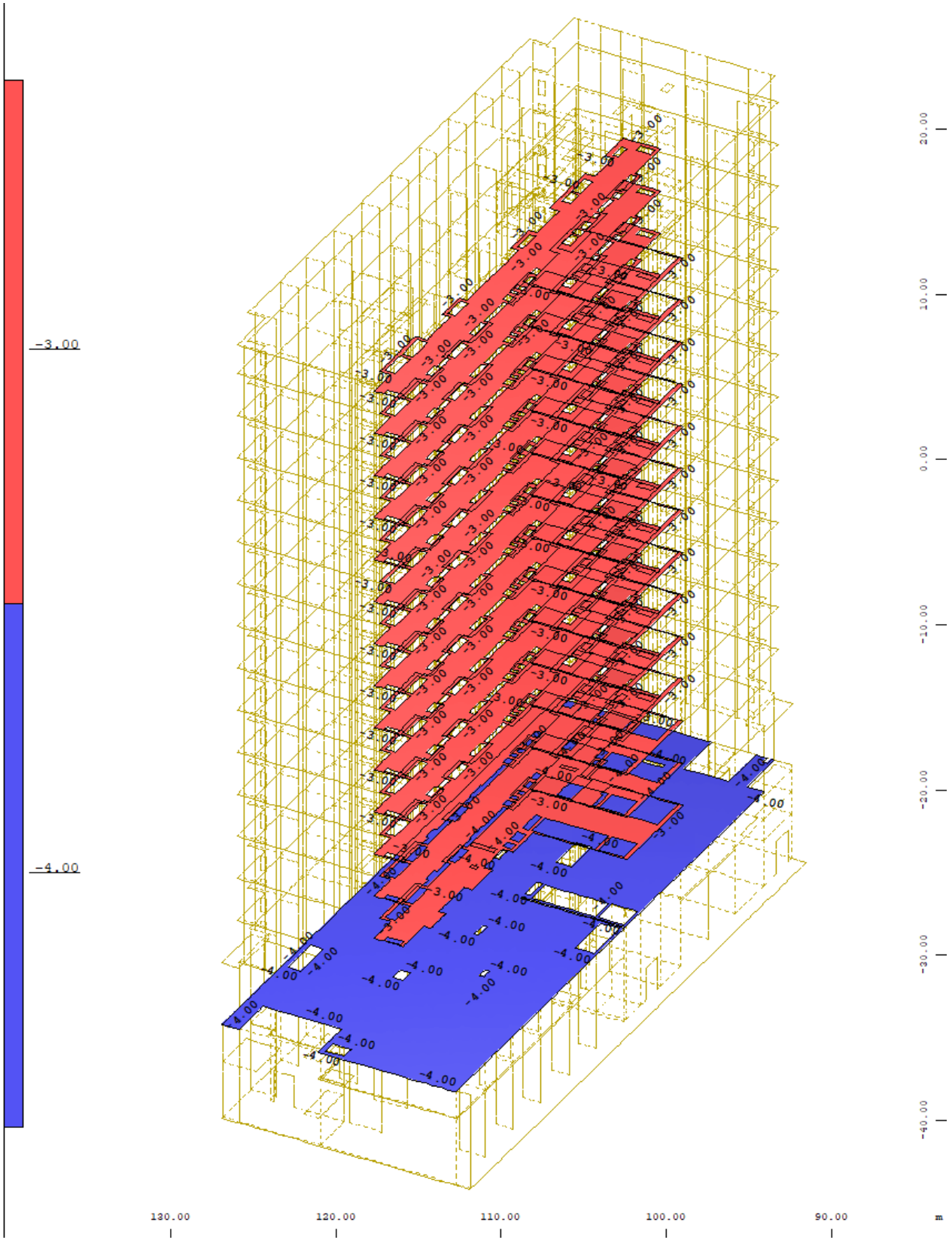


Нормативная нагрузка от собственного веса, кН/м2



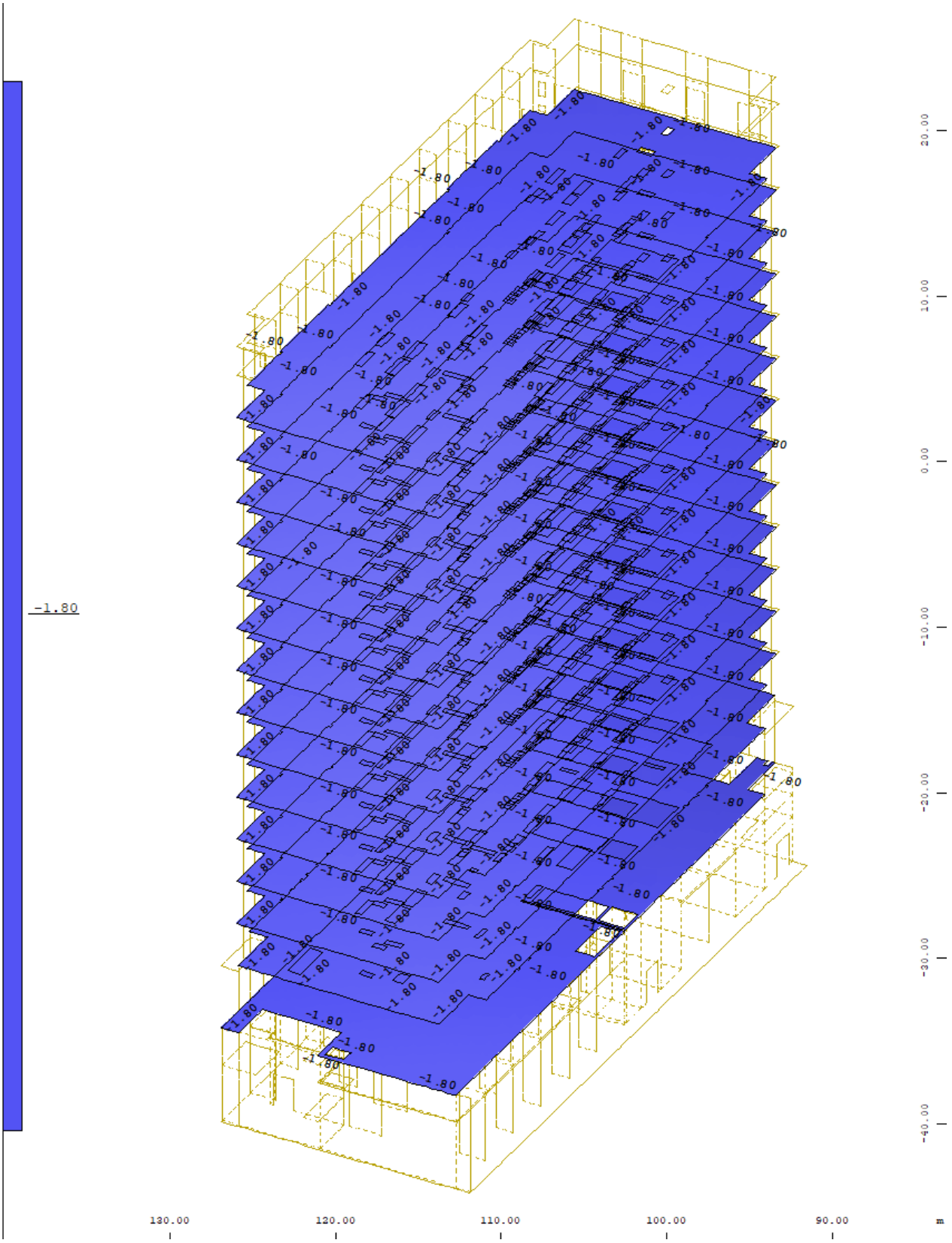
Нормативная нагрузка от полов, кровли, кН/м2

						17-0121-ОК-1-П-КР4.6	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		13



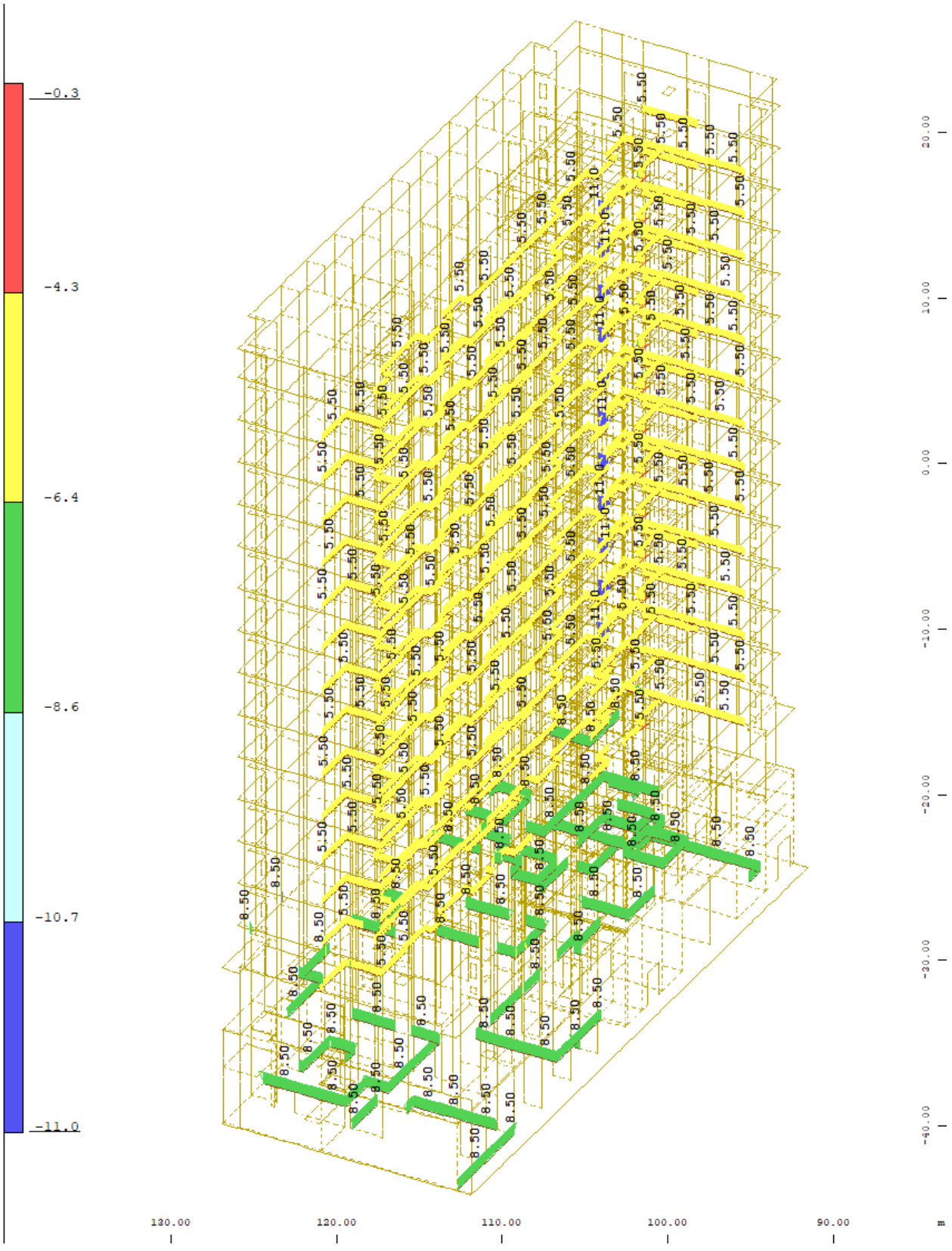
Нормативная нагрузка от коридоров, кН/м2

						17-0121-ОК-1-П-КР4.6	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		14



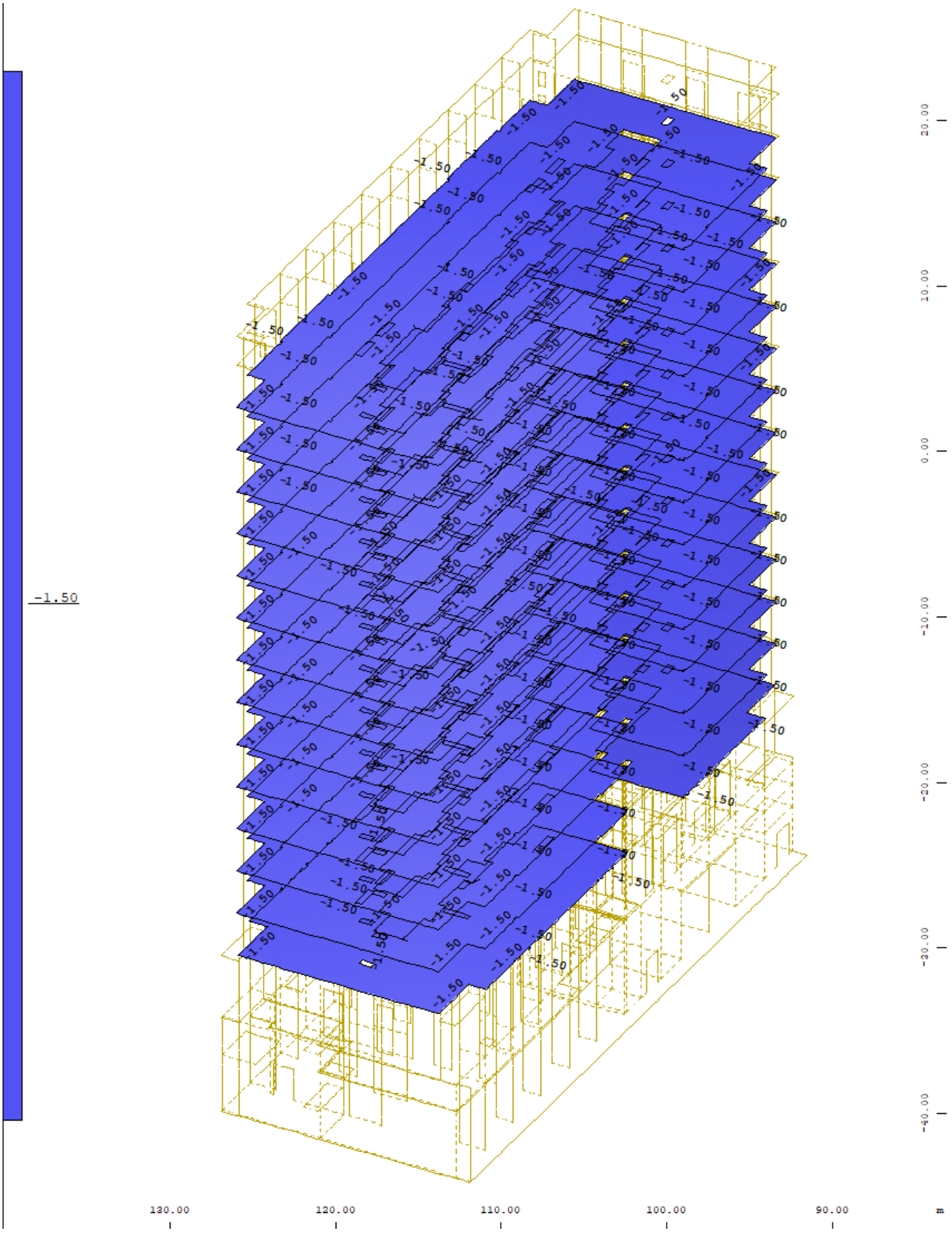
Нормативная нагрузка от перегородок, кН/м2

						17-0121-ОК-1-П-КР4.6	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		15



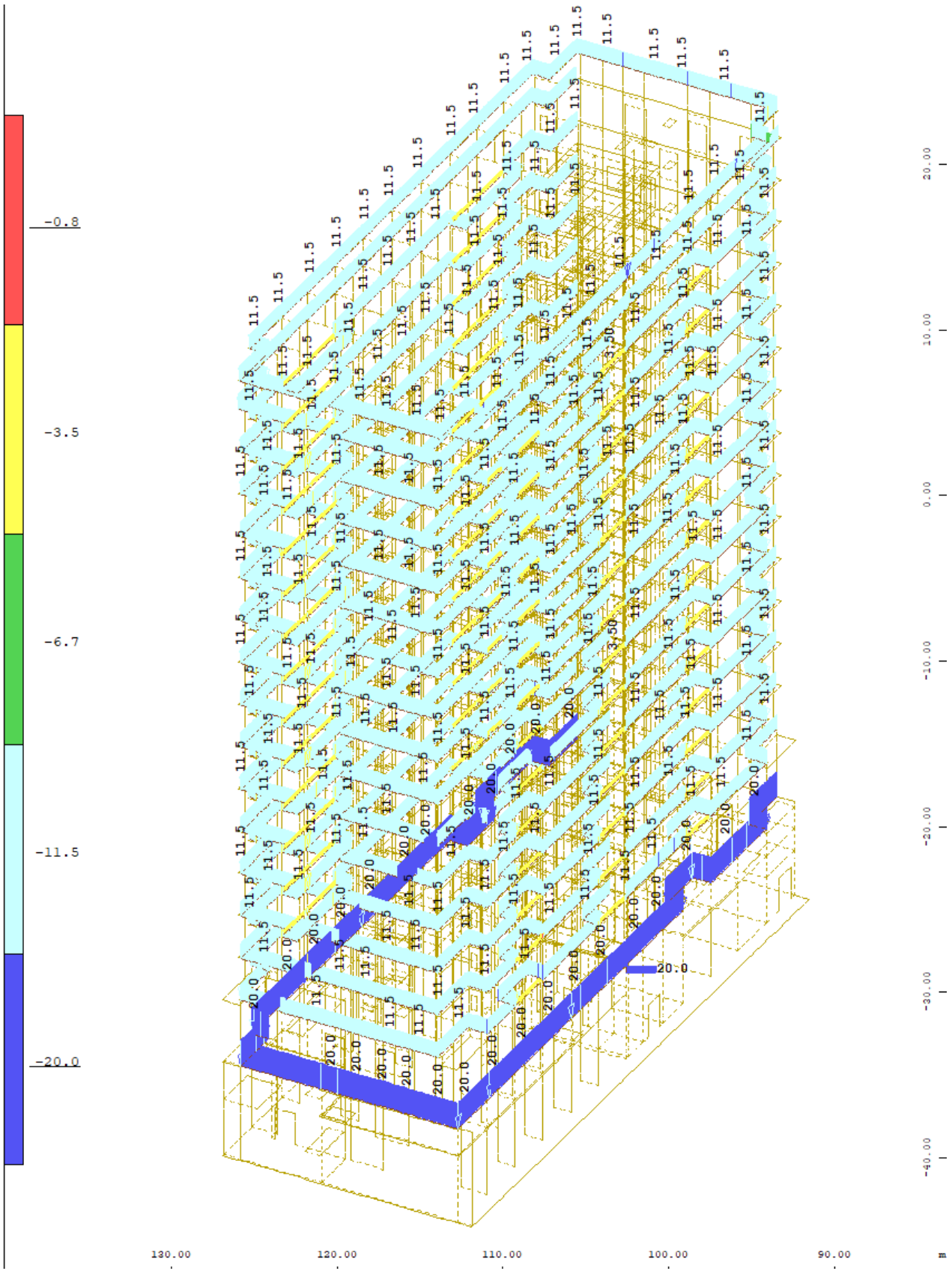
Нормативная нагрузка от перегородок линейная, кН/м

						17-0121-ОК-1-П-КР4.6	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		16



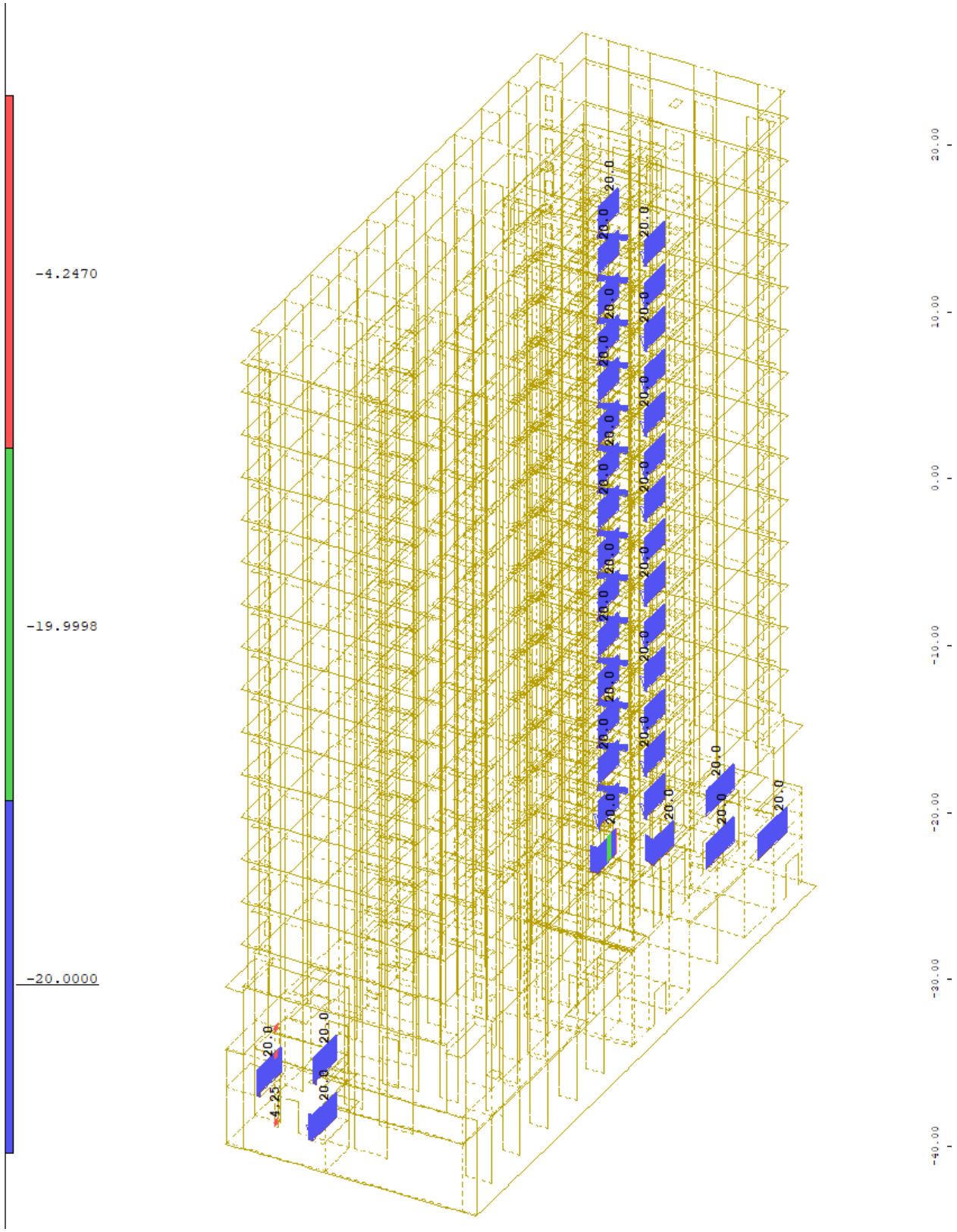
Нормативная нагрузка от квартир, кН/м2

						17-0121-ОК-1-П-КР4.6	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		17



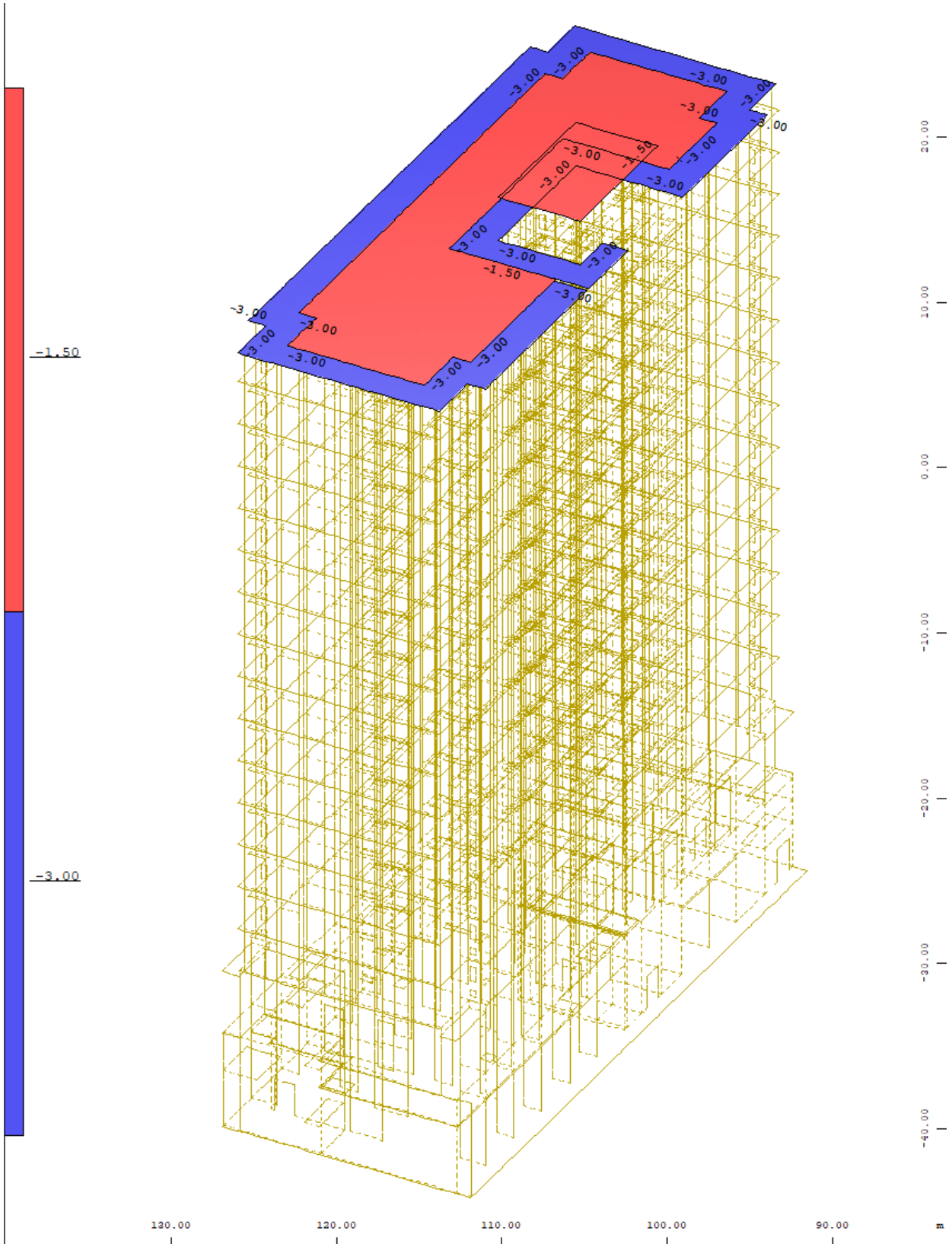
Нормативная нагрузка от фасадов линейная, кН/м

						17-0121-ОК-1-П-КР4.6	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		18



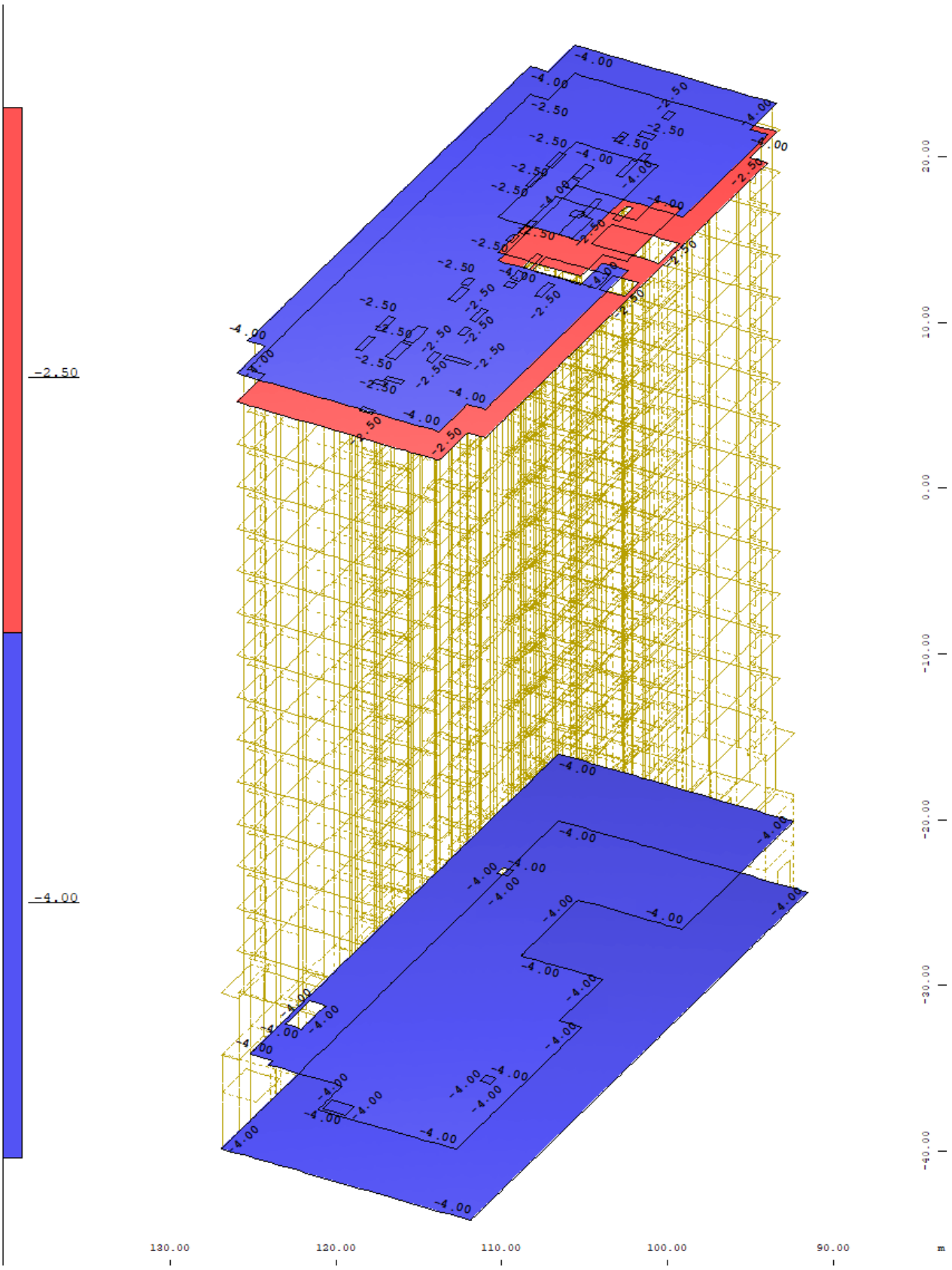
Нормативная нагрузка от лестничных маршей, кН/м

						17-0121-ОК-1-П-КР4.6	Лист
							19
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		



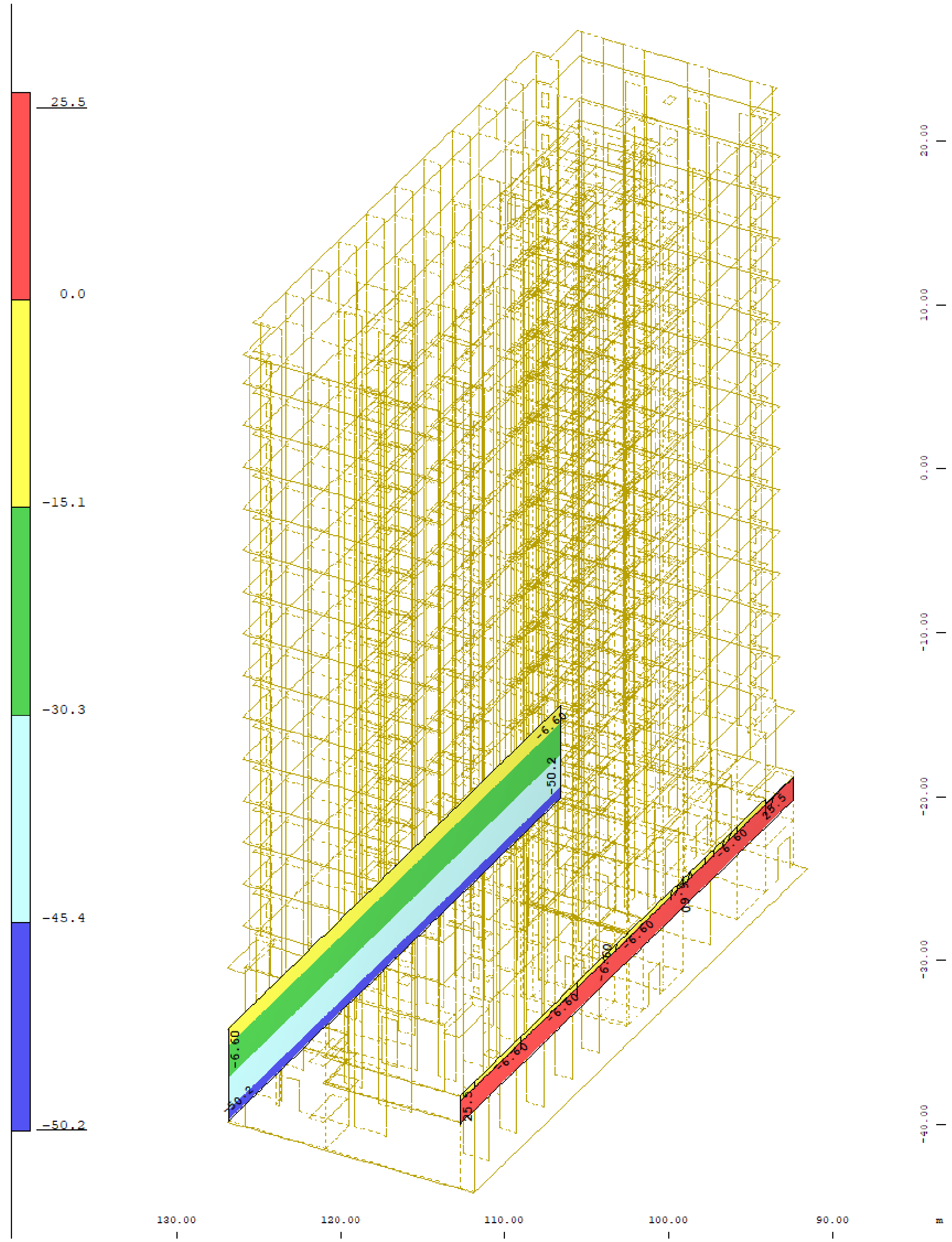
Нормативная нагрузка от снега, кН/м2

						17-0121-ОК-1-П-КР4.6	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		20

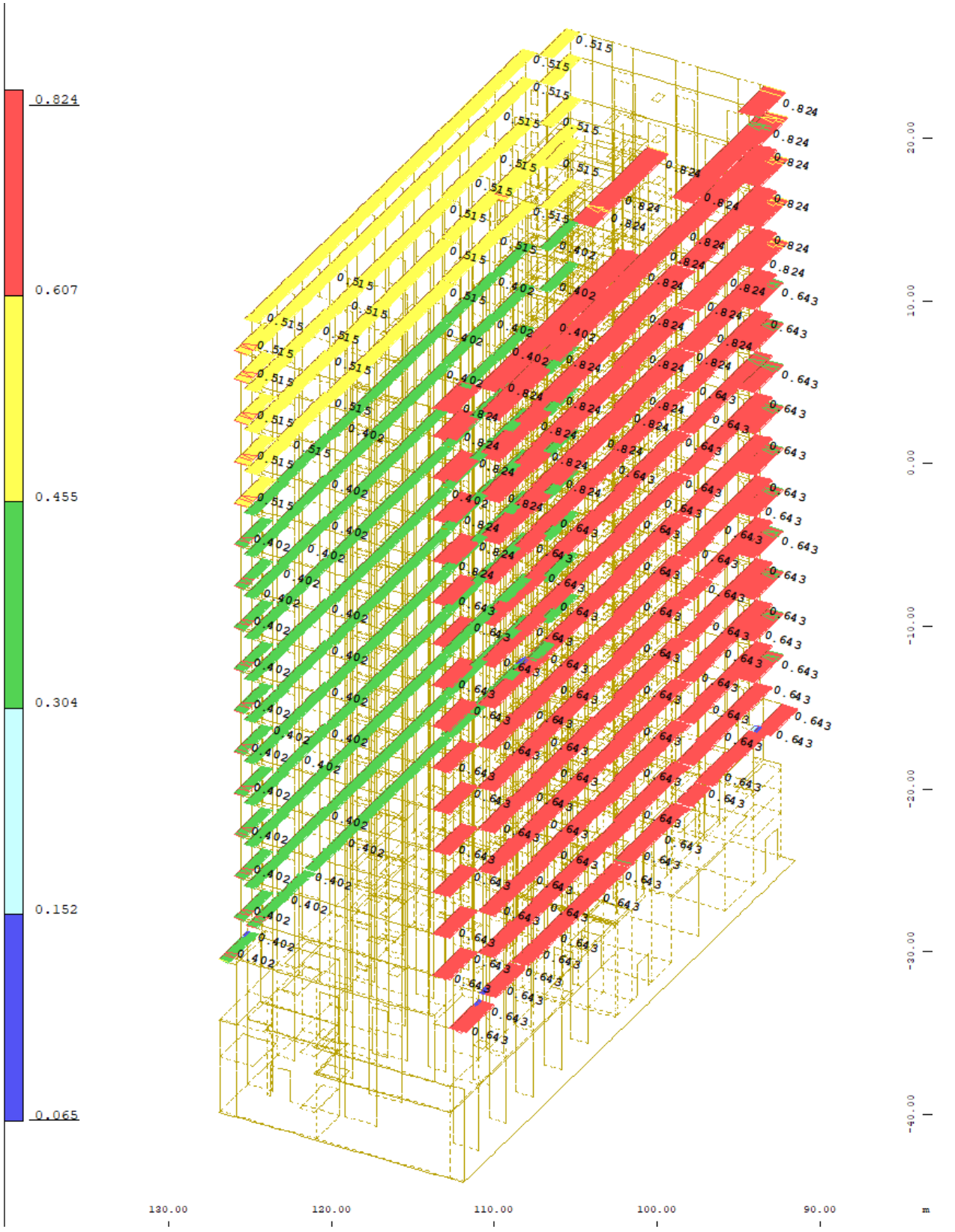


Нормативная нагрузка от оборудования, кН/м2

						17-0121-ОК-1-П-КР4.6	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		21

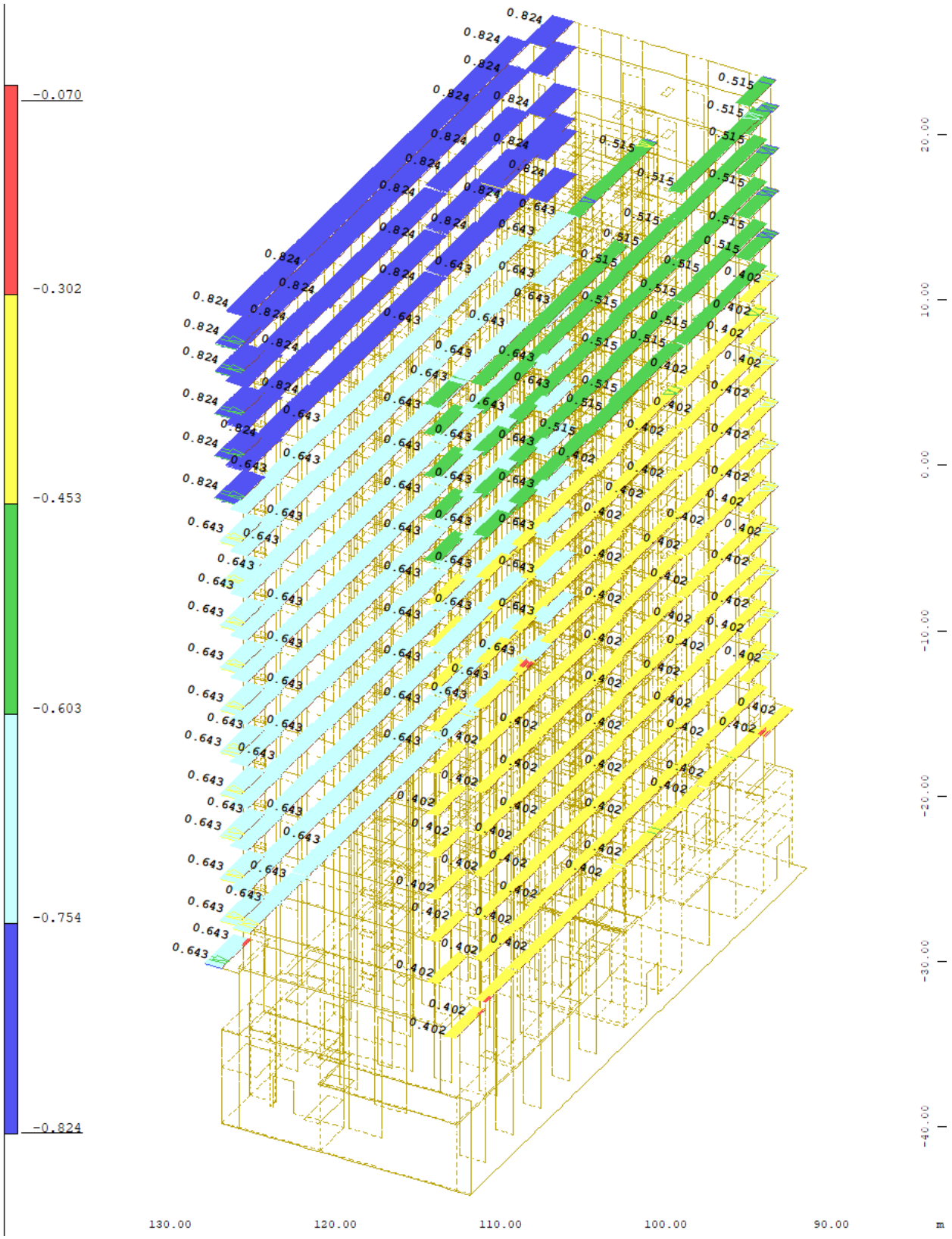


Нормативная нагрузка от давления грунта, кН/м2



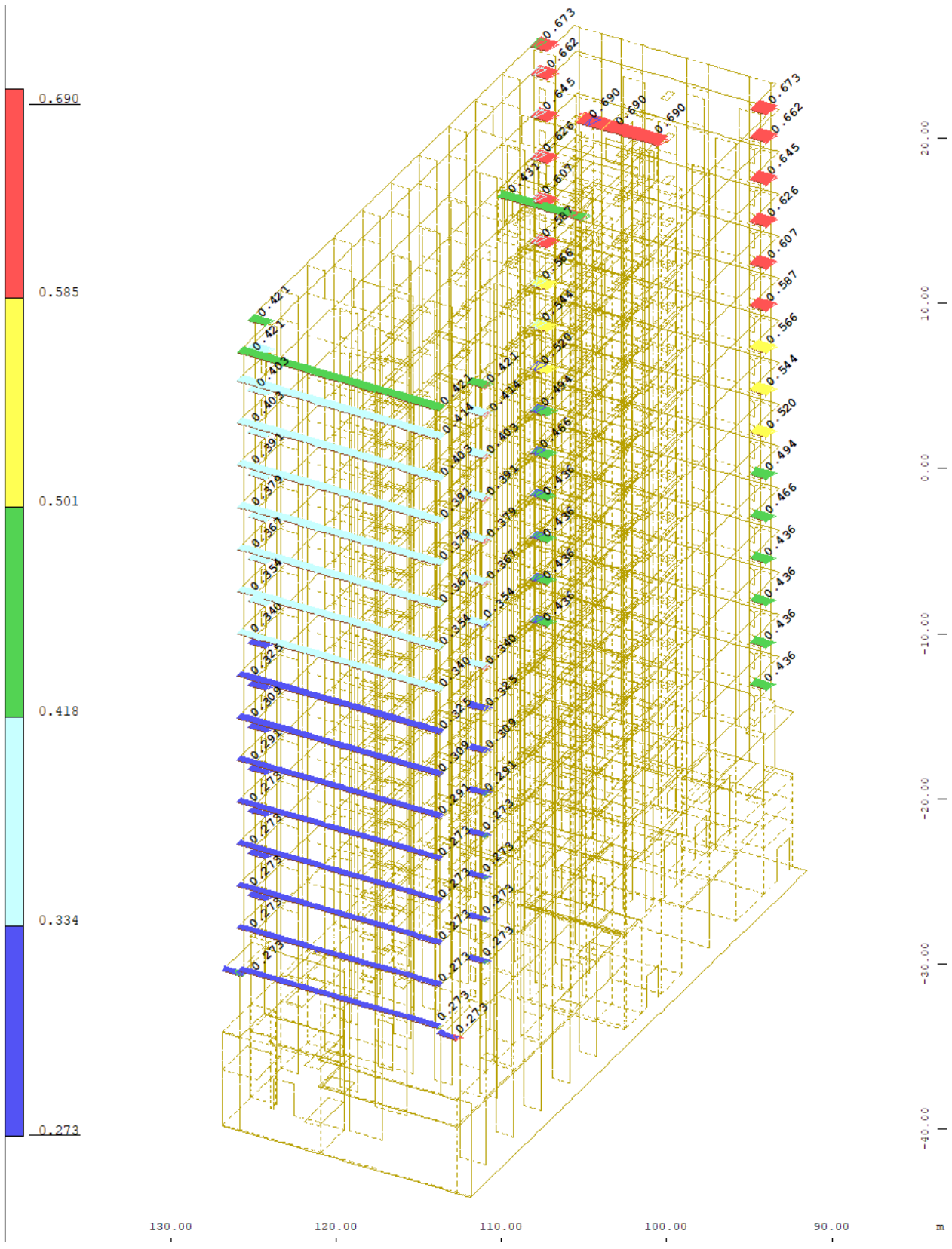
Нормативная нагрузка от ветра по +X, кН/м

						17-0121-ОК-1-П-КР4.6	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		23



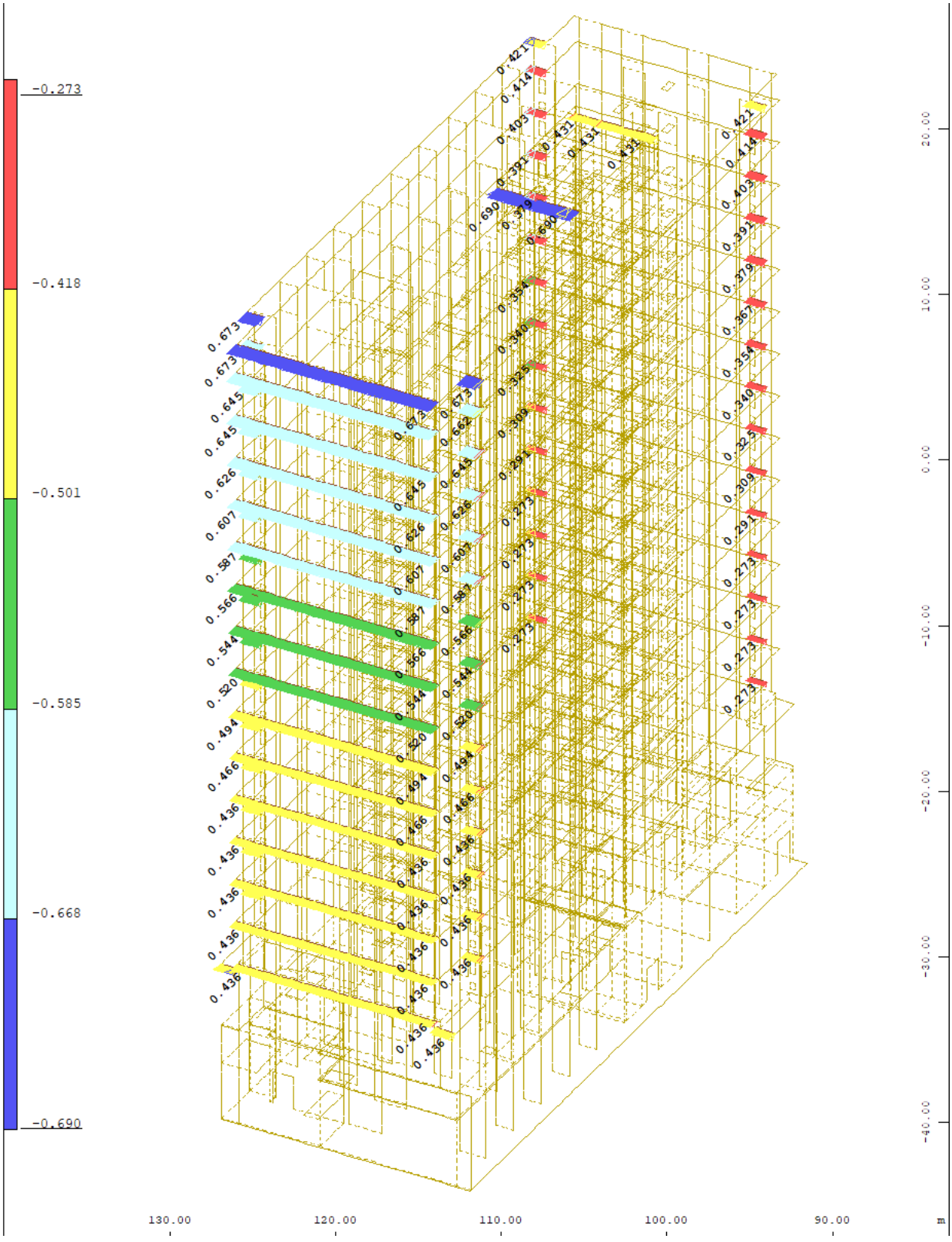
Нормативная нагрузка от ветра по -X, кН/м

						17-0121-ОК-1-П-КР4.6	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		24



Нормативная нагрузка от ветра по +Y, кН/м

						17-0121-ОК-1-П-КР4.6	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		25



Нормативная нагрузка от ветра по -Y, кН/м

						17-0121-ОК-1-П-КР4.6	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		26

Коэффициенты для РСУ

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

Коэффициенты для РСН

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

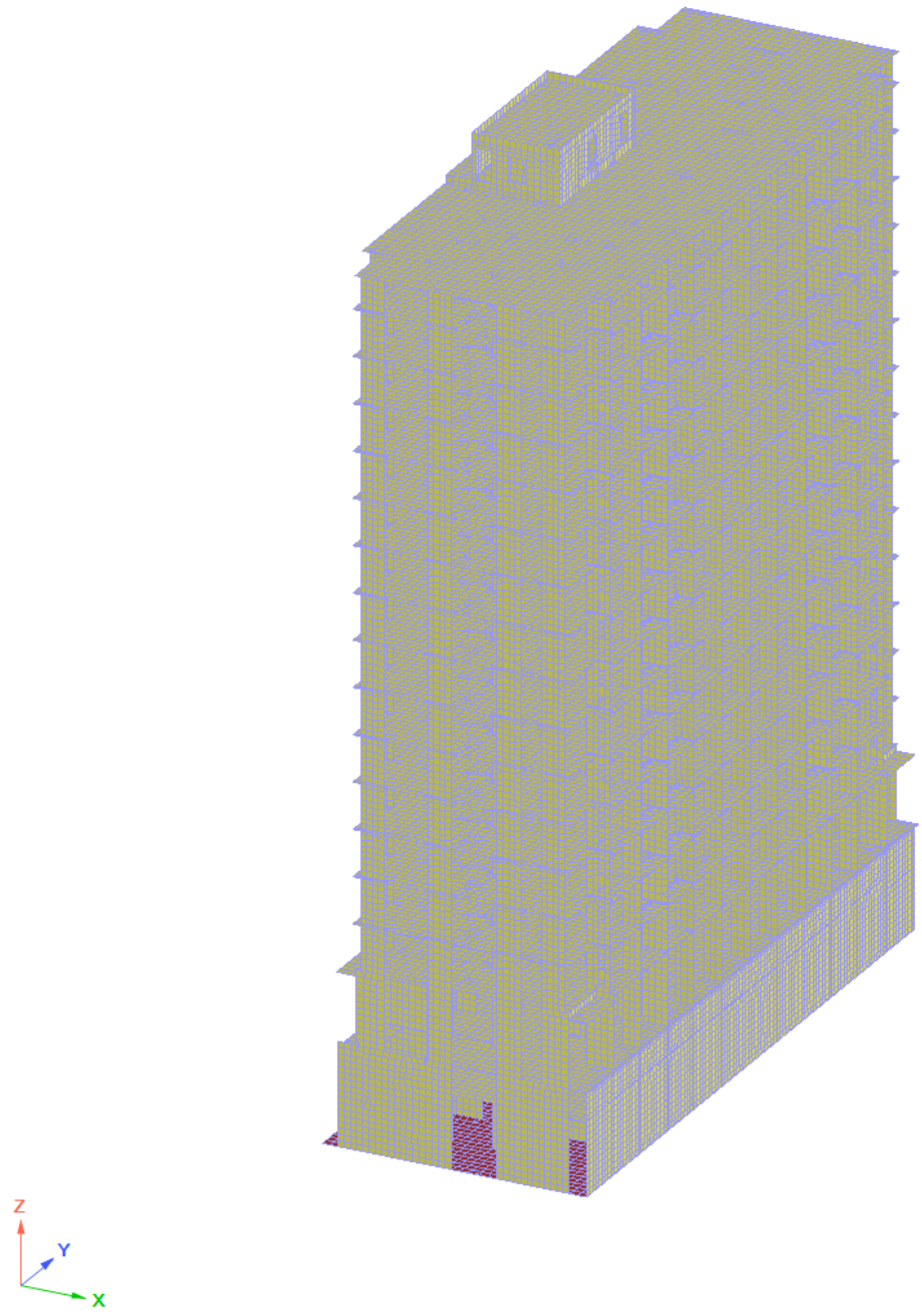
Сочетание	Загружение	Имя загружения	Коэф.к загр.	Коэф.к расч.	Коэф.к норм.	Доля дл.	Итог.коэф.к расч.	Итог.коэф.к расч.дл.дейст.	Итог.коэф.к норм.	Итог.коэф.к норм.дл.дейст.
3	1	G_Deadload	1	1.1	1	1	1.1	1.1	1	1
	2	G_Полы	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	3	L_Коридоры	1	1.2	1	0.35	1.2	0.42	1	0.35
	4	Q_Оборудование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

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

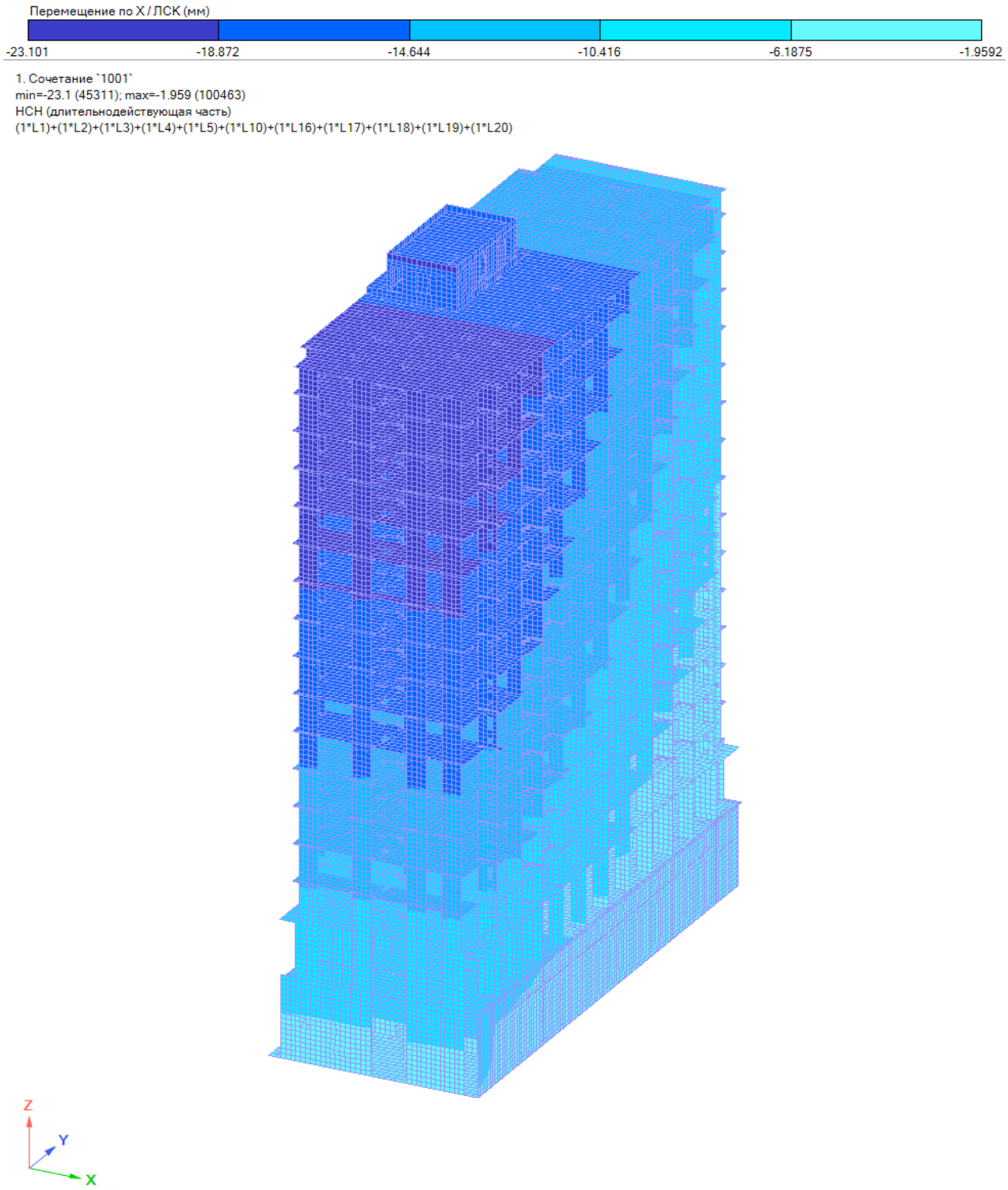
1.4. ЖЕСТКОСТИ, ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, УСКОРЕНИЯ



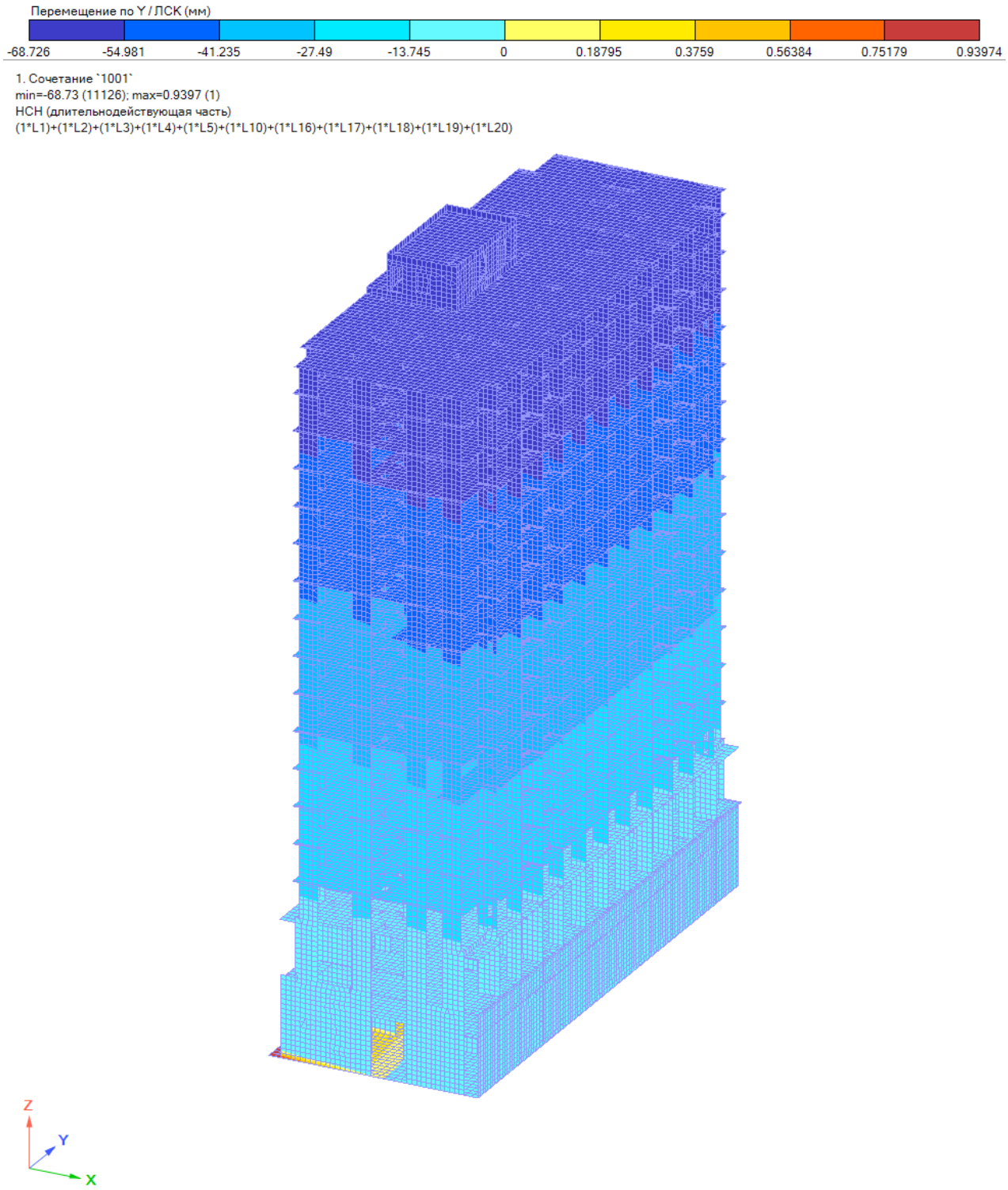
min=18 (6291); max=80 (1)



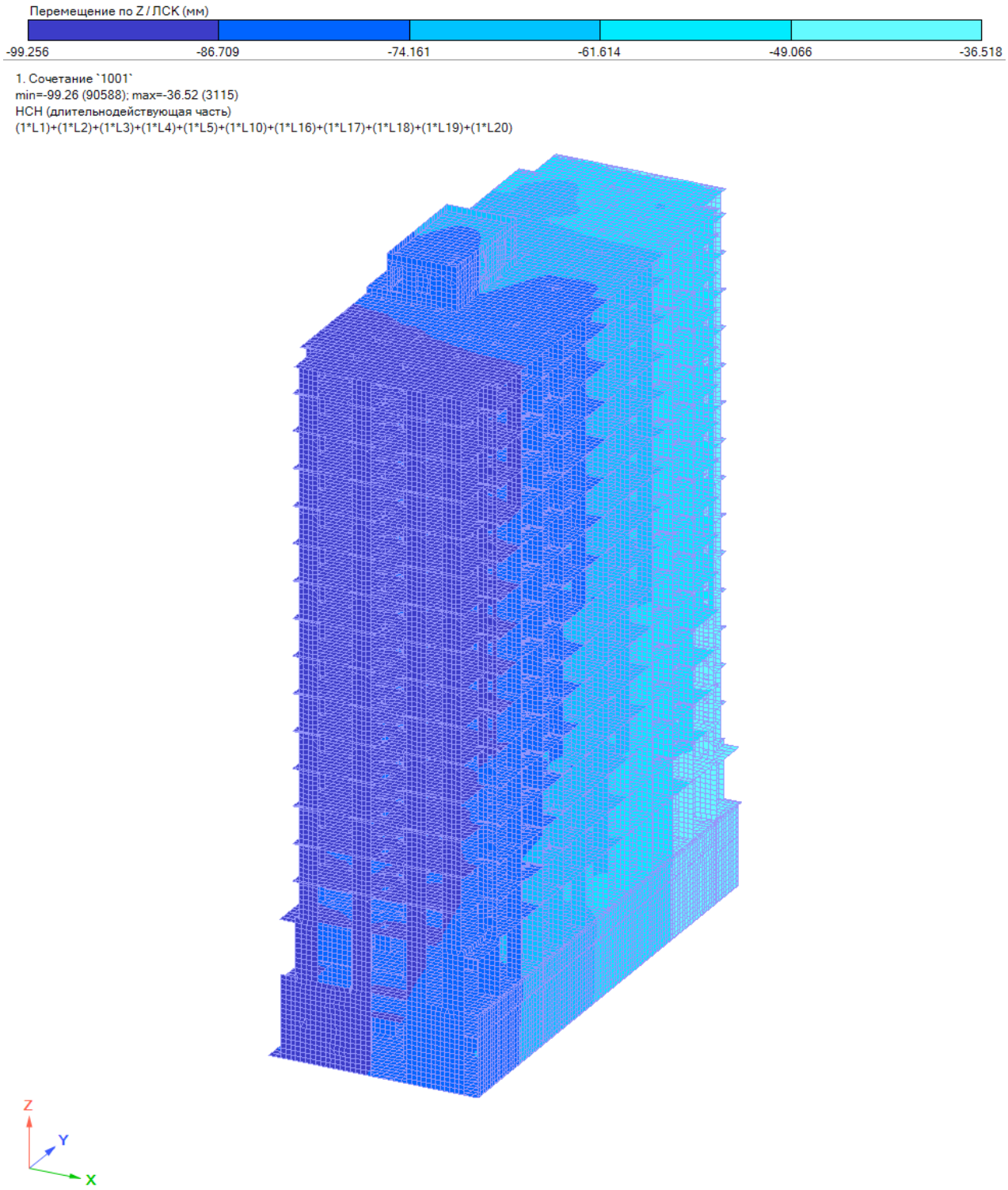
Толщины пластин, см



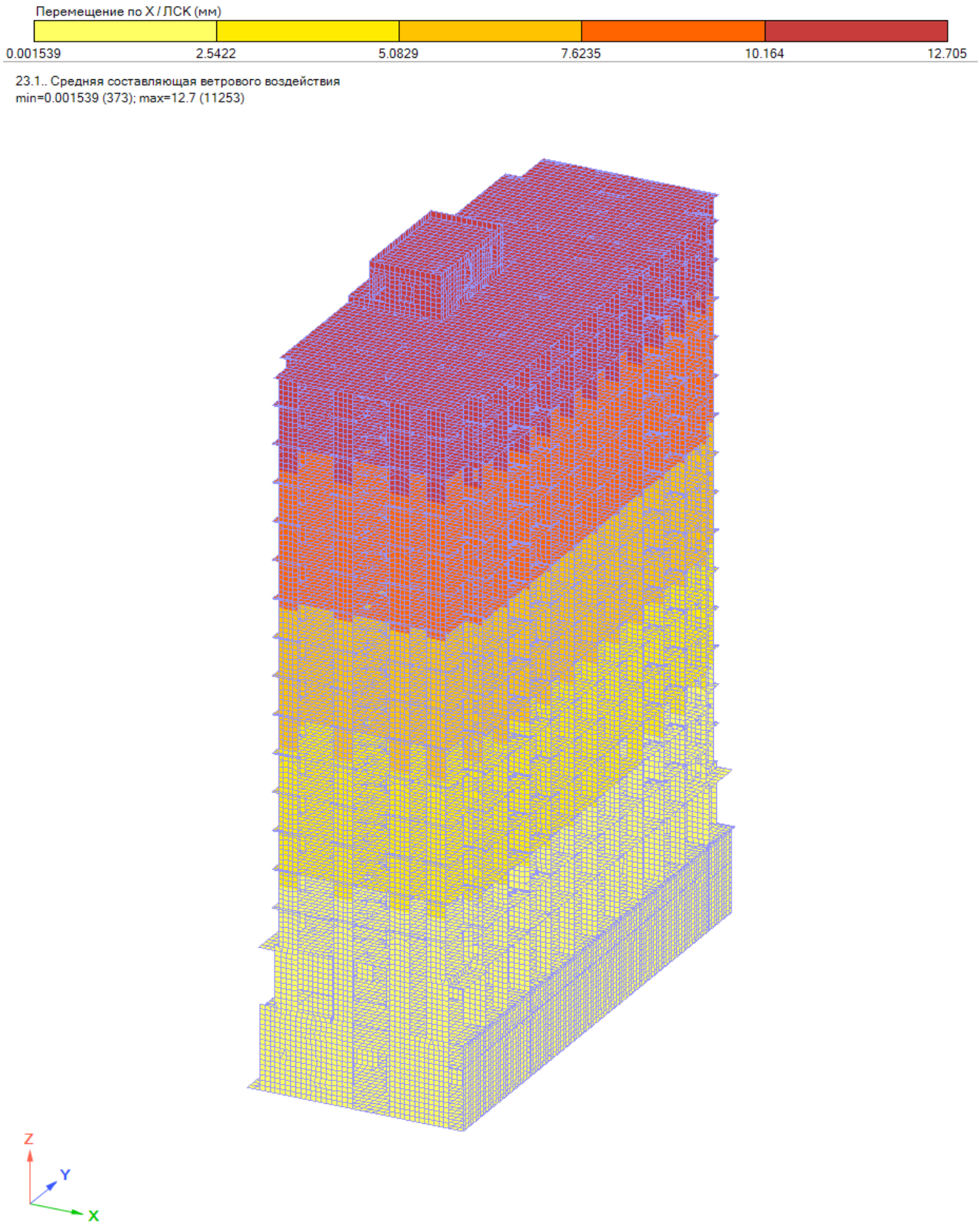
Перемещения по X от вертикальных нагрузок, мм



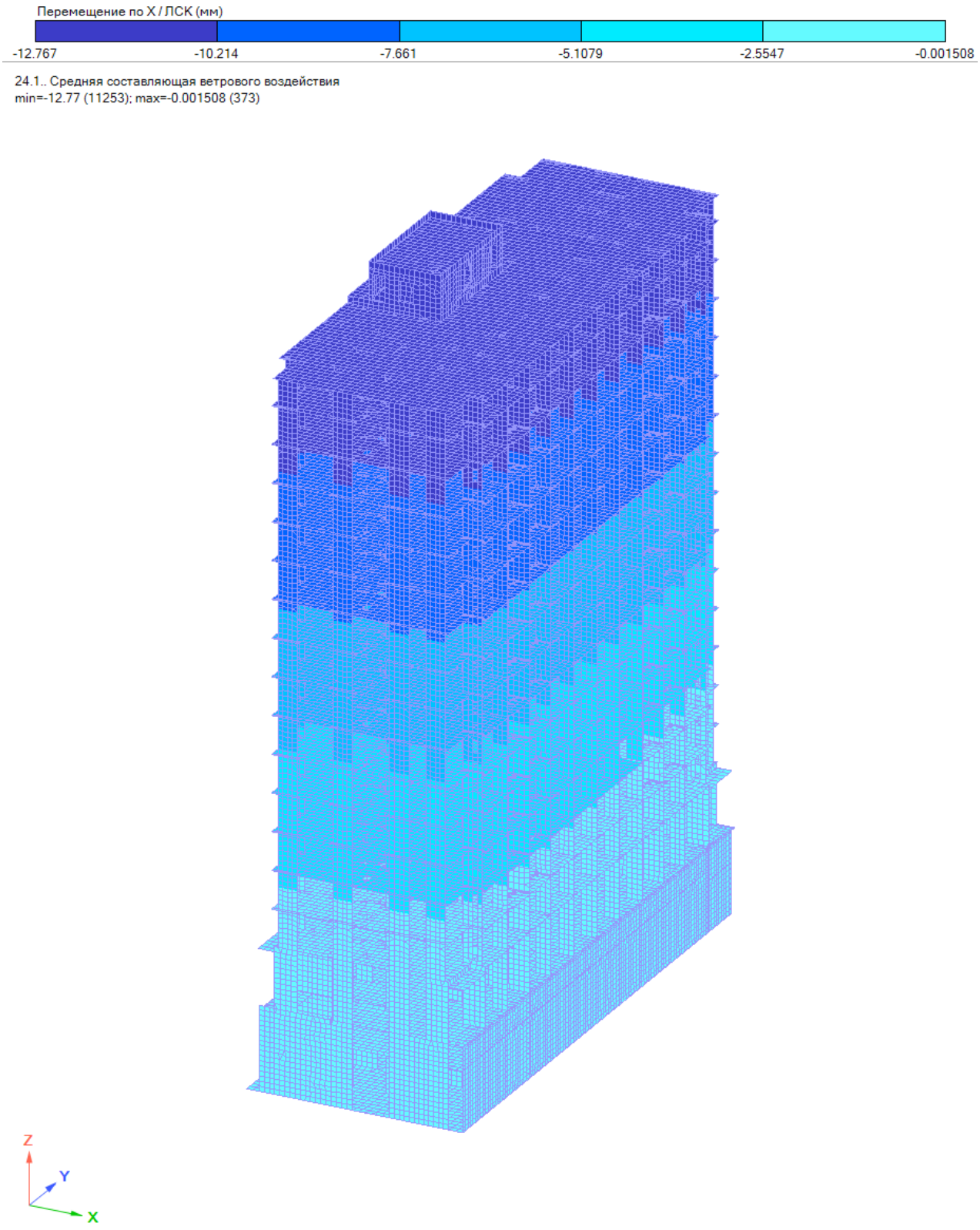
Перемещения по Y от вертикальных нагрузок, мм



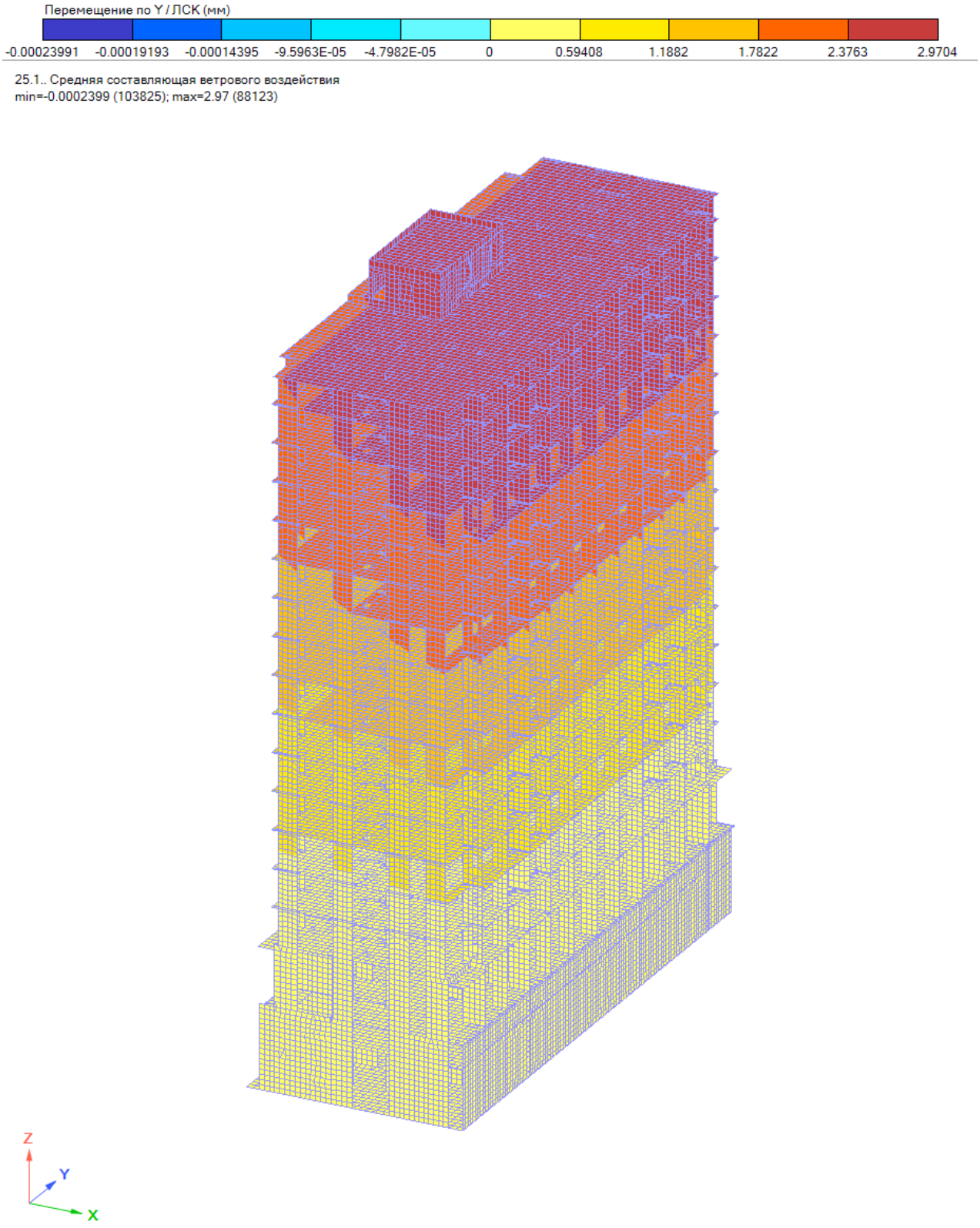
Перемещения по Z от вертикальных нагрузок, мм



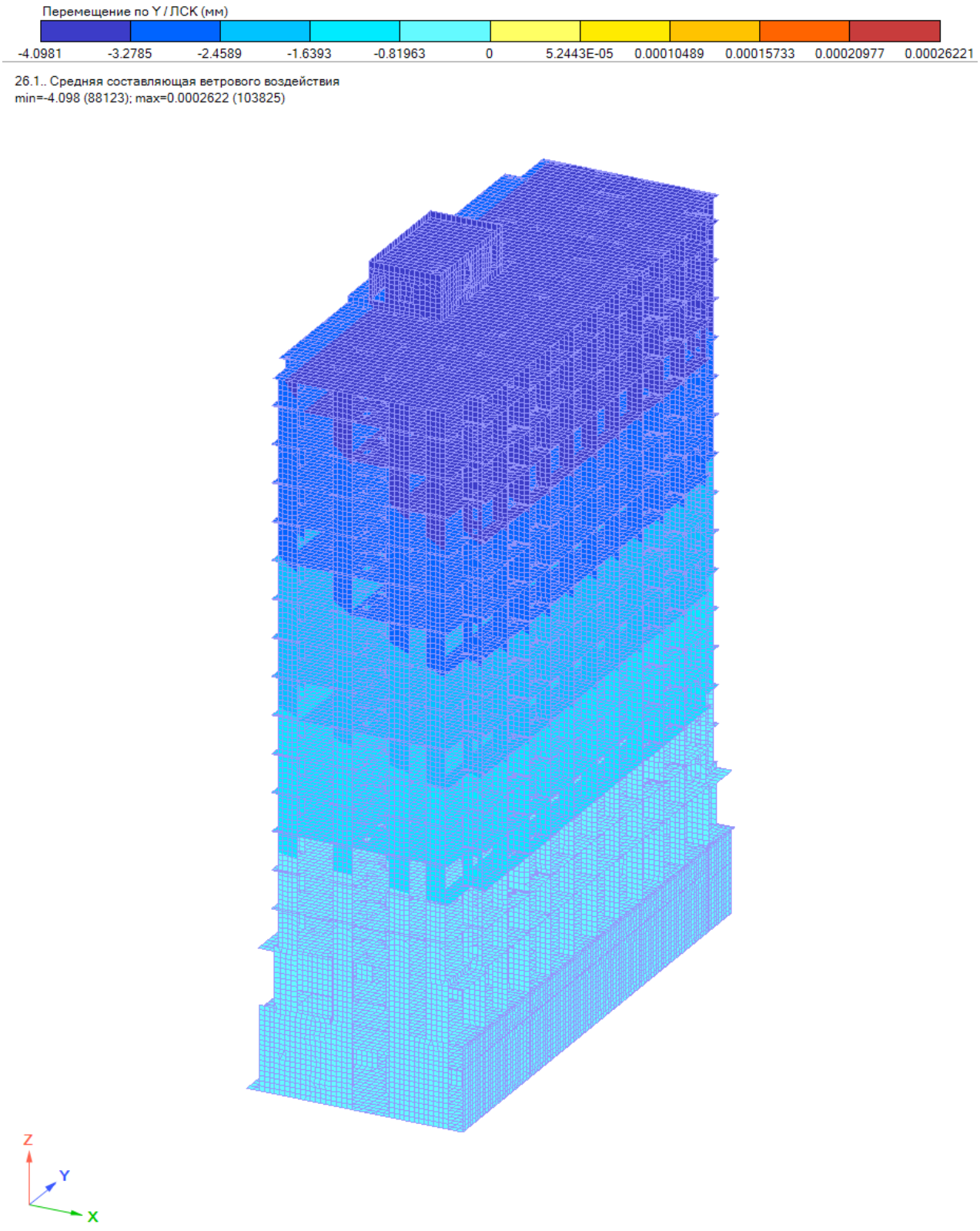
Перемещения по X+ от ветровых нагрузок, мм



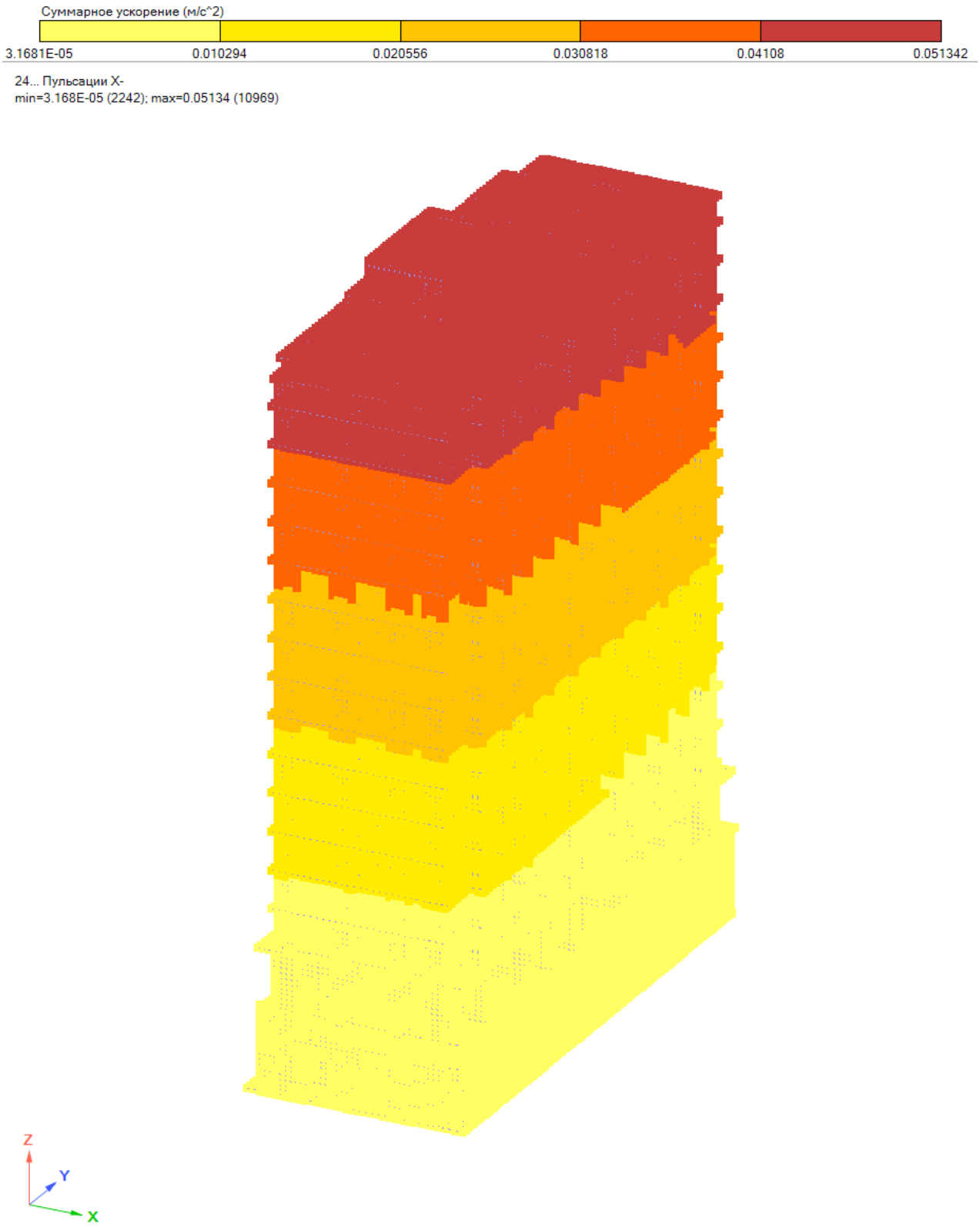
Перемещения по X- от ветровых нагрузок, мм



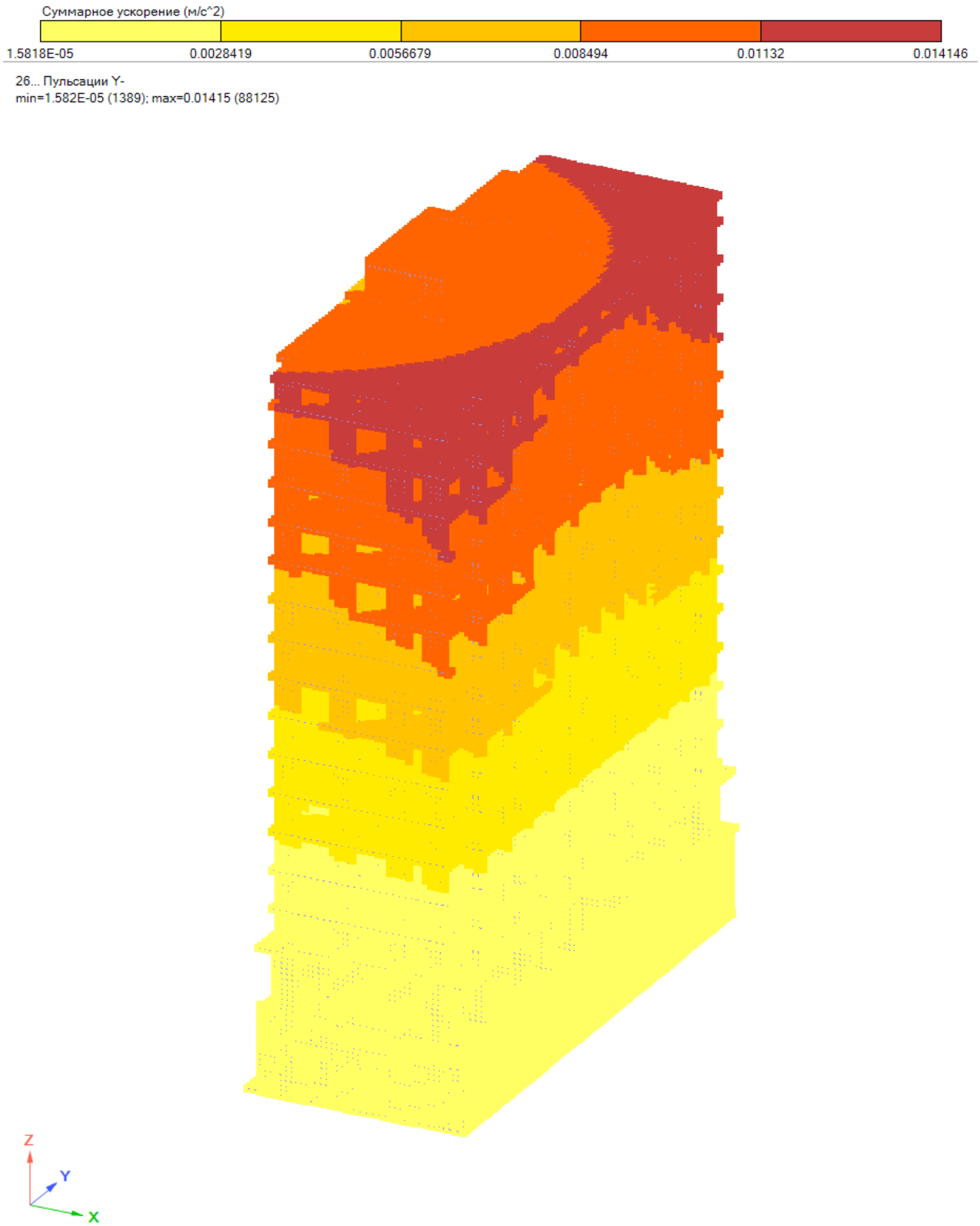
Перемещения по Y+ от ветровых нагрузок, мм



Перемещения по Y- от ветровых нагрузок, мм

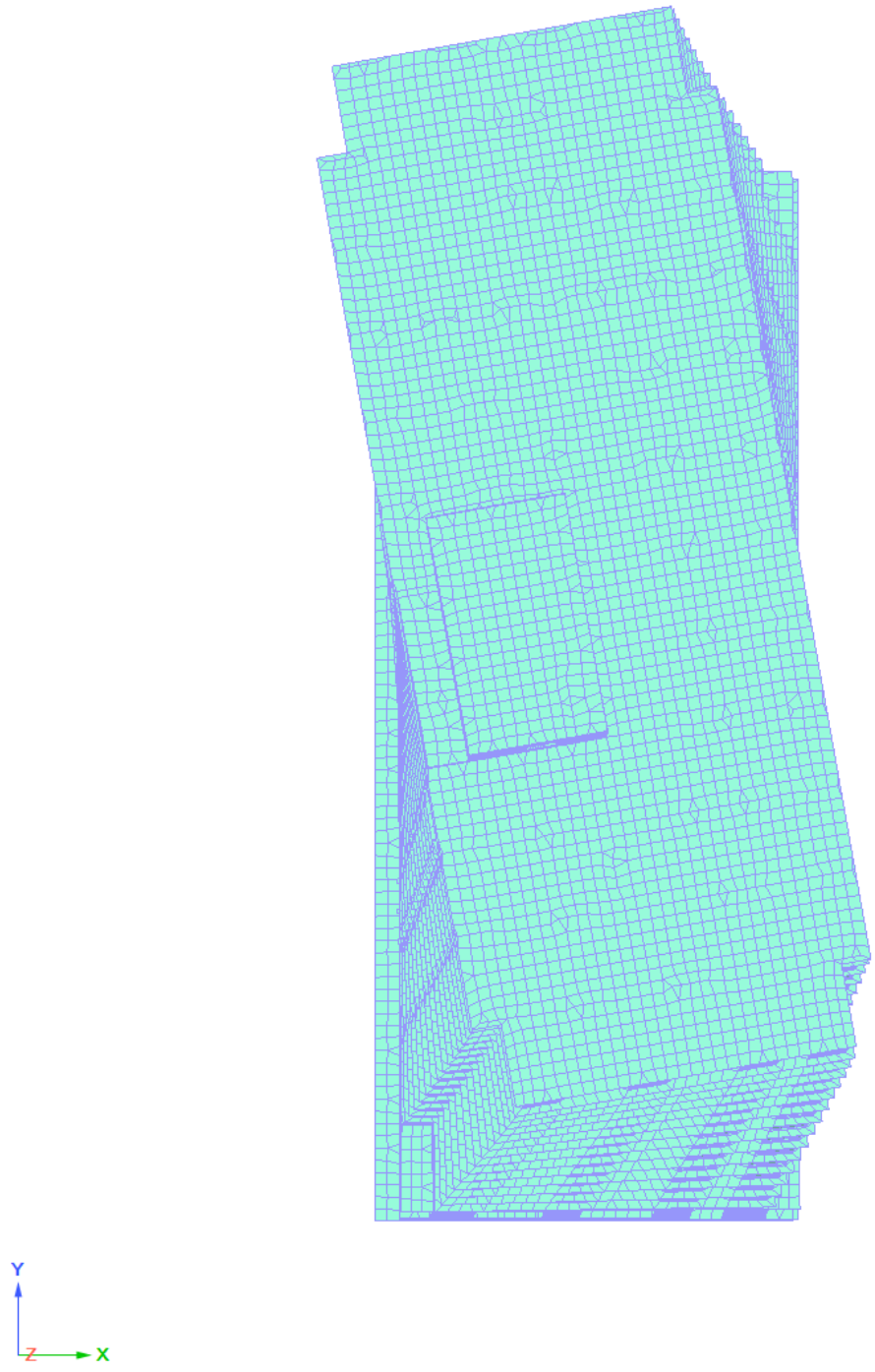


Ускорения ветер вдоль X (м/с2)



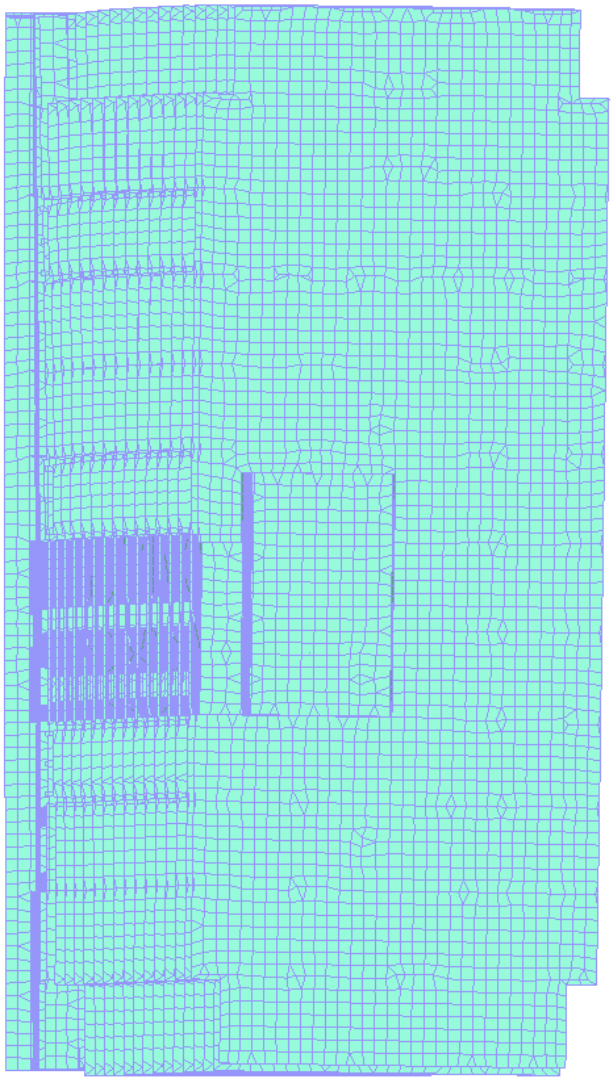
Ускорения ветер вдоль Y (м/с2)

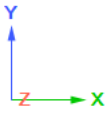
23..1. Форма 1
Частота: 0.33221 (Гц)



1 форма колебаний, 0.332 Гц

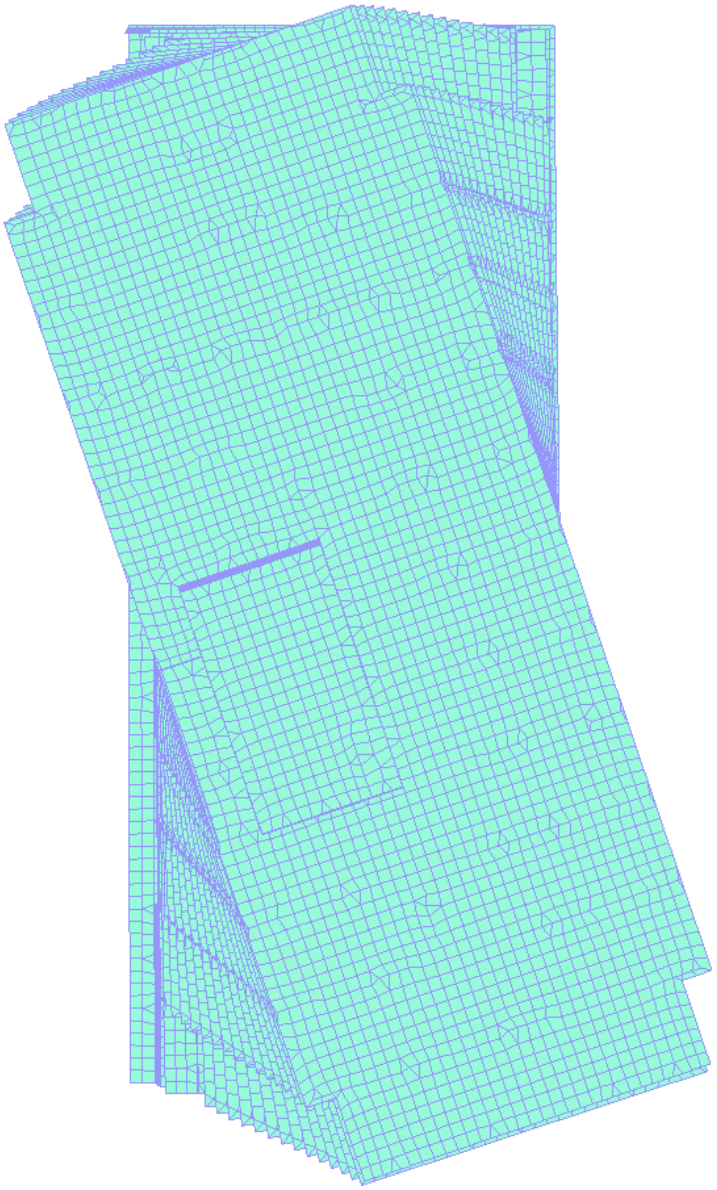
23..2. Форма 2
Частота: 0.41858 (Гц)





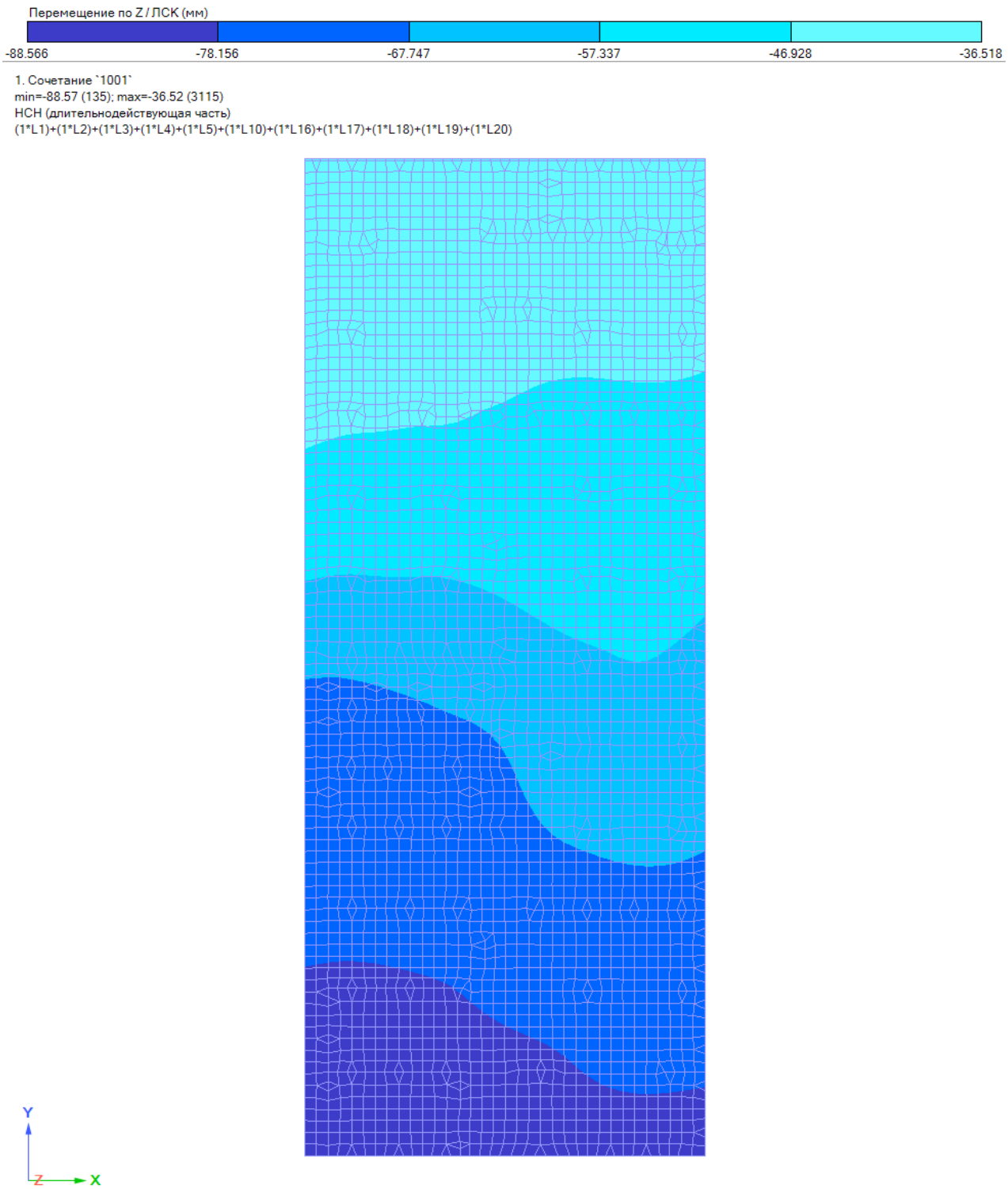
2 форма колебаний, 0.418 Гц

23..3. Форма 3
Частота: 0.50934 (Гц)

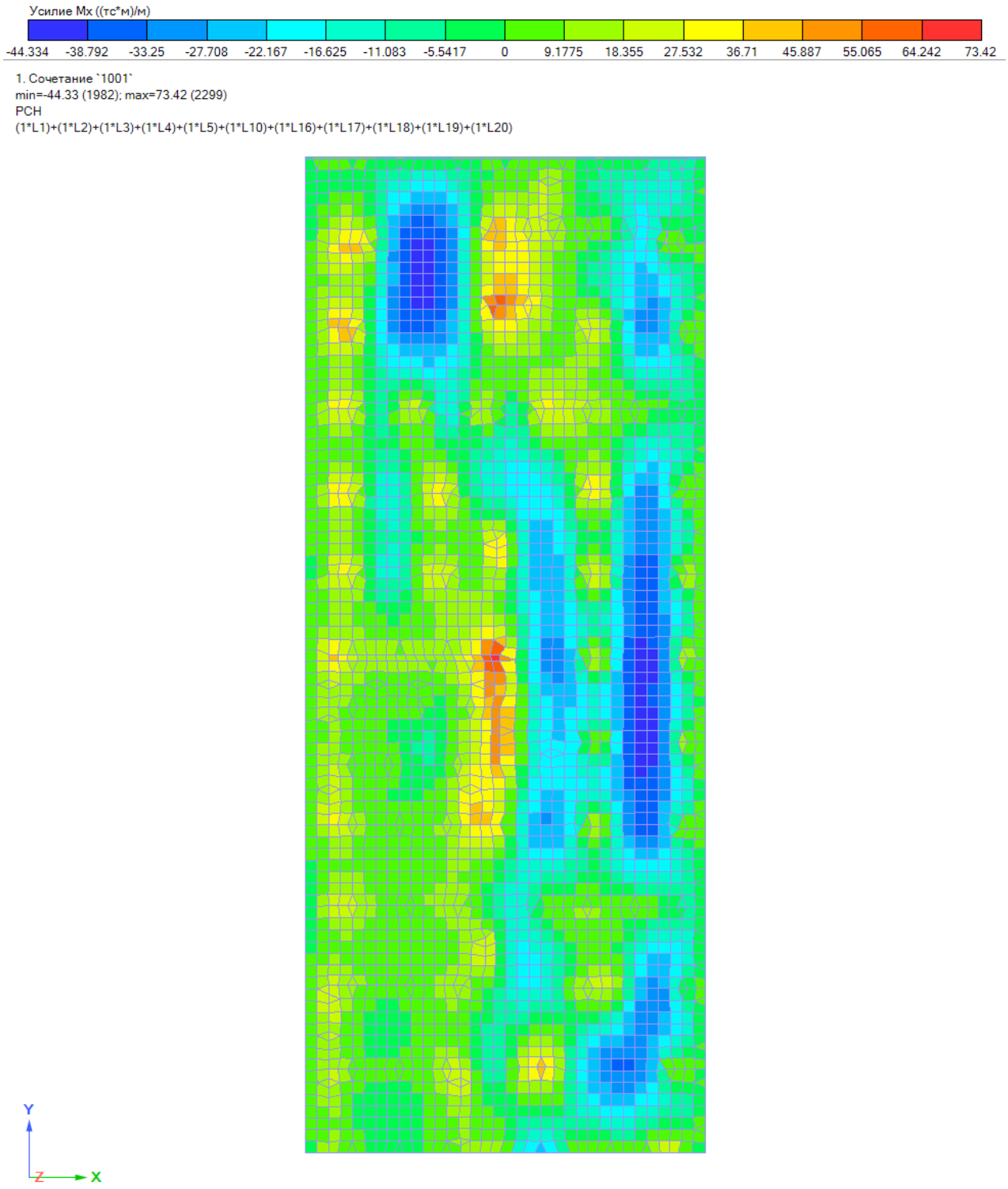


3 форма колебаний, 0.509 Гц

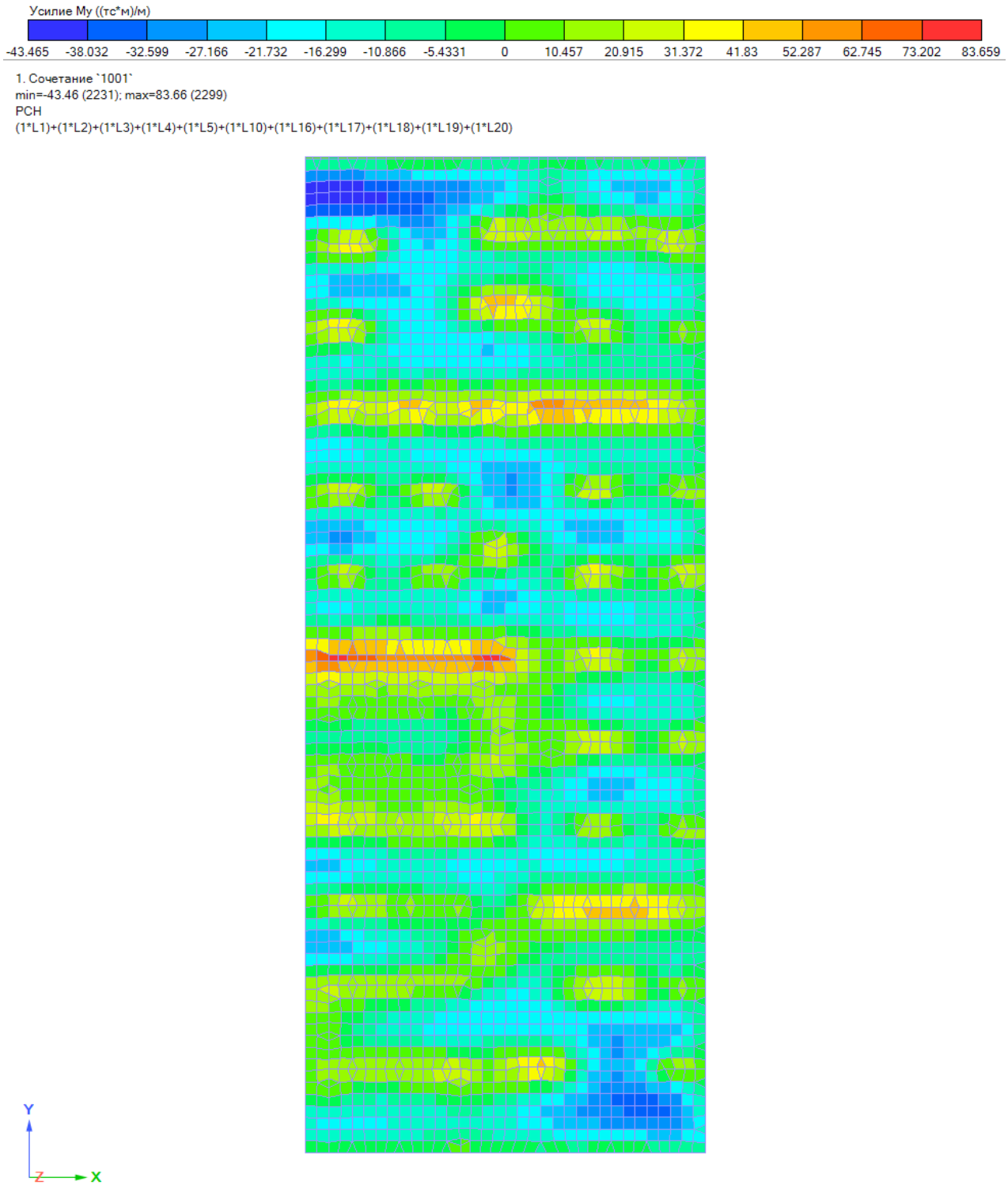
2. РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ ОТМ. -7.200 (ФУНДАМЕНТНАЯ ПЛИТА)



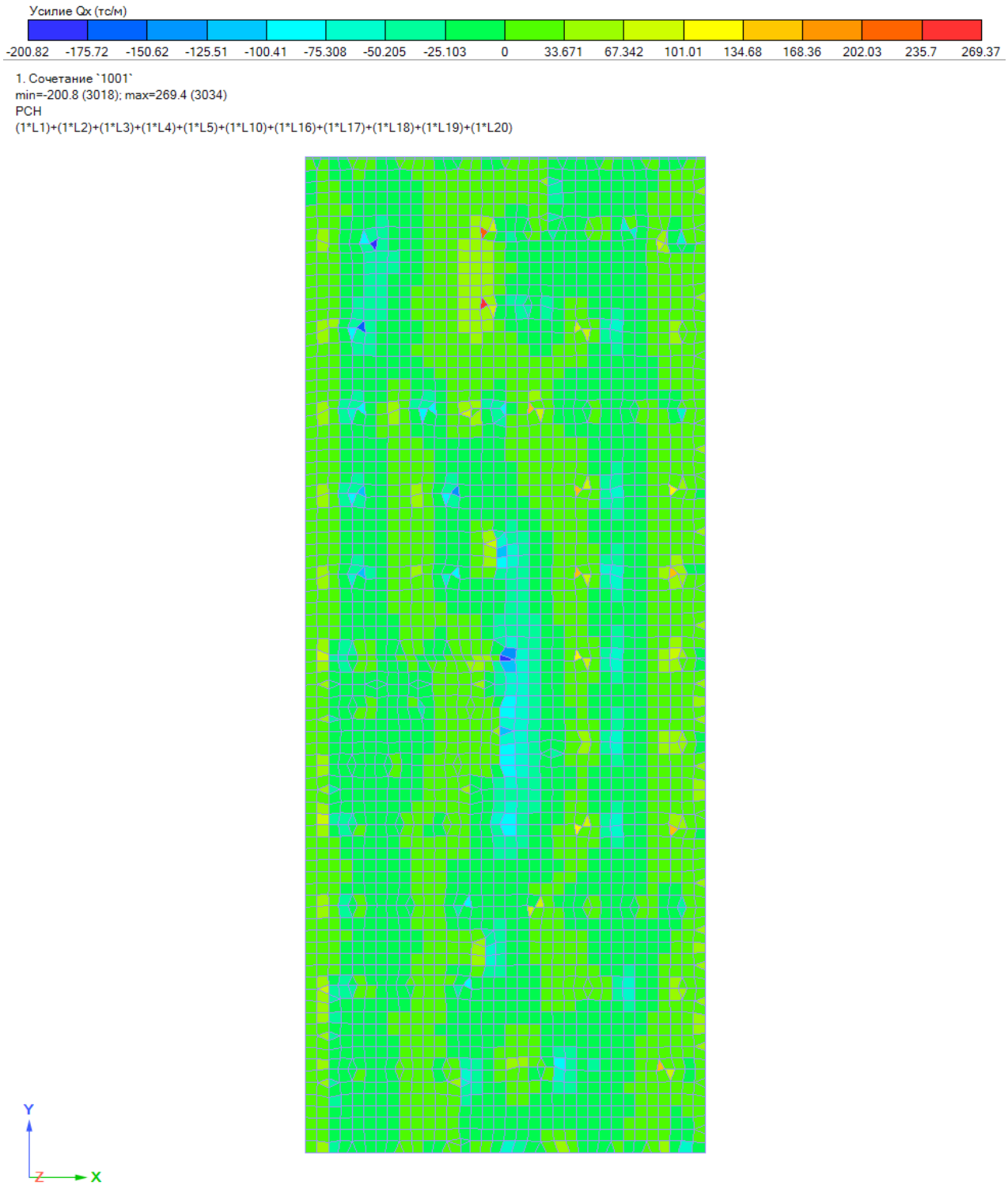
Изополя перемещения по Z, мм



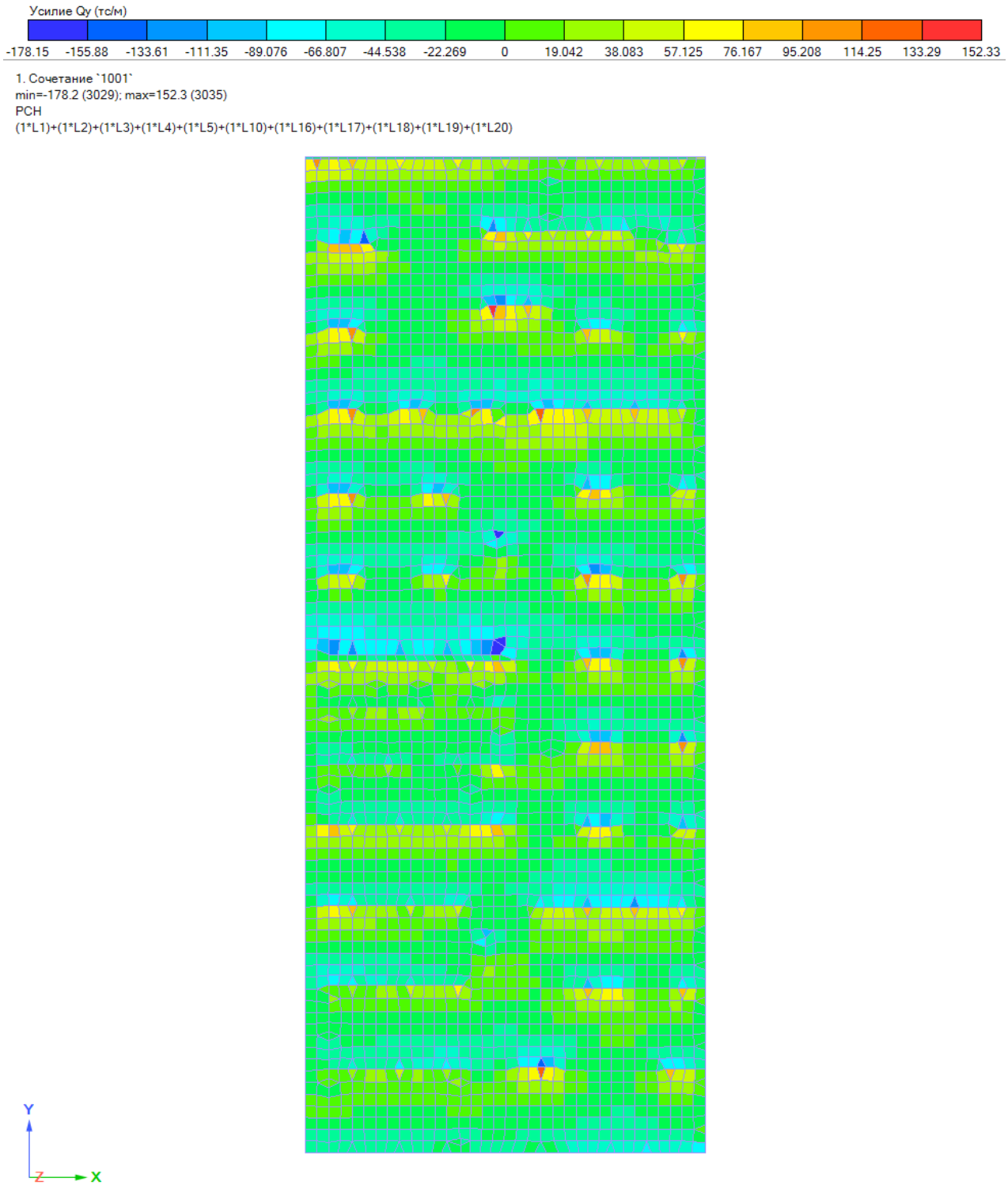
Изополя усилия Mx, тс*м/м



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qx, тс/м



Изополя усилия Qy, тс/м

Проверка сечения фундаментной плиты в/о 3.Ж/3.2-3.3 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 $M = 706\text{кНм}$
- Изгибающий момент от постоянной и длительной нагрузки $M_l = 670.7\text{кНм}$
- Продольная сила от полной нагрузки $N = 78\text{кН}$
- Продольная сила от постоянной и длительной нагрузки $N_l = 74.1\text{кН}$

ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЯ

- Ширина сечения $b = 100\text{см} = 1\text{м}$
- Высота сечения $h = 80\text{см} = 0.8\text{м}$
- 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 $A_s = 39.3\text{см}^2 = 3.93 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- Площадь сжатой арматуры $A'_s = 24.5\text{см}^2 = 2.45 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- Диаметр арматуры $d_s = 25\text{мм} = 0.025\text{м}$
- Предельно допустимая ширина продолжительного раскрытия трещин $a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм} = 0.0003\text{м}$
- Предельно допустимая ширина непродолжительного раскрытия трещин $a_{crc,ult} = 0.4\text{мм} = 0.0004\text{м}$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

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

РАСЧЕТ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ

$$h_0 = 0.8 - 0.05 = 0.75\text{м}$$

$$h_0' = 0.8 - 0.05 = 0.75\text{м}$$

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

$$A = bh = 1 \cdot 0.8 = 0.8\text{м}^2$$

$$A_{red} = A + \alpha(A_s + A_s') = 0.8 + 6.15(3.93 \cdot 10^{-3} + 2.45 \cdot 10^{-3}) = 0.8393\text{м}^2$$

$$S_{t,red} = \frac{Ah}{2} + \alpha(A_{sa} + A_s'h_0') = \frac{0.8 \cdot 0.8}{2} + 6.15(3.93 \cdot 10^{-3} \cdot 0.05 + 2.45 \cdot 10^{-3} \cdot 0.75) = 0.3325\text{м}^3$$

$$y_t = \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = \frac{0.3325}{0.8393} = 0.396\text{м}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} + A\left(\frac{h}{2} - y_t\right)^2 = 1 \cdot \frac{0.8^3}{12} + 0.8\left(\frac{0.8}{2} - 0.396\right)^2 = 42.68 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_s = \alpha A_s(y_t - a)^2 = 6.15 \cdot (3.93 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.396 - 0.05)^2 = 2.9 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_s' = \alpha A_s'(h_0' - y_t)^2 = 6.15 \cdot (2.45 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.75 - 0.396)^2 = 1.89 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_{red} = I + I_s + I_s' = 42.68 \cdot 10^{-3} + 2.9 \cdot 10^{-3} + 1.89 \cdot 10^{-3} = 47.46 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_t} = \frac{47.46 \cdot 10^{-3}}{0.396} = 0.1198\text{м}^3$$

$$W_{pl} = 1.3W_{red} = 1.3 \cdot 0.1198 = 0.1557\text{м}^3$$

$$e_x = \frac{W_{red}}{A_{red}} = \frac{0.1198}{0.8393} = 0.143\text{м}$$

$$M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} - Ne_x = 1750 \cdot 0.1557 - 78 \cdot 0.143 = 261.4\text{кНм}$$

$$M = 706\text{кНм} > M_{crc} = 261.4\text{кНм, трещины образуются}$$

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

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

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

$$\mu_s = \frac{A_s}{bh_0} = \frac{3.93 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0.75} = 0.0052$$

$$\mu_s' = \frac{A_s'}{bh_0} = \frac{2.45 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0.75} = 0.0033$$

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

$$= 0.75\left(\sqrt{(0.0052\cdot 13.636+0.0033\cdot 13.636)^2+2(0.0052\cdot 13.636+0.0033\cdot 13.636\cdot 0.05/0.75)}\right.$$

$$\left.-(0.0052\cdot 13.636+0.0033\cdot 13.636)\right) = 0.215\text{м}$$

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N_l}{A_{red}M_l} = 0.215 + \frac{4.746E-002\cdot 74.1}{0.839\cdot 670.7} = 0.209\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.209\cdot 1 = 0.2088\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.2088 + 13.636\cdot 2.45\cdot 10^{-3} + 13.636\cdot 3.93\cdot 10^{-3} = 0.2958\text{м}^2$$

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

$$= 0.2088\left(0.8-\frac{0.209}{2}\right) + (2.45\cdot 10^{-3})\cdot 0.75\cdot 13.636 + (3.93\cdot 10^{-3})\cdot 0.75$$

$$\cdot 13.636 = 0.173\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.8 - \frac{0.173}{0.2958} = 0.215\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0-y_c)^2 = (3.93\cdot 10^{-3})\cdot(0.75-0.215)^2 = 1.124E-003\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c-a')^2 = (2.45\cdot 10^{-3})\cdot(0.215-0.05)^2 = 6.690E-005\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1\cdot\frac{0.215^3}{12} + 0.215\cdot 1\left(\frac{0.215}{2}\right) = 3.318E-003\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 3.318E-003 + 1.124E-003\cdot 13.636 + 6.690E-005\cdot 13.636$$

$$= 1.955E-002\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.8 - 0.209 = 0.591\text{м}$$

x_t принимается в пределах не менее $2a = 2\cdot 0.05 = 0.1$м и не более $0.5h = 0.5\cdot 0.8 = 0.4$м

Принимаем $x_t = 0.5h = 0.5\cdot 0.8 = 0.4$м

$$A_{bt} = bx_t = 1\cdot 0.4 = 0.4\text{м}^2$$

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.4}{3.93\cdot 10^{-3}}\,0.025 = 1.273\text{м}$$

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

Принимаем $l_s = 0.4$м

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M_l(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{670.7(0.75 - 0.215)}{1.955E-002} + \frac{74.1}{0.2958}\right)13.636 = 253631\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{261.4(0.75 - 0.215)}{1.955E-002} + \frac{74.1}{0.2958}\right)13.636 = 100935\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\ \frac{100934.7}{253630.59} = 0.682$$

$$a_{crc1} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.682\ \frac{253631}{200000000}\ 0.4 = 0.00029\text{м} = 0.29\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$a_{crc3} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.682\ \frac{253631}{200000000}\ 0.4 = 0.000207\text{м} = 0.207\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N}{A_{red}M} = 0.215 + \frac{4.746E-002 \cdot 78}{0.839 \cdot 706} = 0.209\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.209 \cdot 1 = 0.2088\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.2088 + 13.636 \cdot 2.45 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 3.93 \cdot 10^{-3} = 0.2958\text{м}^2$$

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

$$= 0.2088\left(0.8 - \frac{0.209}{2}\right) + 2.45 \cdot 10^{-3} \cdot 0.75 \cdot 13.636 + (3.93 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.75 \cdot 13.636$$

$$= 0.173\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.8 - \frac{0.173}{0.2958} = 0.215\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c) = (3.93 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.75 - 0.215) = 1.124E-003\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a') = (2.45 \cdot 10^{-3})(0.215 - 0.05) = 6.690E-005\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.215^3}{12} + 0.215 \cdot 1\left(\frac{0.215}{2}\right) = 3.318E-003\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 3.318E-003 + 1.124E-003 \cdot 13.636 + 6.690E-005 \cdot 13.636 = 1.955E-002\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.8 - 0.209 = 0.591\text{м}$$

x_t принимается в пределах не менее $2a = 2 \cdot 0.05 = 0.1$м и не более $0.5h = 0.5 \cdot 0.8 = 0.4$м

Принимаем $x_t = 0.5h = 0.5 \cdot 0.8 = 0.4$м

$$A_{bt} = bx_t = 1 \cdot 0.4 = 0.4\text{м}^2$$

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.4}{3.93 \cdot 10^{-3}}\,0.025 = 1.273\text{м}$$

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

Принимаем $l_s = 0.4$м

$$\sigma_s = \left(\frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{706(0.75-0.215)}{1.955E-002} + \frac{78}{0.2958}\right)13.636 = 266980\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{261.4(0.75-0.215)}{1.955E-002} + \frac{78}{0.2958}\right)13.636 = 101114\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\,\frac{101114.48}{266979.57} = 0.697$$

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

$$a_{crc2} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.697\,\frac{266980}{200000000}\,0.4 = 0.000207\text{м} = 0.207\text{мм}$$

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

$$a_{crc1} = 0.29\text{мм} \le a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм}$$

Ширина продолжительного раскрытия трещин не превышает предельной

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.00029 + 0.000223 - 0.000207 = 0.000306\text{м} = 0.306\ \text{мм}$$

$$a_{crc} = 0.306\text{мм} \le a_{crc,ult} = 0.4\text{мм}$$

Ширина непродолжительного раскрытия трещин не превышает предельной.

ПРОВЕРКА ПО ПЕРВОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

$$R_s = 435000\text{кПа}$$

$$R_{sc} = 435000\text{кПа}$$

$$R_b = 17000\text{кПа}$$

$$\varepsilon_{b2} = 0.0042$$

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

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

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b} = \frac{435000 \cdot 0.003927 - 435000 \cdot 0.002454}{17000 \cdot 1} = 0.038\text{м}$$

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{0.038}{0.75} = 0.05$$

$$\xi = 0.05 < \xi_R = 0.493$$

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0.5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$
$$= 17000 \cdot 1 \cdot 0.038(0.75 - 0.5 \cdot 0.038) + 435000 \cdot 0.002454(0.75 - 0.05)$$
$$= 1216\text{кНм}$$

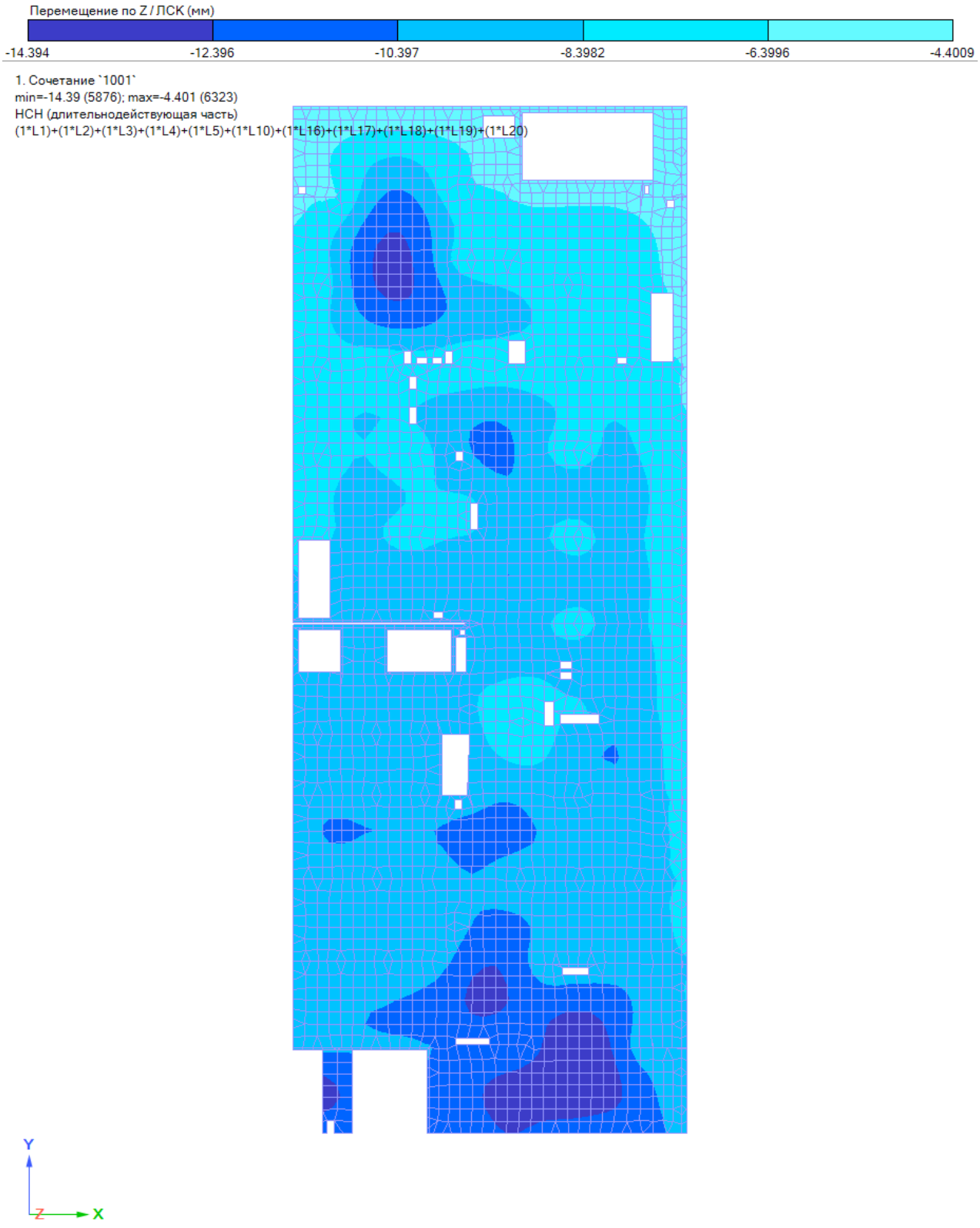
$$M = 918\text{кНм} < M_{ult} = 1216\text{кНм}$$

Условие прочности выполняется

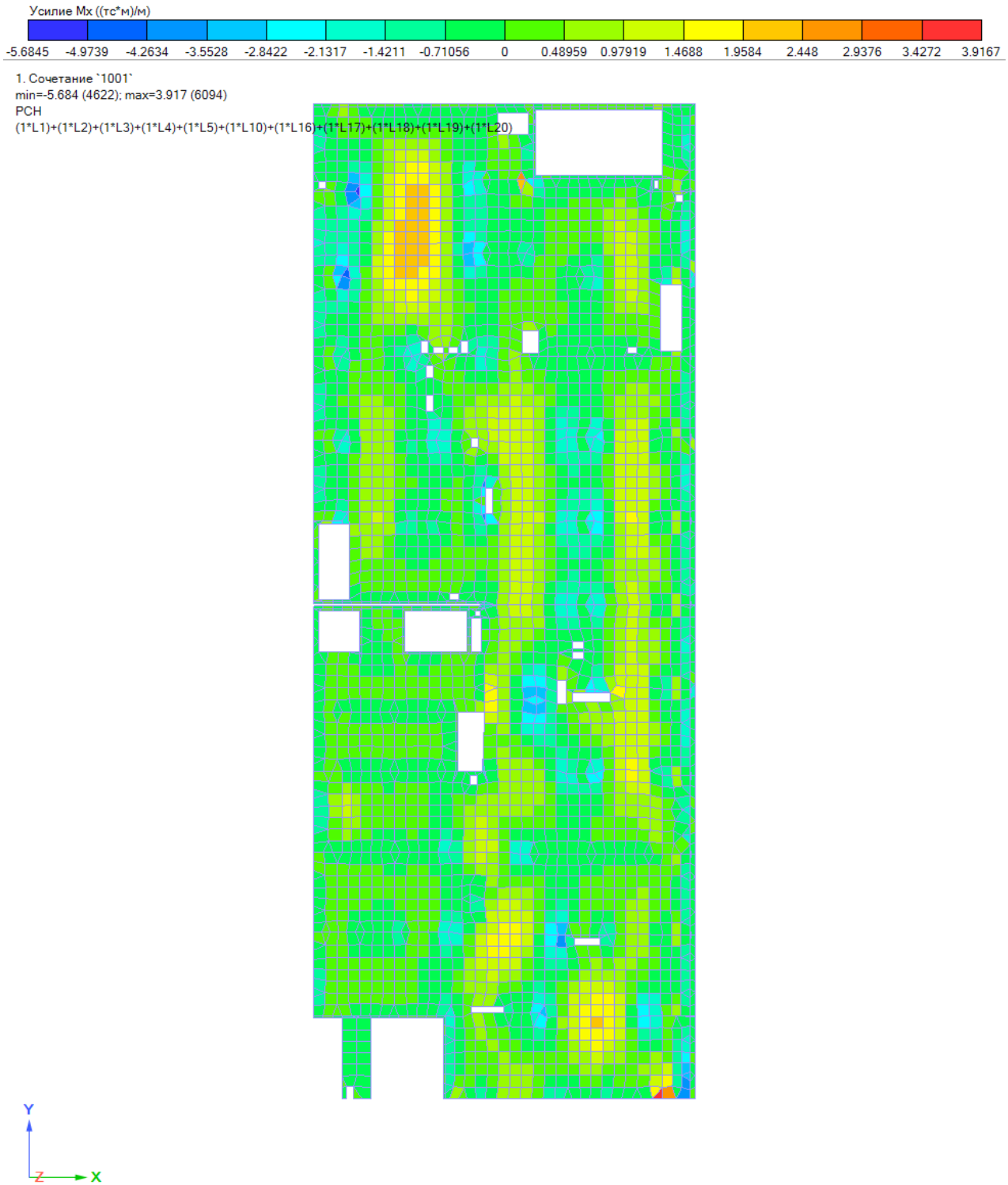
Коэффициент использования 0.7549



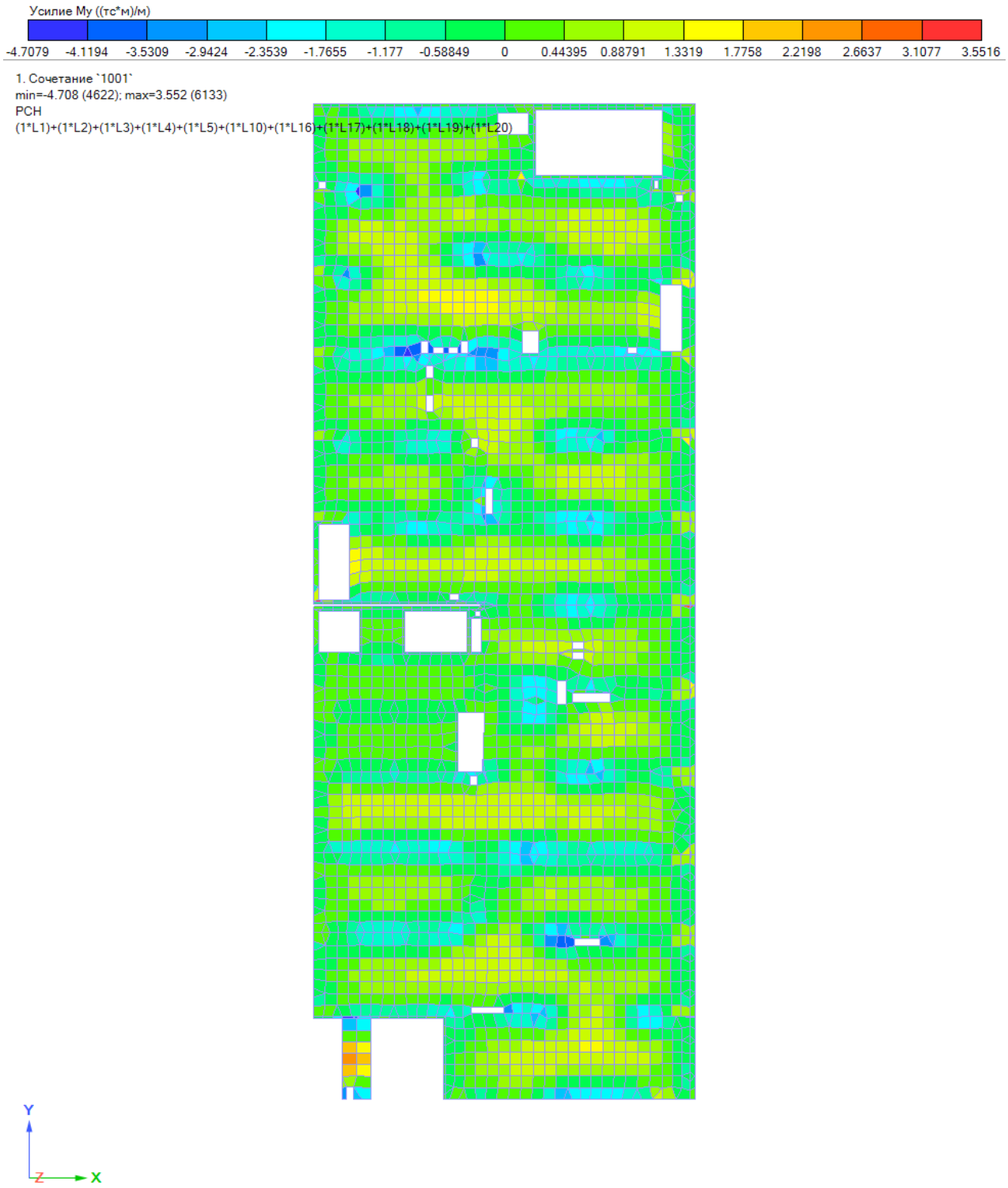
2.1. РАСЧЕТ ПЛИТ НА ОТМ. -0.650, -0.500 (ПЛИТА НАД ПОДВАЛОМ)

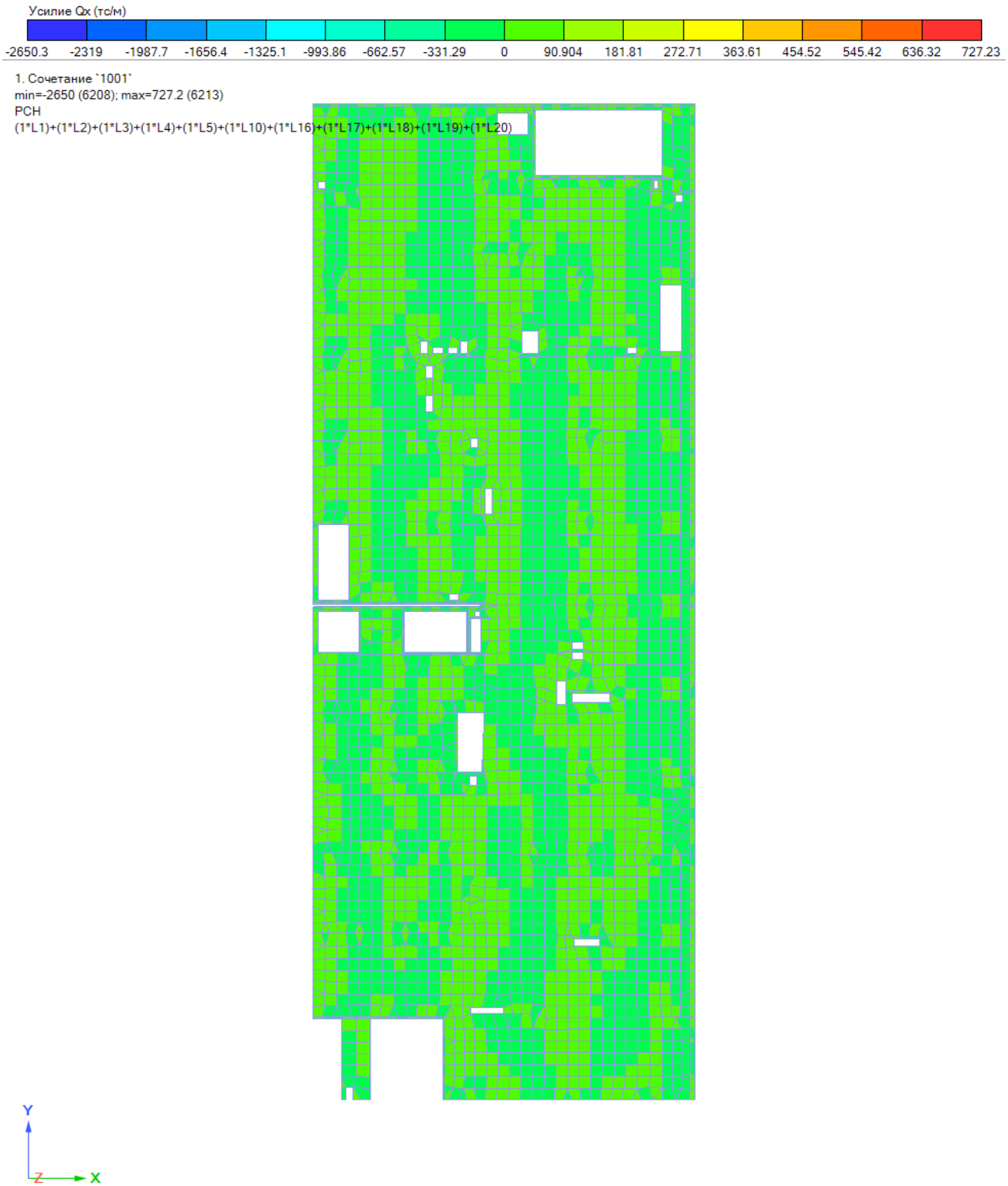


Изополя перемещения по Z, мм

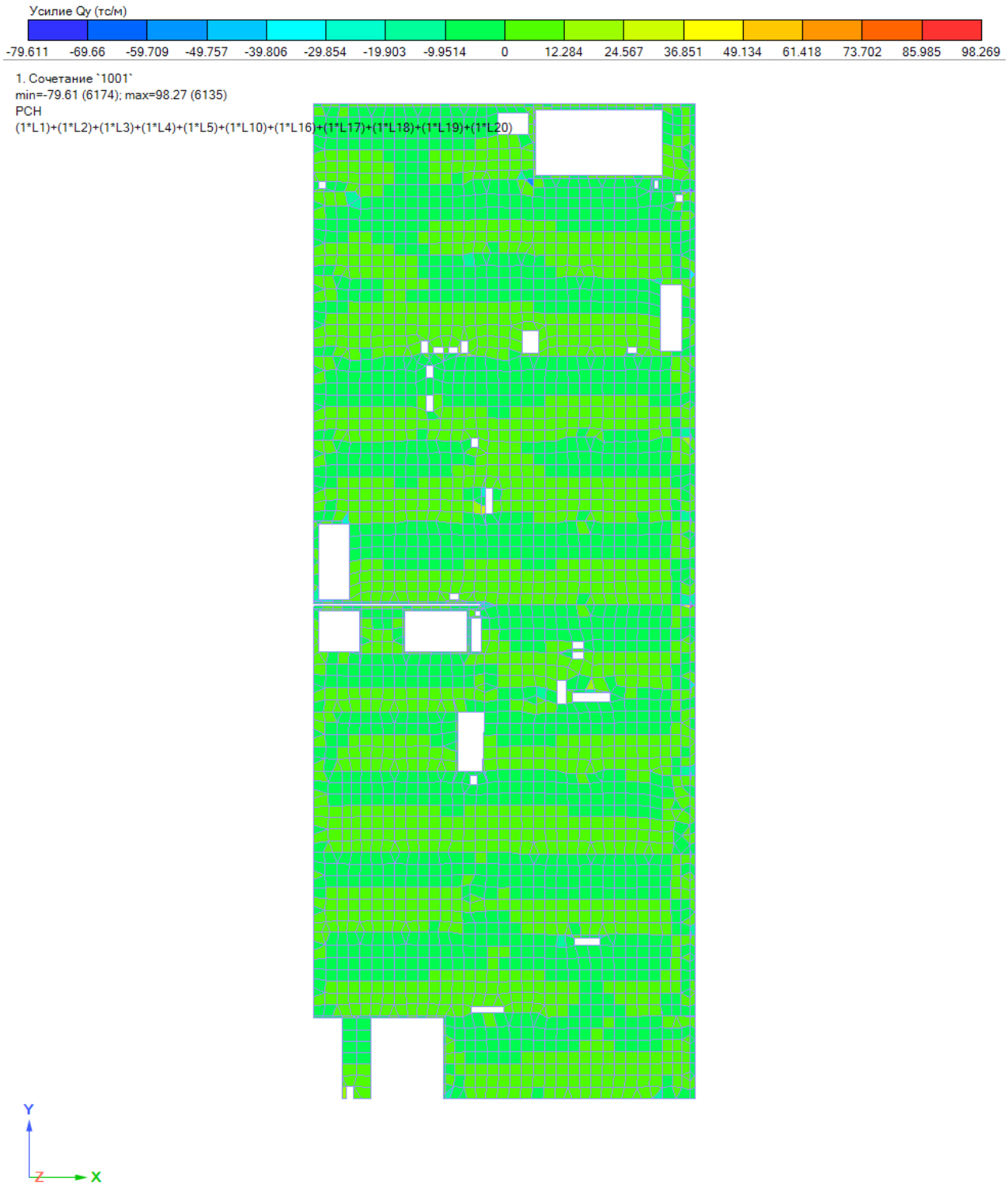


Изополя усилия Mx, тс*м/м


Усилие My ((тс*м)/м)
-4.7079 -4.1194 -3.5309 -2.9424 -2.3539 -1.7655 -1.177 -0.58849 0 0.44395 0.88791 1.3319 1.7758 2.2198 2.6637 3.1077 3.5516
1. Сочетание `1001`
min=-4.708 (4622); max=3.552 (6133)
РСН
(1*L1)+(1*L2)+(1*L3)+(1*L4)+(1*L5)+(1*L10)+(1*L16)+(1*L17)+(1*L18)+(1*L19)+(1*L20)
Y
Z
X



Изополя усилия Qx, тс/м



Изополя усилия Qy, тс/м

Проверка сечения плиты в/о 3.В/3.2-3.3 на отм. -0.500 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 $M = 19.2\text{кНм}$
- Изгибающий момент от постоянной и длительной нагрузки $M_l = 18.24\text{кНм}$
- Продольная сила от полной нагрузки $N = 8.4\text{кН}$
- Продольная сила от постоянной и длительной нагрузки $N_l = 7.98\text{кН}$

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 $A_s = 3.9\text{см}^2 = 0.39 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- 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

$$h_0 = 0.2 - 0.04 = 0.16\text{м}$$

$$h_0' = 0.2 - 0.03 = 0.17\text{м}$$

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

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

$$A_{red} = A + \alpha(A_s + A_s') = 0.2 + 6.15(0.39 \cdot 10^{-3} + 0.39 \cdot 10^{-3}) = 0.2048\text{м}^2$$

$$S_{t,red} = \frac{Ah}{2} + \alpha(A_{sa} + A_s'h_0') = \frac{0.2 \cdot 0.2}{2} + 6.15(0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.04 + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.17) = 0.0205\text{м}^3$$

$$y_t = \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = \frac{0.0205}{0.2048} = 0.1\text{м}$$

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

$$I_s = \alpha A_s(y_t - a)^2 = 6.15 \cdot (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.1 - 0.04)^2 = 0.01 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

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

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

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

$$W_{pl} = 1.3W_{red} = 1.3 \cdot 0.0069 = 0.0089\text{м}^3$$

$$e_x = \frac{W_{red}}{A_{red}} = \frac{0.0069}{0.2048} = 0.034\text{м}$$

$$M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} - Ne_x = 1750 \cdot 0.0089 - 8.4 \cdot 0.034 = 15.33\text{кНм}$$

$$M = 19.2\text{кНм} > M_{crc} = 15.33\text{кНм, трещины образуются}$$

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

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

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

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

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

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

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

$$\left.-(0.0025\cdot 13.636+0.0025\cdot 13.636)\right) = 0.036\text{м}$$

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N_l}{A_{red}M_l} = 0.036 + \frac{6.872E-004\cdot 7.98}{0.205\cdot 18.24} = 0.034\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.034\cdot 1 = 0.0342\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0342 + 13.636\cdot 0.39\cdot 10^{-3} + 13.636\cdot 0.39\cdot 10^{-3} = 0.0449\text{м}^2$$

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

$$= 0.0342\left(0.2-\frac{0.034}{2}\right) + (0.39\cdot 10^{-3})\cdot 0.17\cdot 13.636 + (0.39\cdot 10^{-3})\cdot 0.16$$

$$\cdot 13.636 = 0.0074\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.2 - \frac{0.0074}{0.0449} = 0.036\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0-y_c)^2 = (0.39\cdot 10^{-3})\cdot(0.16-0.036)^2 = 6.073E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c-a')^2 = (0.39\cdot 10^{-3})\cdot(0.036-0.03)^2 = 1.272E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1\cdot\frac{0.036^3}{12} + 0.036\cdot 1\left(\frac{0.036}{2}\right) = 1.515E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 1.515E-005 + 6.073E-006\cdot 13.636 + 1.272E-008\cdot 13.636$$

$$= 9.814E-005\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.2 - 0.034 = 0.166\text{м}$$

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

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

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.1}{0.39\cdot 10^{-3}}\,0.01 = 1.272\text{м}$$

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

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M_l(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{18.24(0.16 - 0.036)}{9.814E-005} + \frac{7.98}{0.0449}\right)13.636 = 317476\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{15.33(0.16 - 0.036)}{9.814E-005} + \frac{7.98}{0.0449}\right)13.636 = 267288\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\,\frac{267288.11}{317476.48} = 0.326$$

$$a_{crc1} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.326\,\frac{317476}{200000000}\,0.4 = 0.000174\text{м} = 0.174\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$a_{crc3} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.326\,\frac{317476}{200000000}\,0.4 = 0.000124\text{м} = 0.124\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N}{A_{red}M} = 0.036 + \frac{6.872E-004 \cdot 8.4}{0.205 \cdot 19.2} = 0.034\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.034 \cdot 1 = 0.0342\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0342 + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} = 0.0449\text{м}^2$$

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

$$= 0.0342\left(0.2 - \frac{0.034}{2}\right) + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.17 \cdot 13.636 + (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.16 \cdot 13.636$$

$$= 0.0074\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.2 - \frac{0.0074}{0.0449} = 0.036\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c) = (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.16 - 0.036) = 6.073E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a') = (0.39 \cdot 10^{-3})(0.036 - 0.03) = 1.272E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.036^3}{12} + 0.036 \cdot 1\left(\frac{0.036}{2}\right) = 1.515E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 1.515E-005 + 6.073E-006 \cdot 13.636 + 1.272E-008 \cdot 13.636 = 9.814E-005\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.2 - 0.034 = 0.166\text{м}$$

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

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

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.1}{0.39 \cdot 10^{-3}}0.01 = 1.272\text{м}$$

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{19.2(0.16 - 0.036)}{9.814E-005} + \frac{8.4}{0.0449}\right)13.636 = 334186\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{15.33(0.16 - 0.036)}{9.814E-005} + \frac{8.4}{0.0449}\right)13.636 = 267416\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\frac{267415.62}{334185.77} = 0.36$$

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

$$a_{crc2} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.36\frac{334186}{200000000}0.4 = 0.000124\text{м} = 0.124\text{мм}$$

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

$$a_{crc1} = 0.174\text{мм} \le a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм}$$

Ширина продолжительного раскрытия трещин не превышает предельной

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.000174 + 0.000144 - 0.000124 = 0.000194\text{м} = 0.194\ \text{мм}$$

$$a_{crc} = 0.194\text{мм} \le a_{crc,ult} = 0.4\text{мм}$$

Ширина непродолжительного раскрытия трещин не превышает предельной.

ПРОВЕРКА ПО ПЕРВОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

$$R_s = 435000\text{кПа}$$

$$R_{sc} = 435000\text{кПа}$$

$$R_b = 17000\text{кПа}$$

$$\varepsilon_{b2} = 0.0042$$

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

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

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

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{0}{0.16} = 0$$

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

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

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

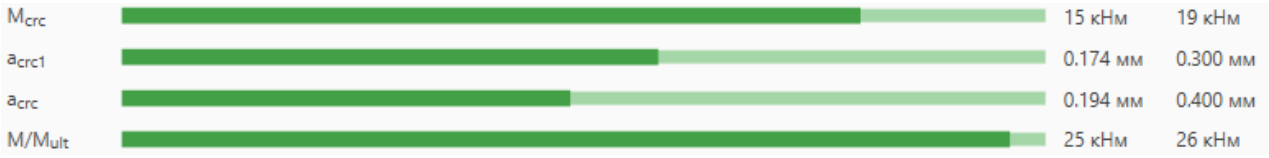
Так как $x = 0.01\text{м} < 2a' = 2 \cdot 0.03 = 0.08\text{м}$, то подставляется вместо a' значение x/2

$$M_{ult} = R_s A_s \left(h_0 - \frac{x}{2}\right) = 435000 \cdot 0.000393 \left(0.16 - \frac{0.01}{2}\right) = 26\text{кНм}$$

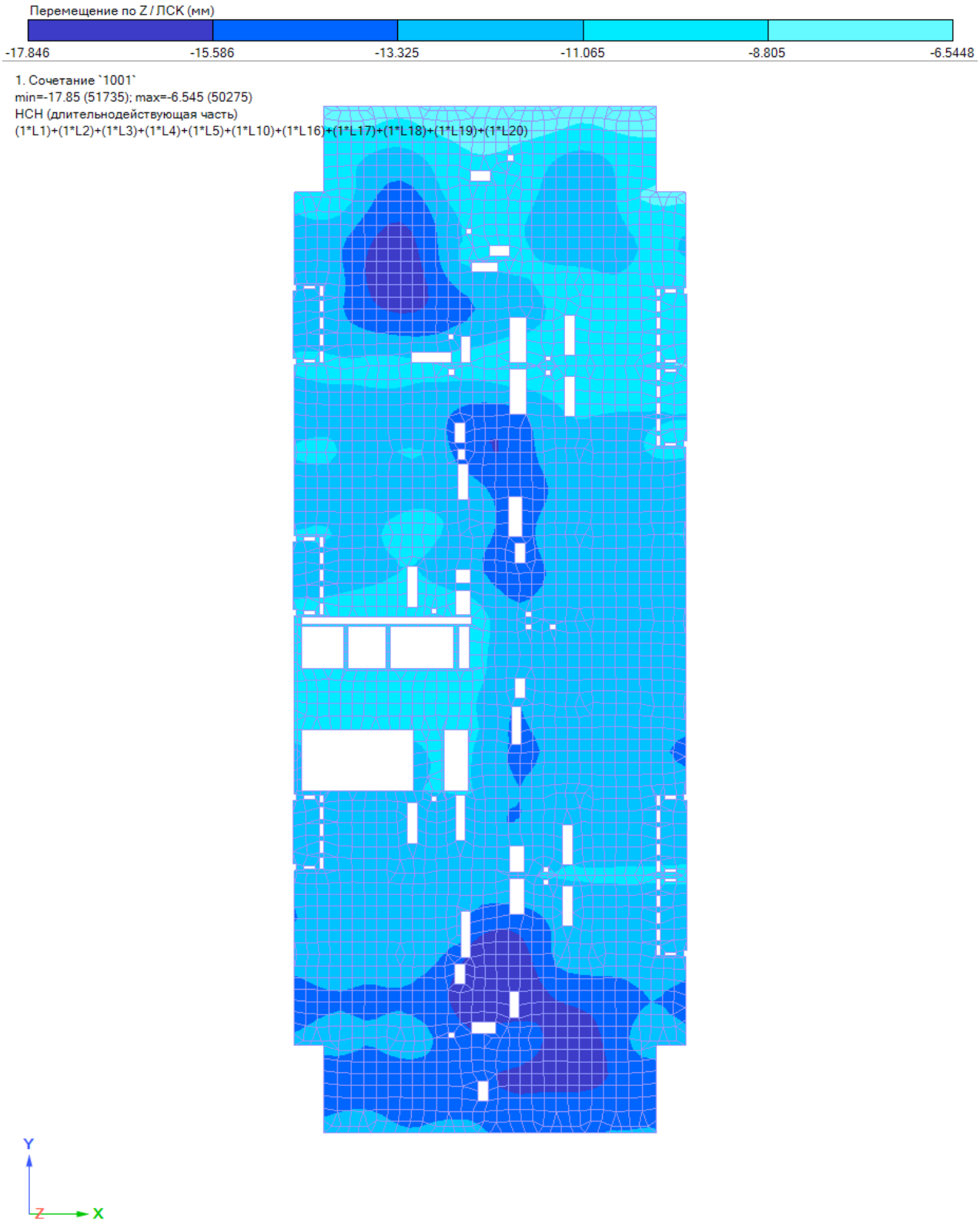
$$M = 25\text{кНм} < M_{ult} = 26\text{кНм}$$

Условие прочности выполняется

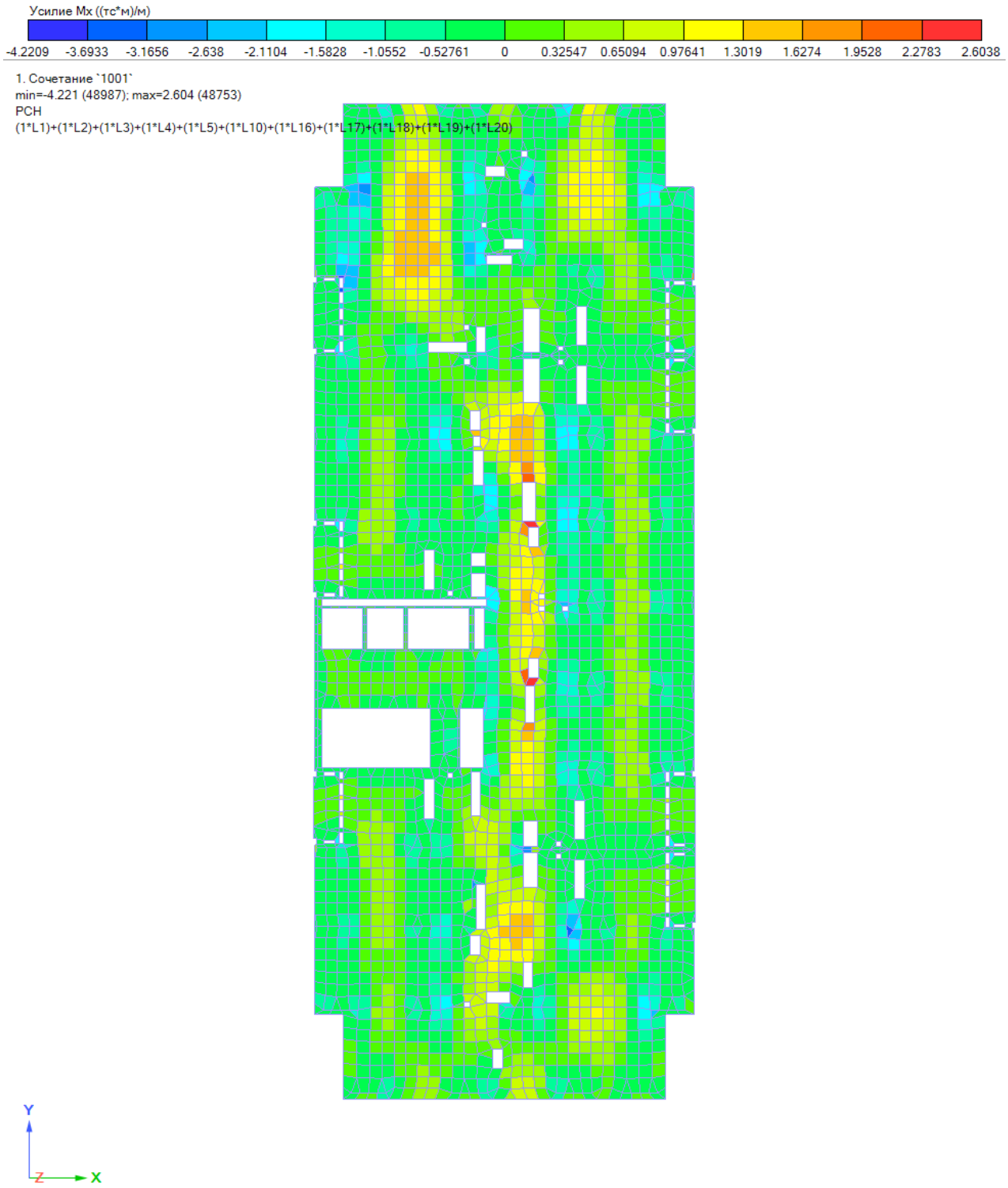
Коэффициент использования 0.9421



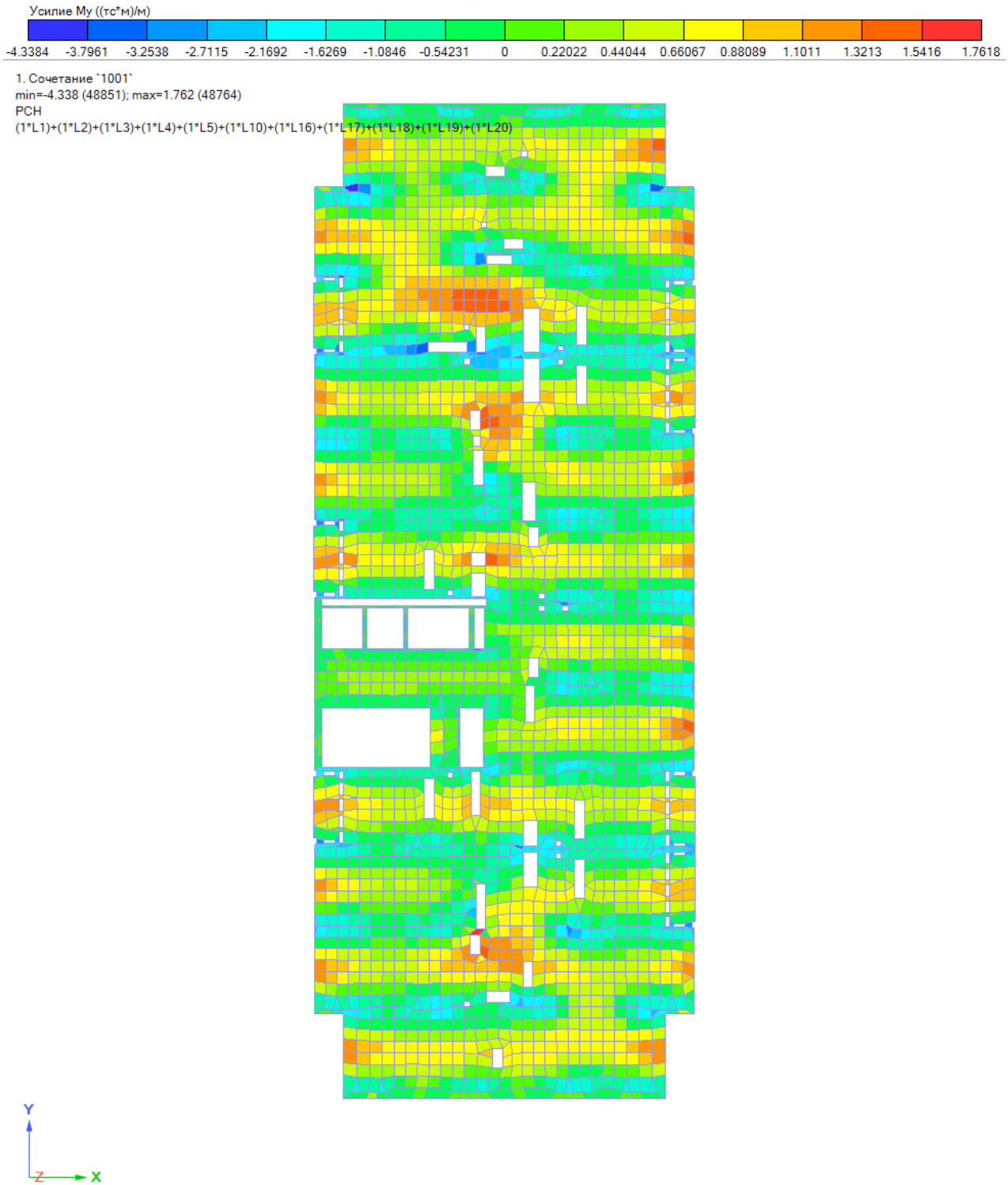
2.2. РАСЧЕТ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ НА ОТМ. +4.250, +7.250, +10.250, +13.250, +16.250, +19.250, +22.250, +25.250, +26.900, +28.250, +31.250, +34.250, +37.250, +40.250, +43.250, +46.250 (ТИПОВОЙ ЭТАЖ)



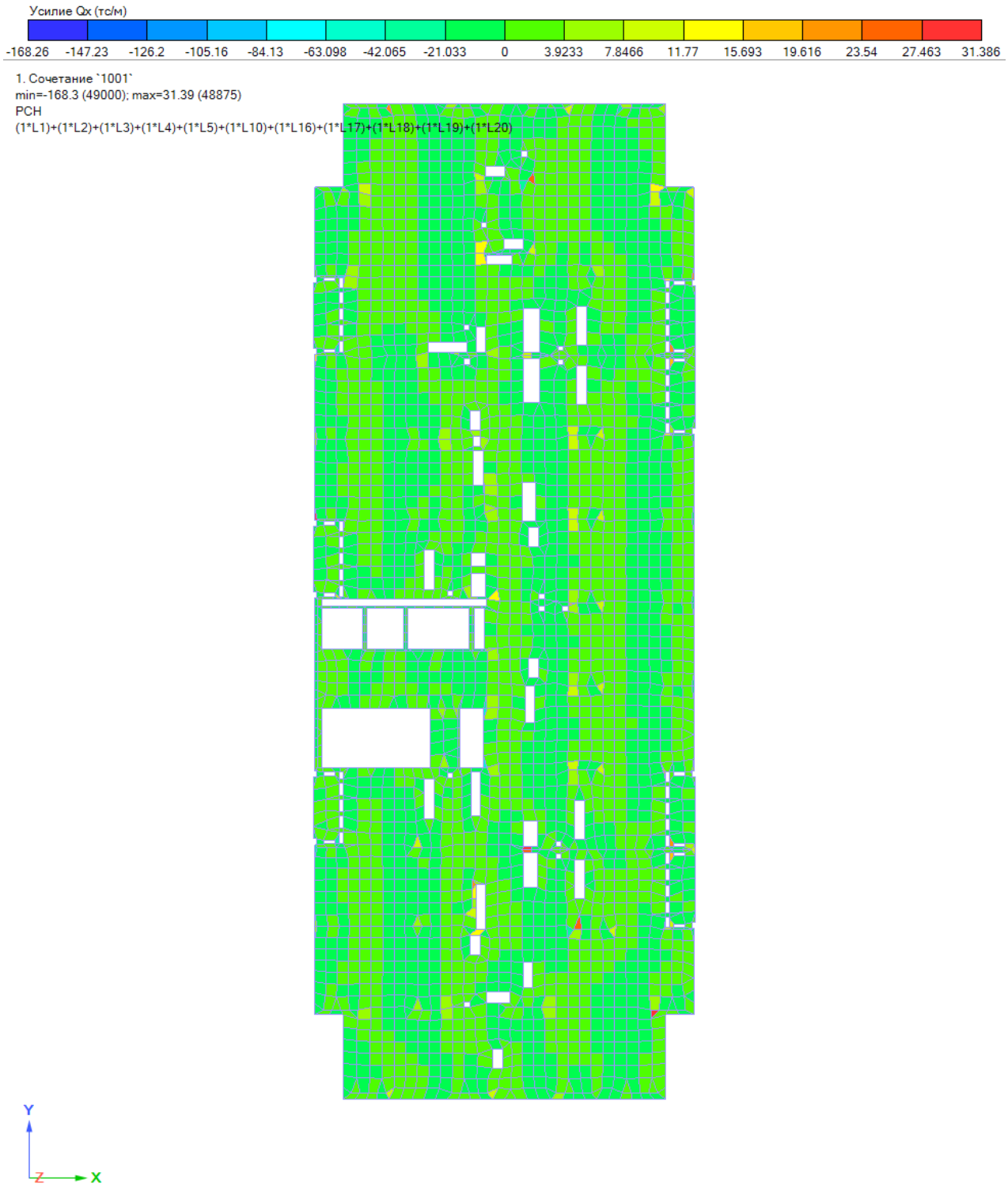
Изополя перемещения по Z, мм



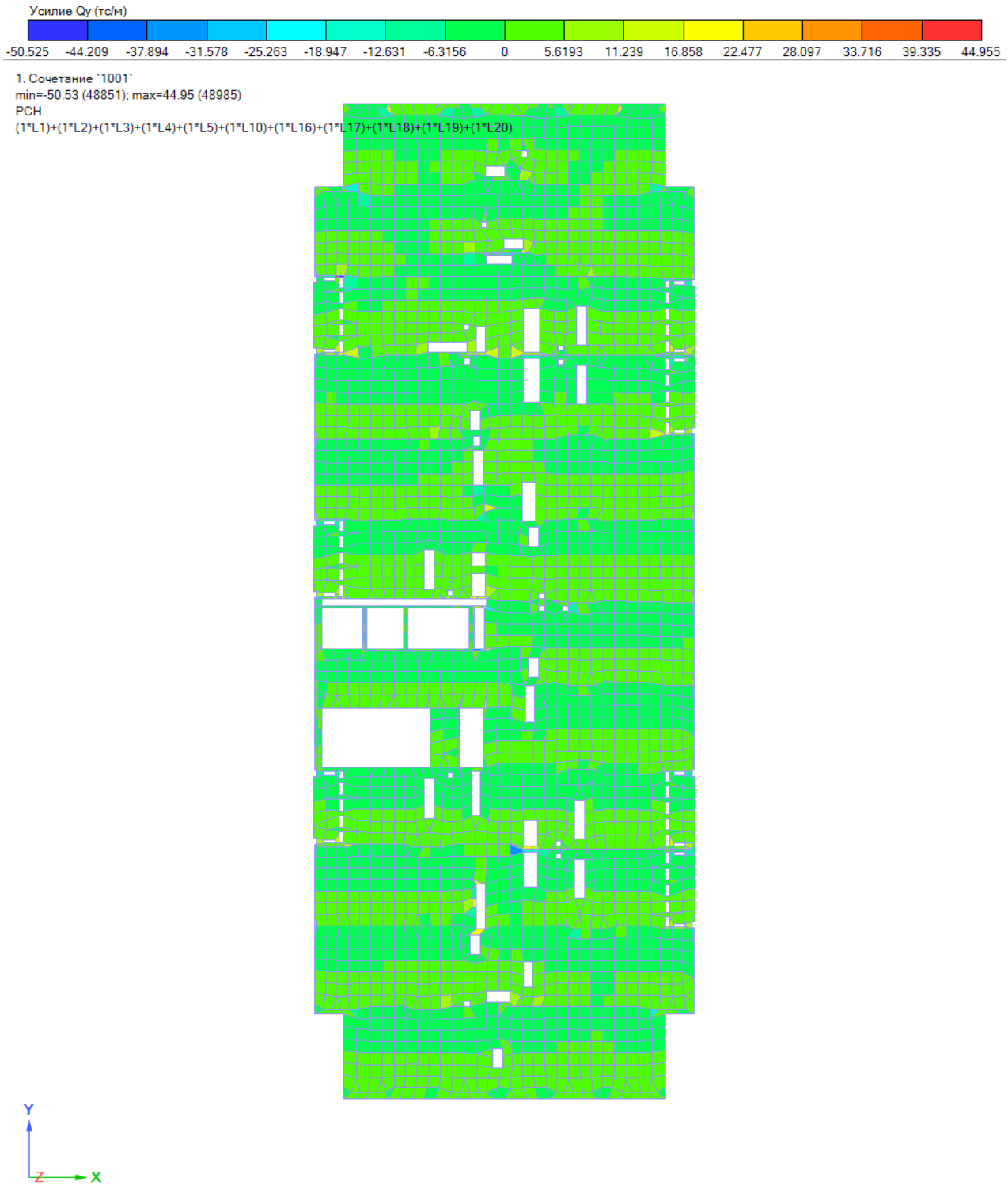
Изополя усилия Mx, тс*м/м



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qx, тс/м



Изополя усилия Qy, тс/м

Проверка сечения плиты в/о 3.В/3.2-3.3 на отм. +4.250...+46.250 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 $M = 13.4\text{кНм}$
- Изгибающий момент от постоянной и длительной нагрузки $M_l = 12.73\text{кНм}$
- Продольная сила от полной нагрузки $N = 112\text{кН}$
- Продольная сила от постоянной и длительной нагрузки $N_l = 106.4\text{кН}$

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

$$h_0 = 0.18 - 0.04 = 0.14\text{м}$$

$$h_0' = 0.18 - 0.03 = 0.15\text{м}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} - Ne_x = 1750 \cdot 0.0072 - 112 \cdot 0.03 = 9.27\text{кНм}$$

$$M = 13.4\text{кНм} > M_{crc} = 9.27\text{кНм}, \text{трещины образуются}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N_l}{A_{red}M_l} = 0.033 + \frac{5.007E-004\cdot 106.4}{0.185\cdot 12.73} = 0.011\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.011\cdot 1 = 0.0106\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0106 + 13.636\cdot 0.39\cdot 10^{-3} + 13.636\cdot 0.39\cdot 10^{-3} = 0.0214\text{м}^2$$

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

$$= 0.0106\left(0.18-\frac{0.011}{2}\right) + (0.39\cdot 10^{-3})\cdot 0.15\cdot 13.636 + (0.39\cdot 10^{-3})\cdot 0.14$$

$$\cdot 13.636 = 0.0029\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.18 - \frac{0.0029}{0.0214} = 0.045\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0-y_c)^2 = (0.39\cdot 10^{-3})\cdot(0.14-0.045)^2 = 3.525E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c-a')^2 = (0.39\cdot 10^{-3})\cdot(0.045-0.03)^2 = 9.189E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1\cdot\frac{0.045^3}{12} + 0.045\cdot 1\left(\frac{0.045}{2}\right) = 3.097E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 3.097E-005 + 3.525E-006\cdot 13.636 + 9.189E-008\cdot 13.636$$

$$= 8.029E-005\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.18 - 0.011 = 0.169\text{м}$$

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

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

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

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

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

Принимаем $l_s = 0.4$м

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M_l(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{12.73(0.14 - 0.045)}{8.029E-005} + \frac{106.4}{0.0214}\right)13.636 = 272667\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{9.27(0.14 - 0.045)}{8.029E-005} + \frac{106.4}{0.0214}\right)13.636 = 217060\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\ \frac{217059.86}{272666.58} = 0.363$$

$$a_{crc1} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.363\ \frac{272667}{200000000}\ 0.4 = 0.000166\text{м} = 0.166\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$a_{crc3} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.363\ \frac{272667}{200000000}\ 0.4 = 0.000119\text{м} = 0.119\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N}{A_{red}M} = 0.033 + \frac{5.007E-004 \cdot 112}{0.185 \cdot 13.4} = 0.011\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.011 \cdot 1 = 0.0106\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0106 + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} = 0.0214\text{м}^2$$

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

$$= 0.0106\left(0.18 - \frac{0.011}{2}\right) + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.15 \cdot 13.636 + (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.14 \cdot 13.636 = 0.0029\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.18 - \frac{0.0029}{0.0214} = 0.045\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c) = (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.14 - 0.045) = 3.525E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a') = (0.39 \cdot 10^{-3})(0.045 - 0.03) = 9.189E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.045^3}{12} + 0.045 \cdot 1\left(\frac{0.045}{2}\right) = 3.097E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 3.097E-005 + 3.525E-006 \cdot 13.636 + 9.189E-008 \cdot 13.636 = 8.029E-005\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.18 - 0.011 = 0.169\text{м}$$

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{13.4(0.14 - 0.045)}{8.029E-005} + \frac{112}{0.0214}\right)13.636 = 287017\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{9.27(0.14 - 0.045)}{8.029E-005} + \frac{112}{0.0214}\right)13.636 = 220634\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\frac{220633.69}{287017.45} = 0.385$$

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

$$a_{crc2} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.385\frac{287017}{200000000}0.4 = 0.000119\text{м} = 0.119\text{мм}$$

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

$$a_{crc1} = 0.166\text{мм} \le a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм}$$

Ширина продолжительного раскрытия трещин не превышает предельной

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.000166 + 0.000133 - 0.000119 = 0.00018\text{м} = 0.18\ \text{мм}$$

$$a_{crc} = 0.18\text{мм} \le a_{crc,ult} = 0.4\text{мм}$$

Ширина непродолжительного раскрытия трещин не превышает предельной.

ПРОВЕРКА ПО ПЕРВОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

$$R_s = 435000\text{кПа}$$

$$R_{sc} = 435000\text{кПа}$$

$$R_b = 17000\text{кПа}$$

$$\varepsilon_{b2} = 0.0042$$

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

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

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

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

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

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

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

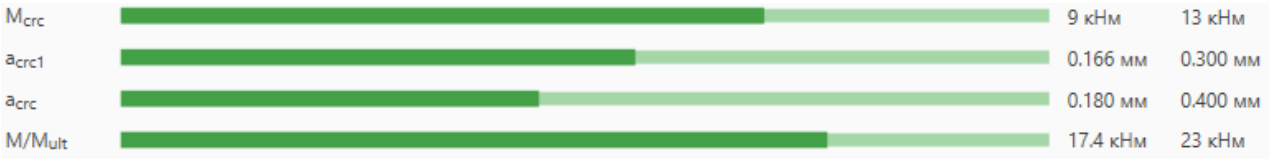
Так как $x = 0.01\text{м} < 2a' = 2 \cdot 0.03 = 0.08\text{м}$, то подставляется вместо a' значение x/2

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

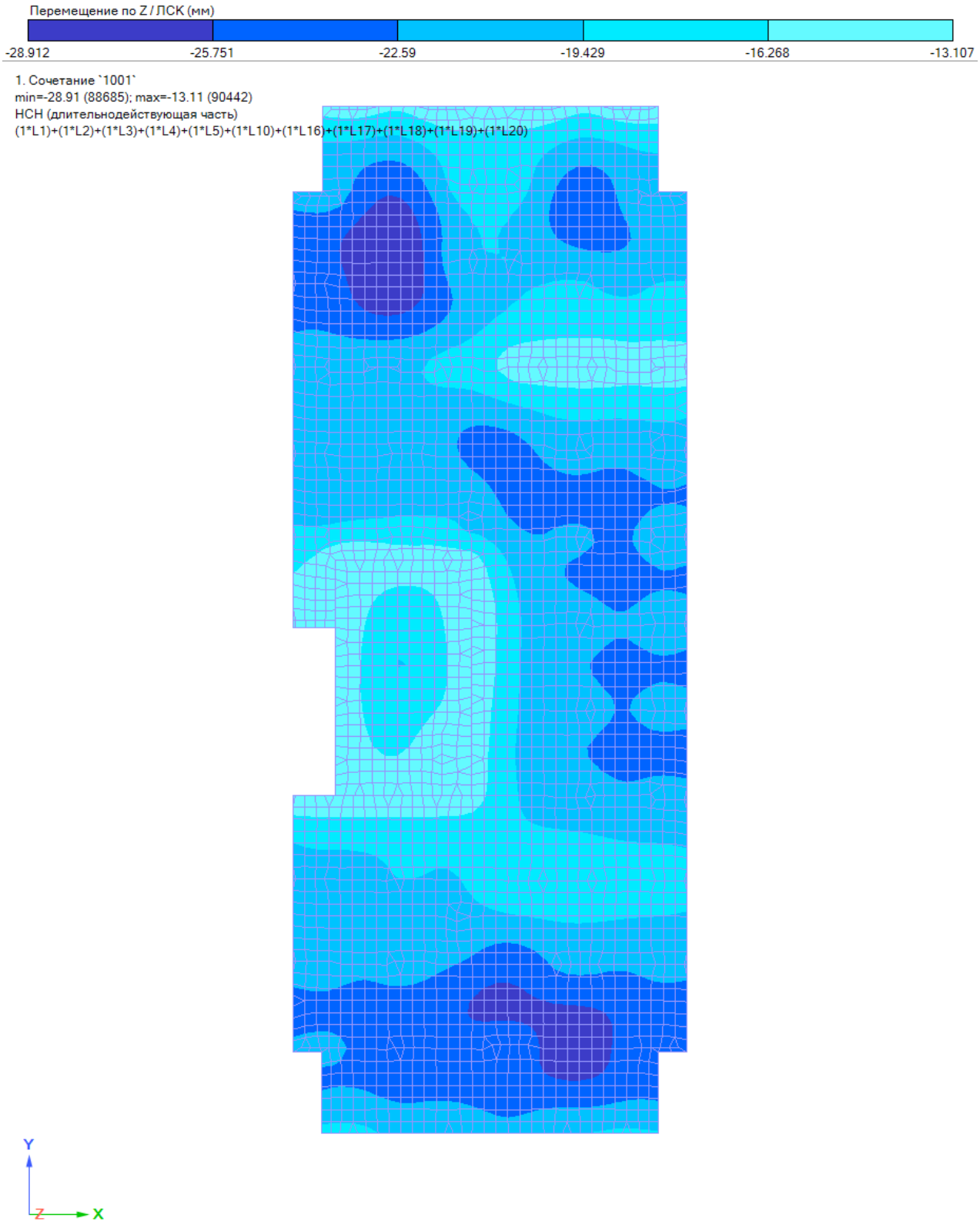
$$M = 17\text{кНм} < M_{ult} = 23\text{кНм}$$

Условие прочности выполняется

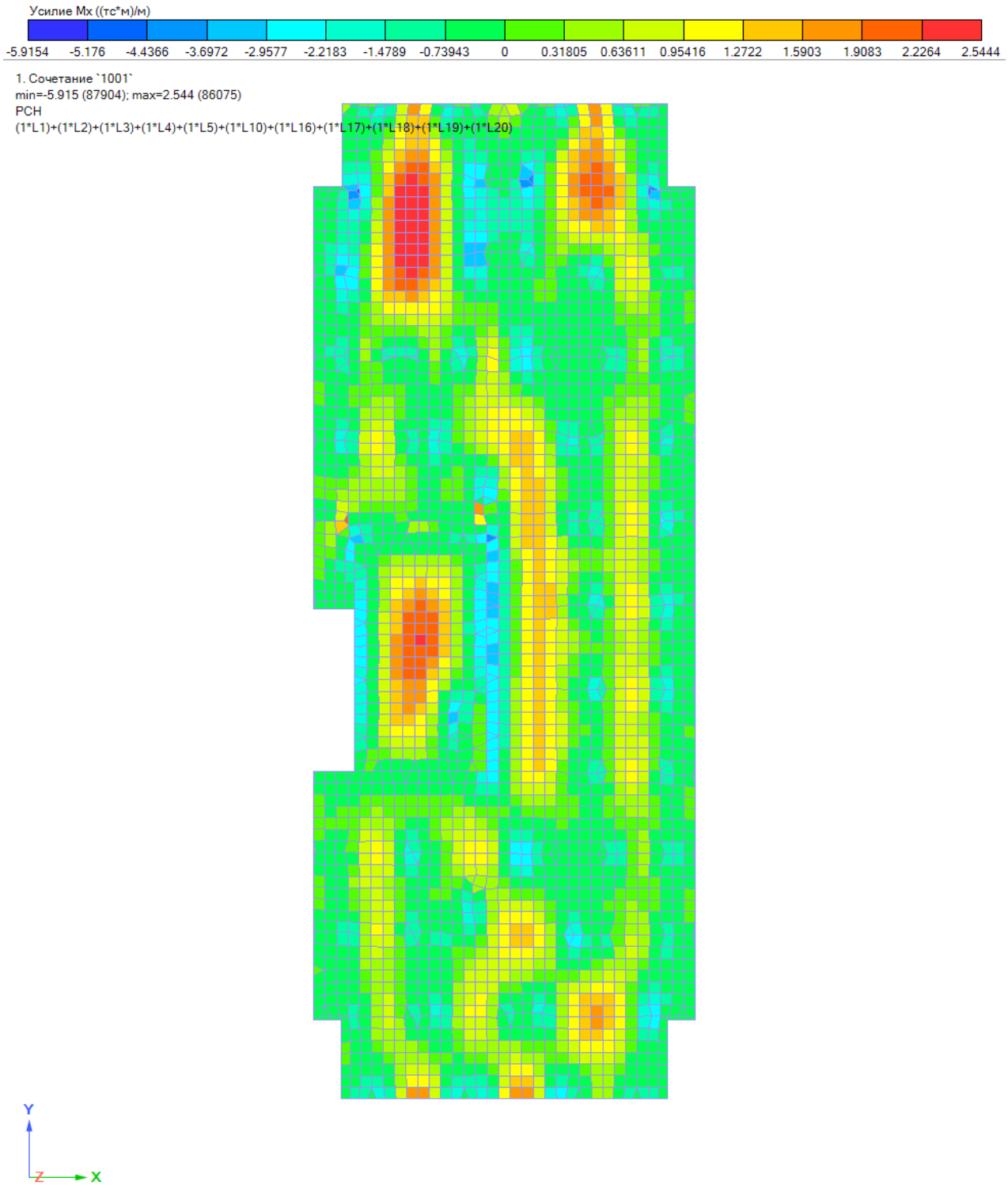
Коэффициент использования 0.755



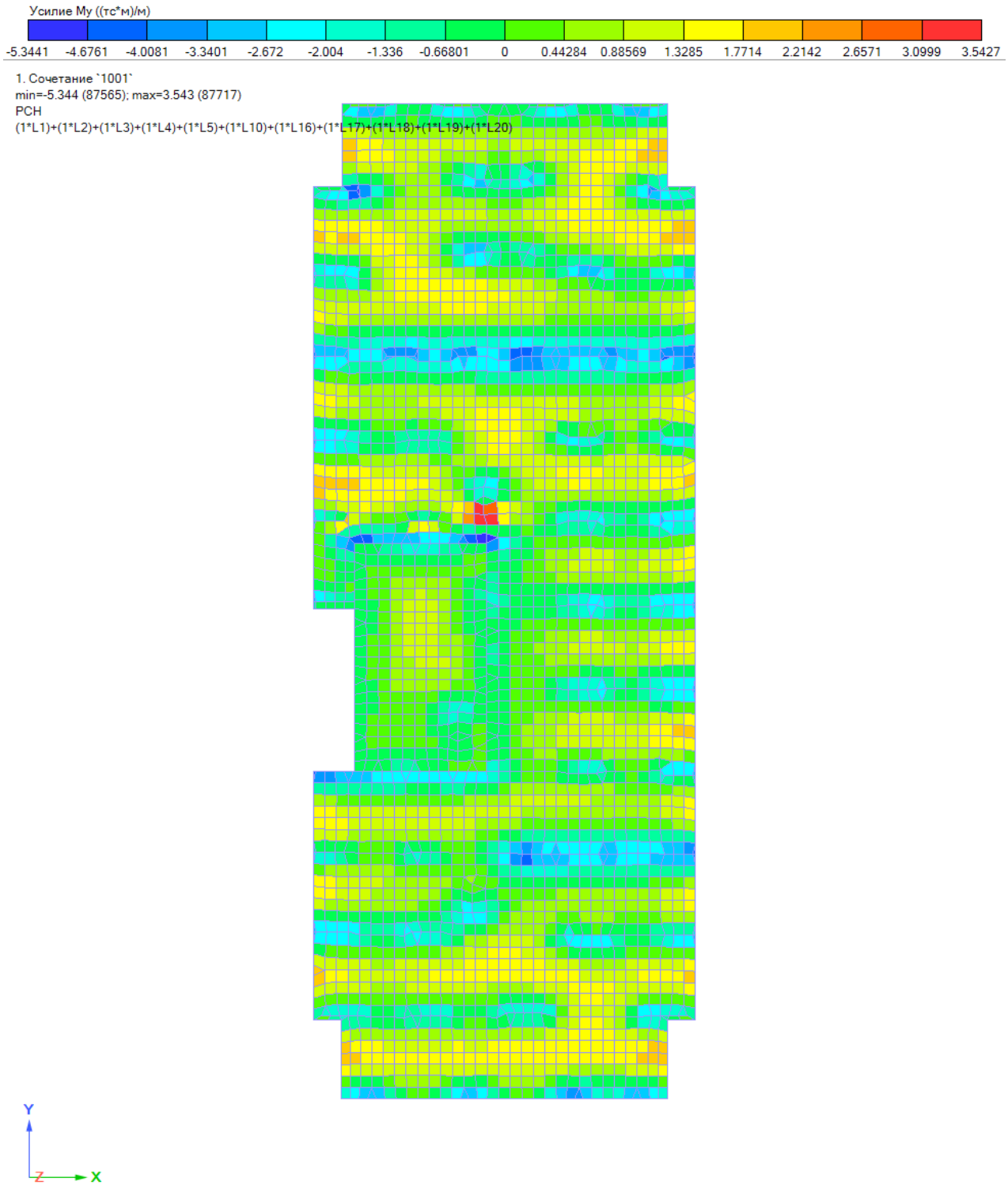
2.3. РАСЧЕТ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ НА ОТМ. +48.250



Изополя перемещения по Z, мм

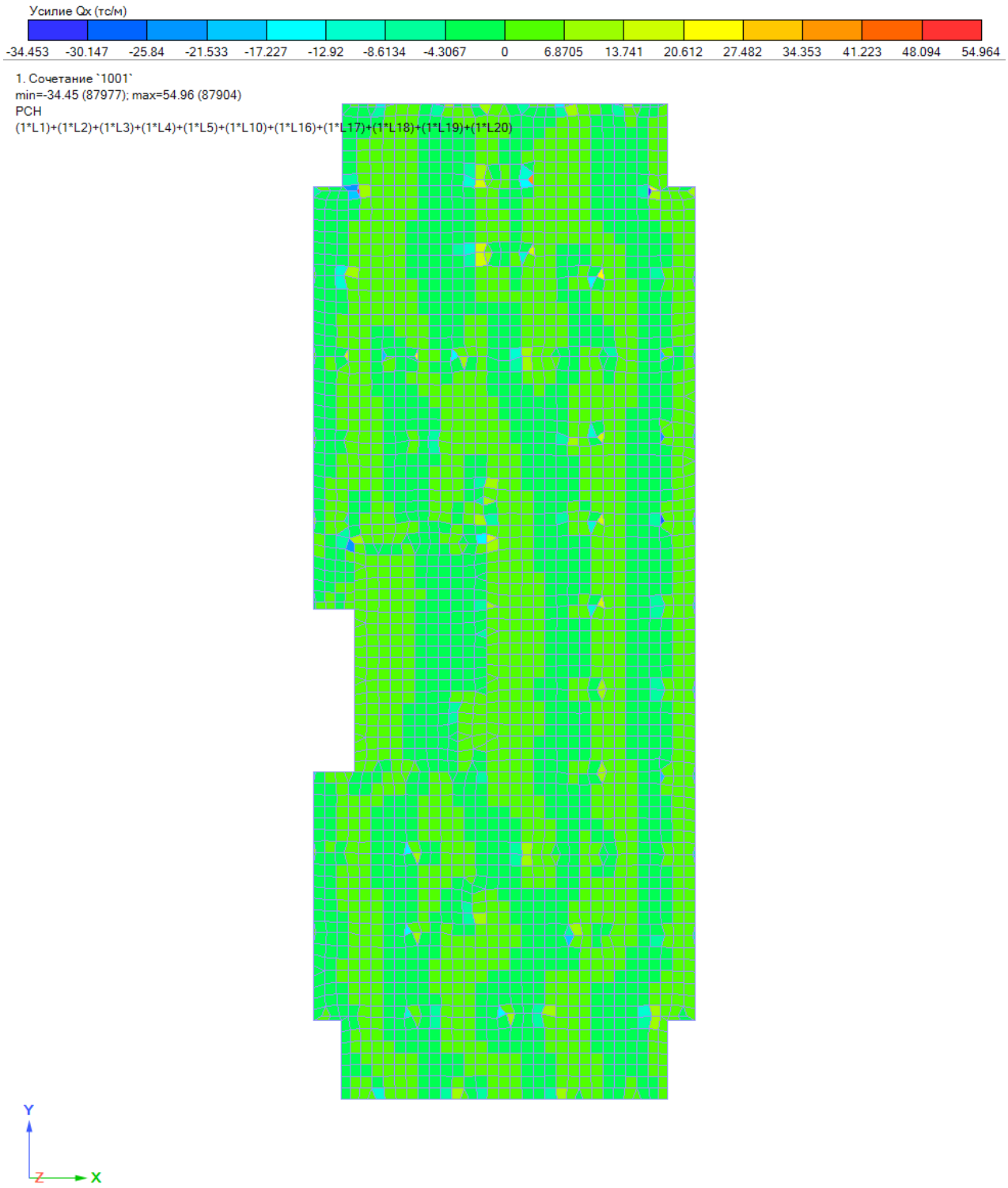


Изополя усилия Mx, тс*м/м

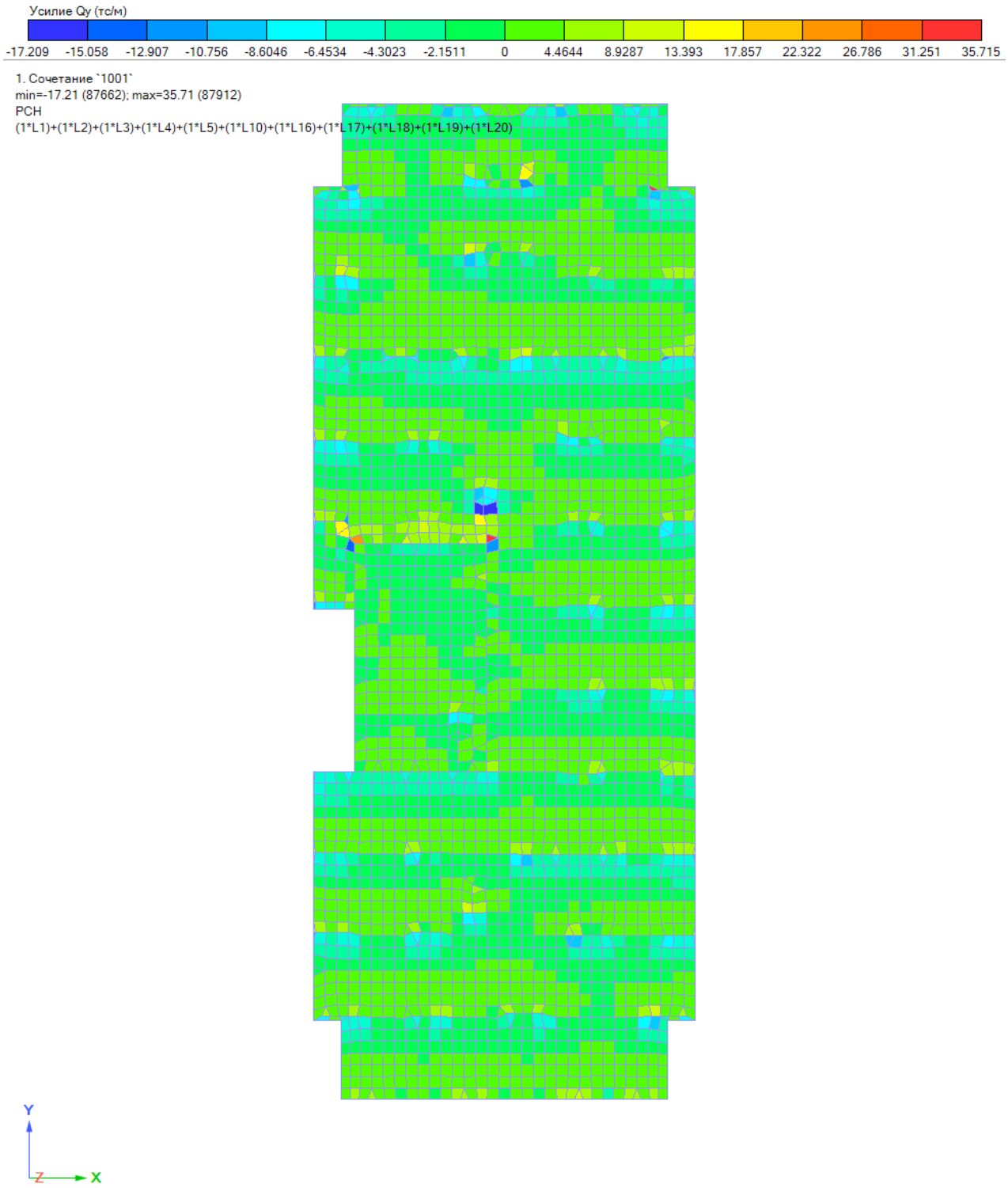


Изополя усилия My, тс*м/м

						17-0121-ОК-1-П-КР4.6	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		79



Изополя усилия Qx, тс/м



Изополя усилия Qy, тс/м

						17-0121-ОК-1-П-КР4.6	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		81

Проверка сечения плиты в/о в/о 3.В/3.2-3.3 на отм. +48.250 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)

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

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Изгибающий момент от полной нагрузки $M = 21.1\text{кНм}$
- Изгибающий момент от постоянной и длительной нагрузки $M_l = 20.05\text{кНм}$
- Продольная сила от полной нагрузки $N = 15.7\text{кН}$
- Продольная сила от постоянной и длительной нагрузки $N_l = 14.92\text{кН}$

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

$$h_0 = 0.2 - 0.04 = 0.16\text{м}$$

$$h_0' = 0.2 - 0.03 = 0.17\text{м}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} - Ne_x = 1750 \cdot 0.009 - 15.7 \cdot 0.034 = 15.22\text{кНм}$$

$$M = 21.1\text{кНм} > M_{crc} = 15.22\text{кНм, трещины образуются}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N_l}{A_{red}M_l} = 0.041 + \frac{6.910E-004\cdot 14.92}{0.206\cdot 20.05} = 0.039\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.039\cdot 1 = 0.0388\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0388 + 13.636\cdot 0.39\cdot 10^{-3} + 13.636\cdot 0.57\cdot 10^{-3} = 0.0519\text{м}^2$$

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

$$= 0.0388\left(0.2-\frac{0.039}{2}\right) + (0.39\cdot 10^{-3})\cdot 0.17\cdot 13.636 + (0.57\cdot 10^{-3})\cdot 0.16$$

$$\cdot 13.636 = 0.0082\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.2 - \frac{0.0082}{0.0519} = 0.041\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0-y_c)^2 = (0.57\cdot 10^{-3})\cdot(0.16-0.041)^2 = 7.950E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c-a')^2 = (0.39\cdot 10^{-3})\cdot(0.041-0.03)^2 = 5.090E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1\cdot\frac{0.041^3}{12} + 0.041\cdot 1\left(\frac{0.041}{2}\right) = 2.362E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 2.362E-005 + 7.950E-006\cdot 13.636 + 5.090E-008\cdot 13.636$$

$$= 1.327E-004\text{м}^4$$

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

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

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

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

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

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

Принимаем $l_s = 0.4$м

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M_l(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{20.05(0.16 - 0.041)}{1.327E-004} + \frac{14.92}{0.0519}\right)13.636 = 248218\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{15.22(0.16 - 0.041)}{1.327E-004} + \frac{14.92}{0.0519}\right)13.636 = 189450\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\ \frac{189450.1}{248218.16} = 0.389$$

$$a_{crc1} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.389\ \frac{248218}{200000000}\ 0.4 = 0.000162\text{м} = 0.162\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$a_{crc3} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.389\ \frac{248218}{200000000}\ 0.4 = 0.000116\text{м} = 0.116\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N}{A_{red}M} = 0.041 + \frac{6.910E-004 \cdot 15.7}{0.206 \cdot 21.1} = 0.039\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.039 \cdot 1 = 0.0388\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0388 + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 0.57 \cdot 10^{-3} = 0.0519\text{м}^2$$

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

$$= 0.0388\left(0.2 - \frac{0.039}{2}\right) + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.17 \cdot 13.636 + (0.57 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.16 \cdot 13.636$$

$$= 0.0082\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.2 - \frac{0.0082}{0.0519} = 0.041\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c) = (0.57 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.16 - 0.041) = 7.950E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a') = (0.39 \cdot 10^{-3})(0.041 - 0.03) = 5.090E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.041^3}{12} + 0.041 \cdot 1\left(\frac{0.041}{2}\right) = 2.362E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 2.362E-005 + 7.950E-006 \cdot 13.636 + 5.090E-008 \cdot 13.636 = 1.327E-004\text{м}^4$$

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

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

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

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

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

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

Принимаем $l_s = 0.4$м

$$\sigma_s = \left(\frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{21.1(0.16 - 0.041)}{1.327E-004} + \frac{15.7}{0.0519}\right)13.636 = 261282\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{15.22(0.16 - 0.041)}{1.327E-004} + \frac{15.7}{0.0519}\right)13.636 = 189656\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\,\frac{189656.4}{261282.27} = 0.419$$

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

$$a_{crc2} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.419\,\frac{261282}{200000000}\,0.4 = 0.000116\text{м} = 0.116\text{мм}$$

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

$$a_{crc1} = 0.162\text{мм} \le a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм}$$

Ширина продолжительного раскрытия трещин не превышает предельной

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.000162 + 0.000131 - 0.000116 = 0.000178\text{м} = 0.178\ \text{мм}$$

$$a_{crc} = 0.178\text{мм} \le a_{crc,ult} = 0.4\text{мм}$$

Ширина непродолжительного раскрытия трещин не превышает предельной.

ПРОВЕРКА ПО ПЕРВОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

$$R_s = 435000\text{кПа}$$

$$R_{sc} = 435000\text{кПа}$$

$$R_b = 17000\text{кПа}$$

$$\varepsilon_{b2} = 0.0042$$

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

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

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

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

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

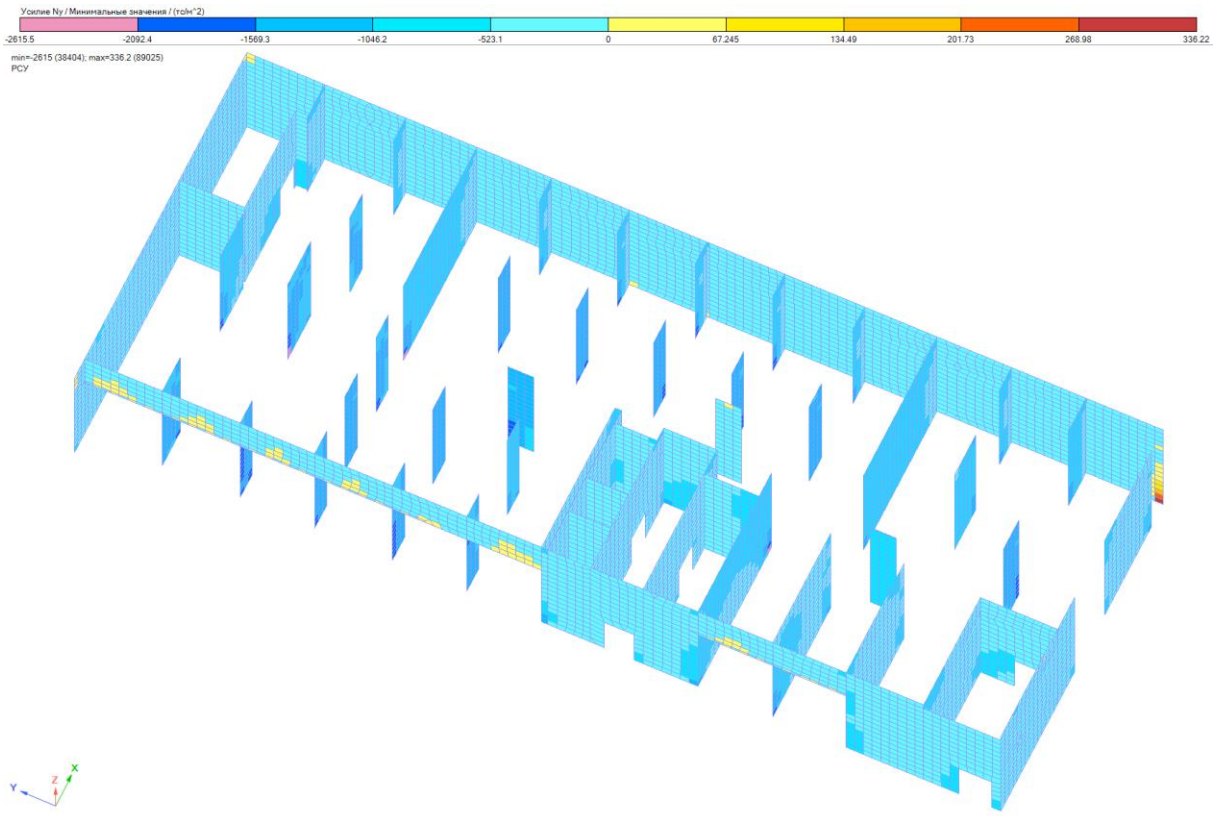
$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0.5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$
$$= 17000 \cdot 1 \cdot 0.004(0.16 - 0.5 \cdot 0.004) + 435000 \cdot 0.000393(0.16 - 0.03)$$
$$= 34\text{кНм}$$

$$M = 27\text{кНм} < M_{ult} = 34\text{кНм}$$

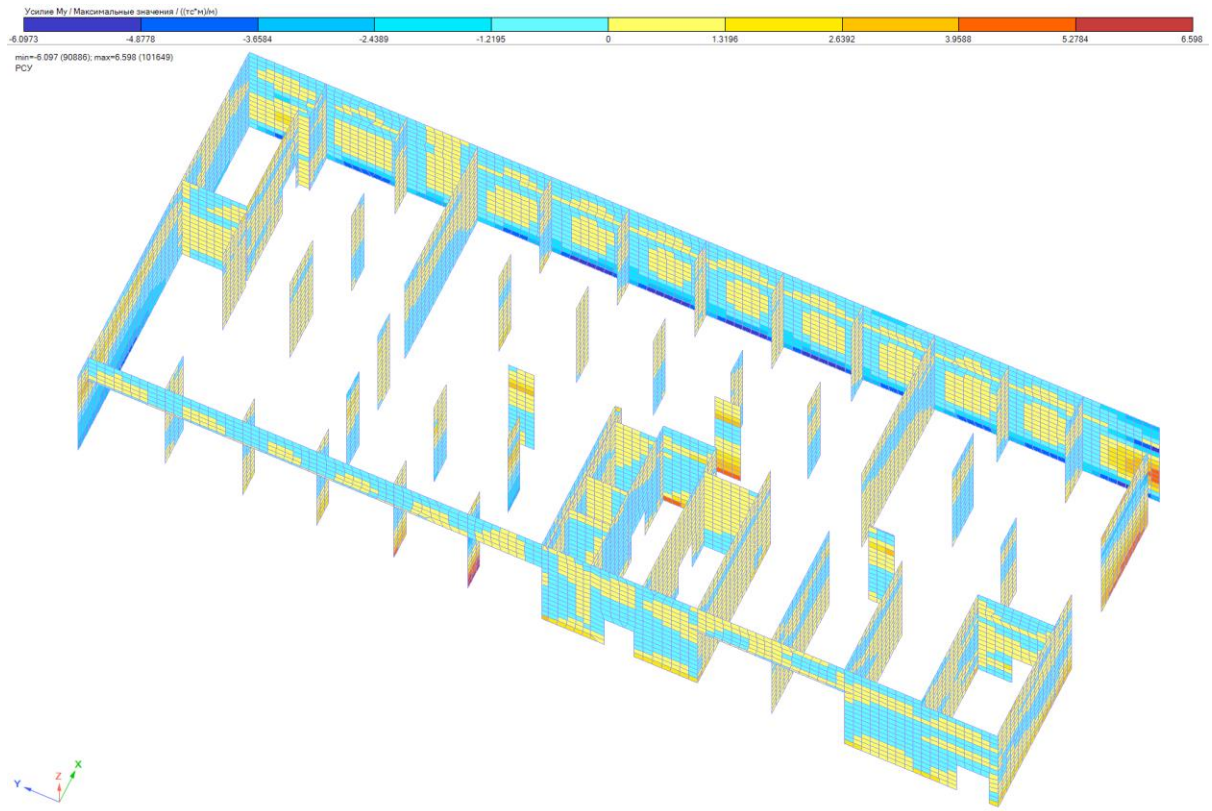
Условие прочности выполняется

Коэффициент использования 0.806

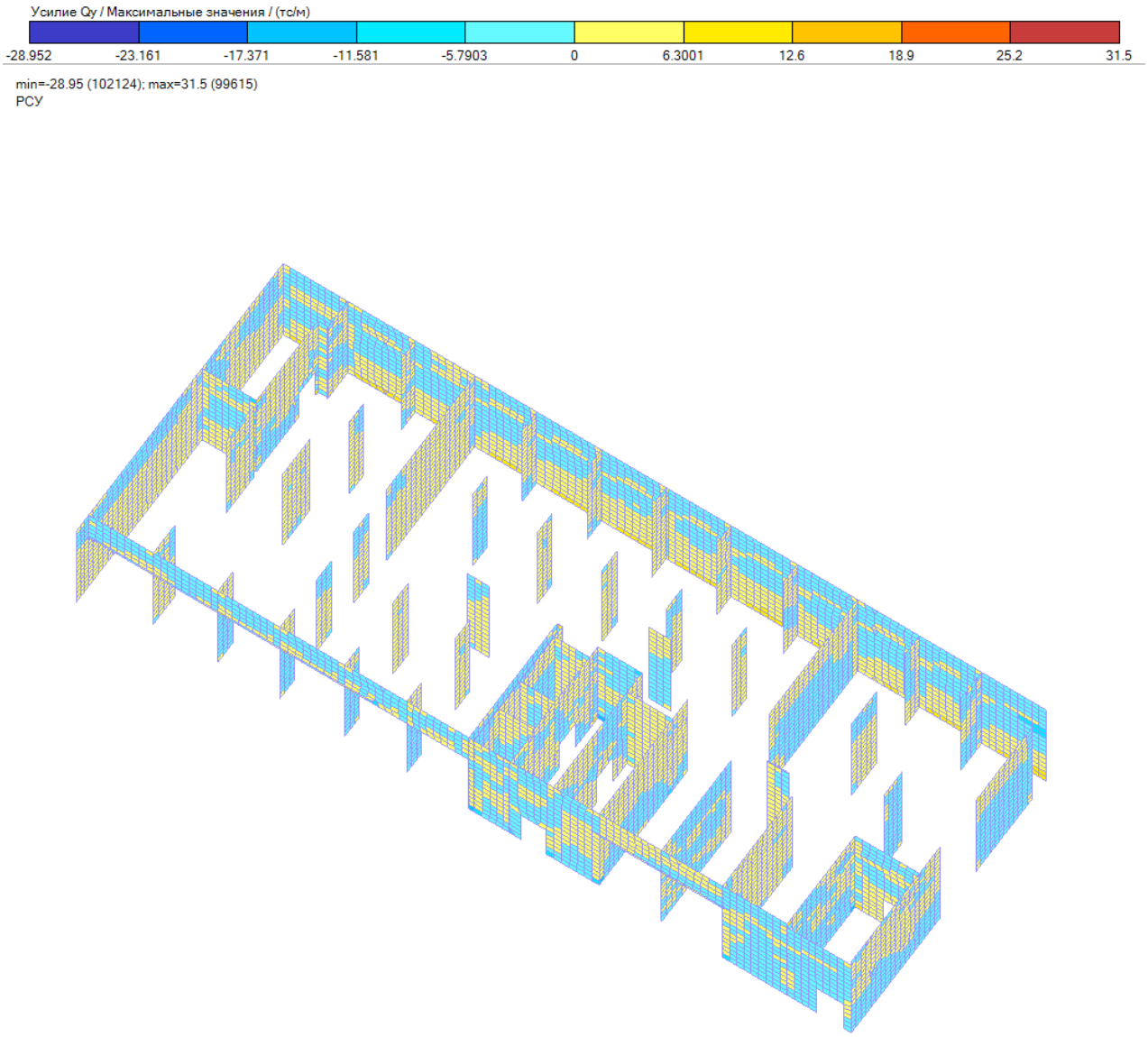




Изополя усилия Ny, тс*/м2



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qy, тс/м

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 250ММ В/О 3.3/3.В-3.Б НА ОТМ. -7.200 НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

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

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Продольная сила $N = -4621{,}0$ 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 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 - 6хØ25, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}55$ 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:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}55 = 3{,}64 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}55 = 3{,}64 \text{ м}$$

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:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}64}{0{,}217} = 16{,}8 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}64}{0{,}072} = 50{,}4 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}55}{600} = 0{,}008 \text{ м}$$

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-4621{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{12{,}0}{-4621{,}0}\right| = 0{,}003 \text{ м}$$

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

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

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

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

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:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 95723{,}9}{3{,}64^2} = 71304{,}6 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 10415{,}1}{3{,}64^2} = 7758{,}2 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{4621{,}0}{71304{,}6}} = 1{,}069$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{4621{,}0}{7758{,}2}} = 2{,}473$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

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

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 2{,}473 \cdot 12{,}0 = 29{,}7 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 158045{,}5\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 17156{,}2\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

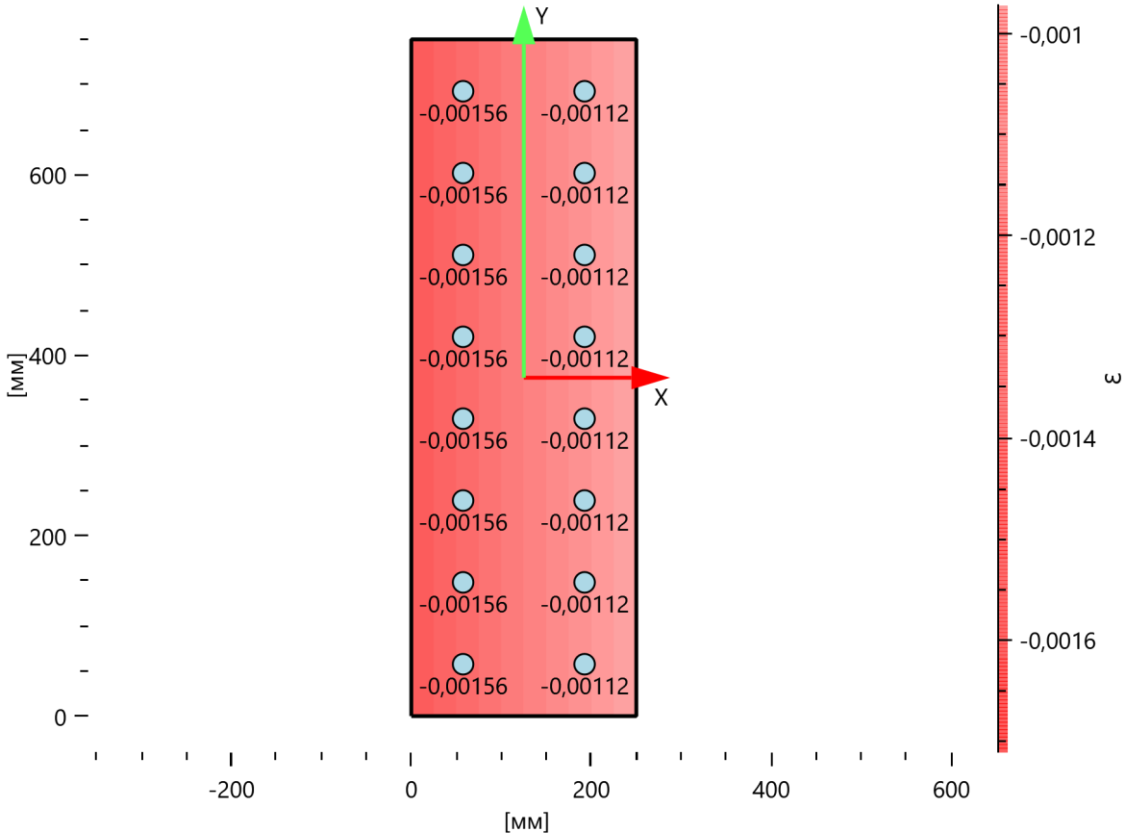
$$D_{12} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 19046{,}5\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 3490372{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

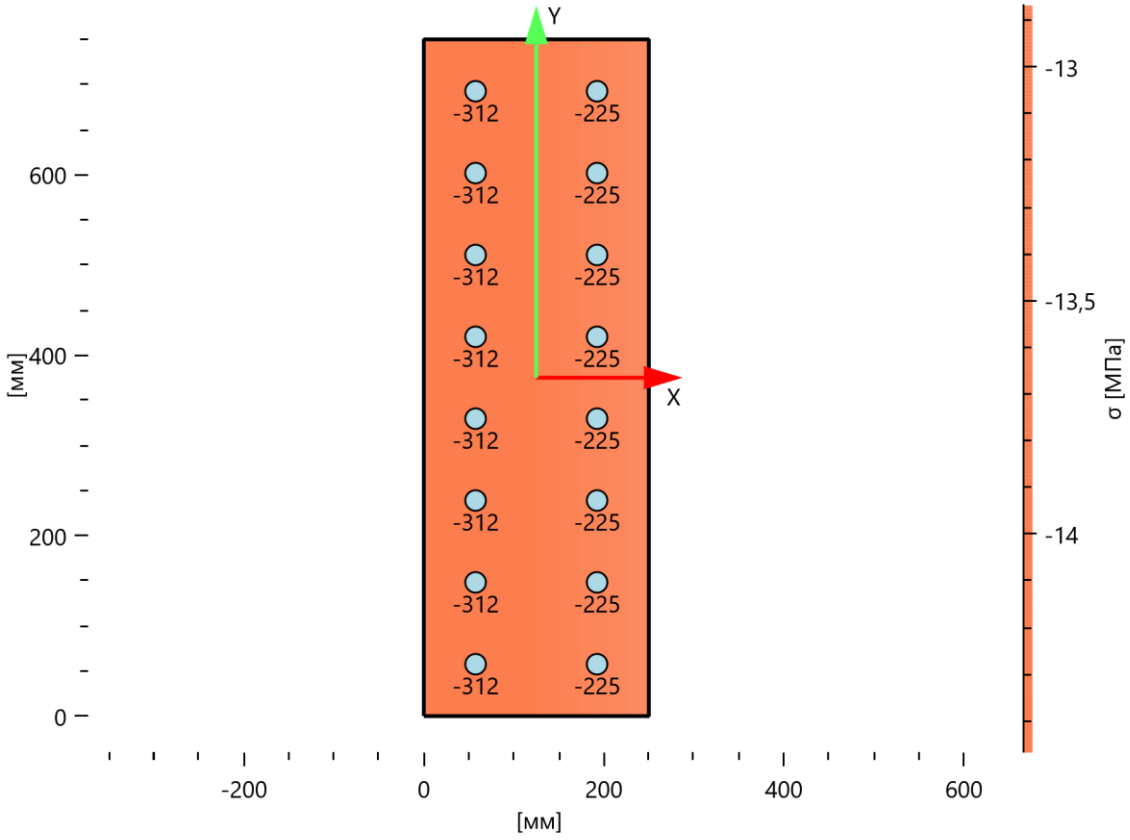
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00321869;\ \varepsilon_0 = -0{,}00134148$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}001704$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000979}{-0{,}001704} = 0{,}002638$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001704| = 0{,}001704 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}002638$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	50.4	120
Деформации сжатия в бетоне	-1.70‰	-2.64‰
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰
Процент использования по N	89%	
Процент использования по Mx	0%	
Процент использования по My	36%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ ПОДВАЛА ТОЛЩ. 250ММ В/О 3.Н-3.М/3.6 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 $N = -671{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 68{,}0$ 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 - 2xØ16, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 3xØ16, 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:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-671{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{68{,}0}{-671{,}0}\right| = 0{,}101 \text{ м}$$

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:

$$e_{0,x} = 0{,}033 \text{ м};\ e_{0,y} = 0{,}101 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

$$0{,}15 \le \delta_{e,y} = \frac{e_{0,y}}{b} = \frac{0{,}101}{0{,}25} = 0{,}405 \le 1{,}5$$

Окончательно принимается:

$$\delta_{e,x} = 0{,}150;\ \delta_{e,y} = 0{,}405$$

Коэффициенты k_b:

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

$$k_{b,y} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,y})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}405)} = 0{,}112$$

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

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

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}112 \cdot 32500000 \cdot 0{,}001302 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000010 = 6162{,}1 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

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

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 6162{,}1}{3{,}92^2} = 3957{,}8 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{671{,}0}{93624{,}1}} = 1{,}007$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{671{,}0}{3957{,}8}} = 1{,}204$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1{,}007 \cdot 0{,}0 = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1{,}204 \cdot 68{,}0 = 81{,}9 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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

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

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

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

$$D_{11} = 267139{,}1 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 17381{,}3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

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

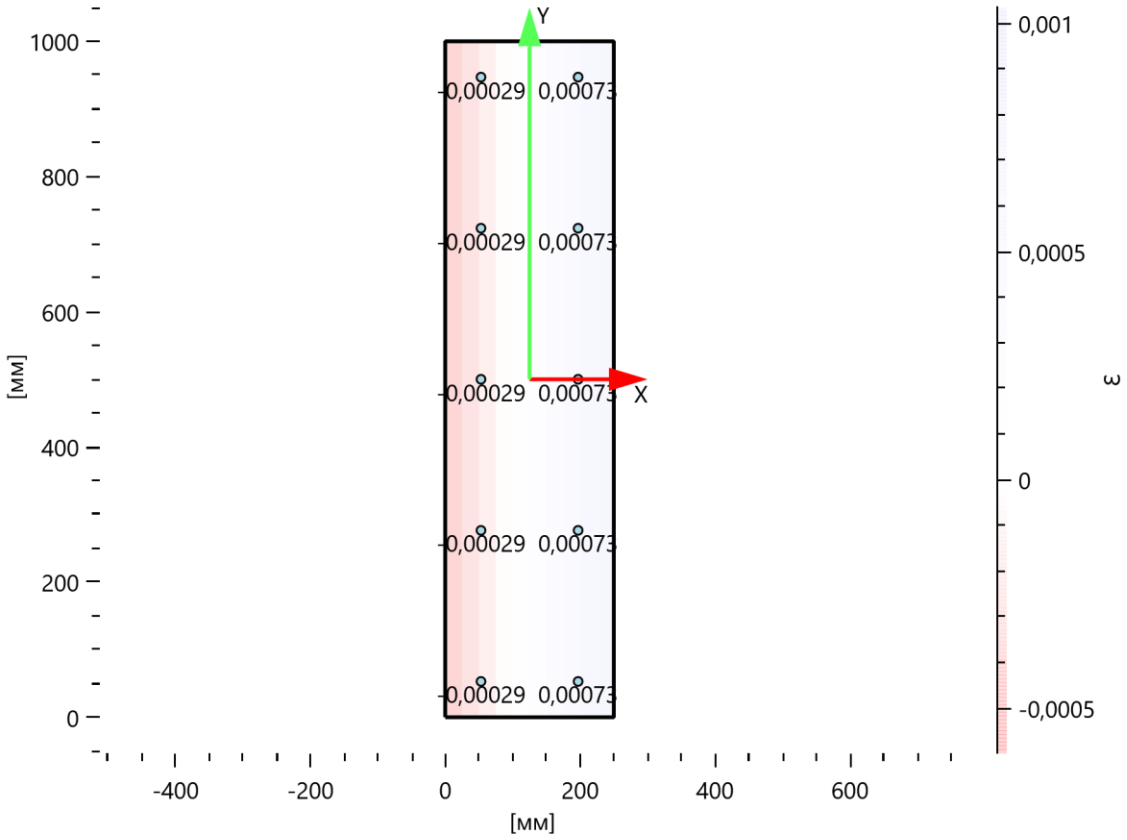
$$D_{23} = -190729{,}6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 3133930{,}1 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00710917;\ \varepsilon_0 = 0{,}00021855$$

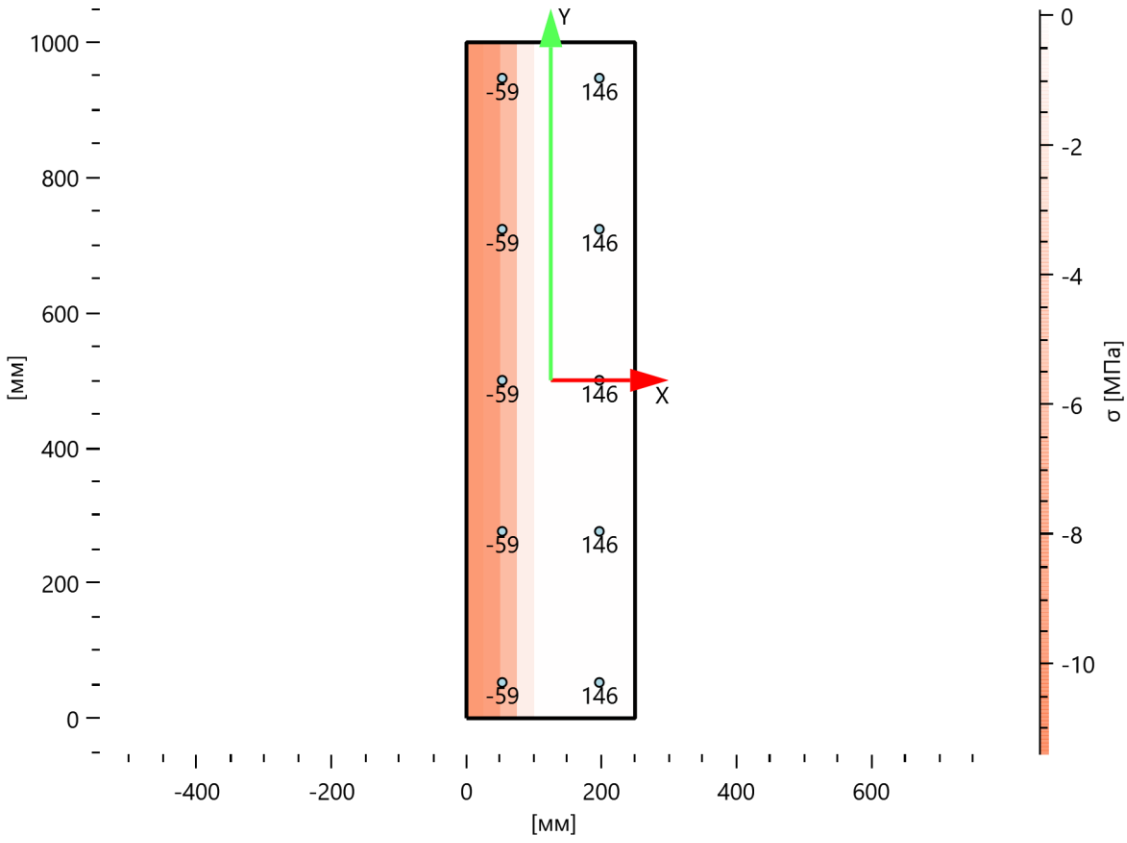
Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}000581$

Максимальная отн. деформация наиболее растянутого стержня арматуры $\varepsilon_{s,max} = 0{,}000730$

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:

$$|\varepsilon_{b,max}| = |-0{,}000581| = 0{,}000581 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003500$$

$$\varepsilon_{s,max} = 0{,}000730 \leq \varepsilon_{s,ult} = 0{,}025$$

выполняются, то прочность сечения колонны обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА,

Гибкость	54.3	120
Деформации сжатия в бетоне	-0.58‰	-3.50‰
Деформации растяжения в арматуре	0.73‰	25.00‰
Процент использования по N	25%	
Процент использования по Mx	0%	
Процент использования по My	66%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 220ММ В/О 3.4/3.Т 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 $N = -2920{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН $\cdot$ м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 8{,}0$ 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 - 2xØ22, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 5xØ22, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}55$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}22$ м
- Высота сечения $h = 0{,}66$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}8$, $\mu_y = 0{,}8$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}55 = 3{,}64 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}55 = 3{,}64 \text{ м}$$

Радиусы инерции сечения:

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

Гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}64}{0{,}191} = 19{,}1 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}64}{0{,}064} = 57{,}3 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}55}{600} = 0{,}008 \text{ м}$$

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-2920{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{8{,}0}{-2920{,}0}\right| = 0{,}003 \text{ м}$$

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

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

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

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

Окончательно принимается:

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

Коэффициенты k_b:

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

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

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}005271 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000178 = 53922{,}3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000586 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000016 = 5444{,}9 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 53922{,}3}{3{,}64^2} = 40166{,}7 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 5444{,}9}{3{,}64^2} = 4055{,}9 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{2920{,}0}{40166{,}7}} = 1{,}078$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{2920{,}0}{4055{,}9}} = 3{,}571$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1{,}078 \cdot 0{,}0 = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 3{,}571 \cdot 8{,}0 = 28{,}6 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 106194{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 11612{,}6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

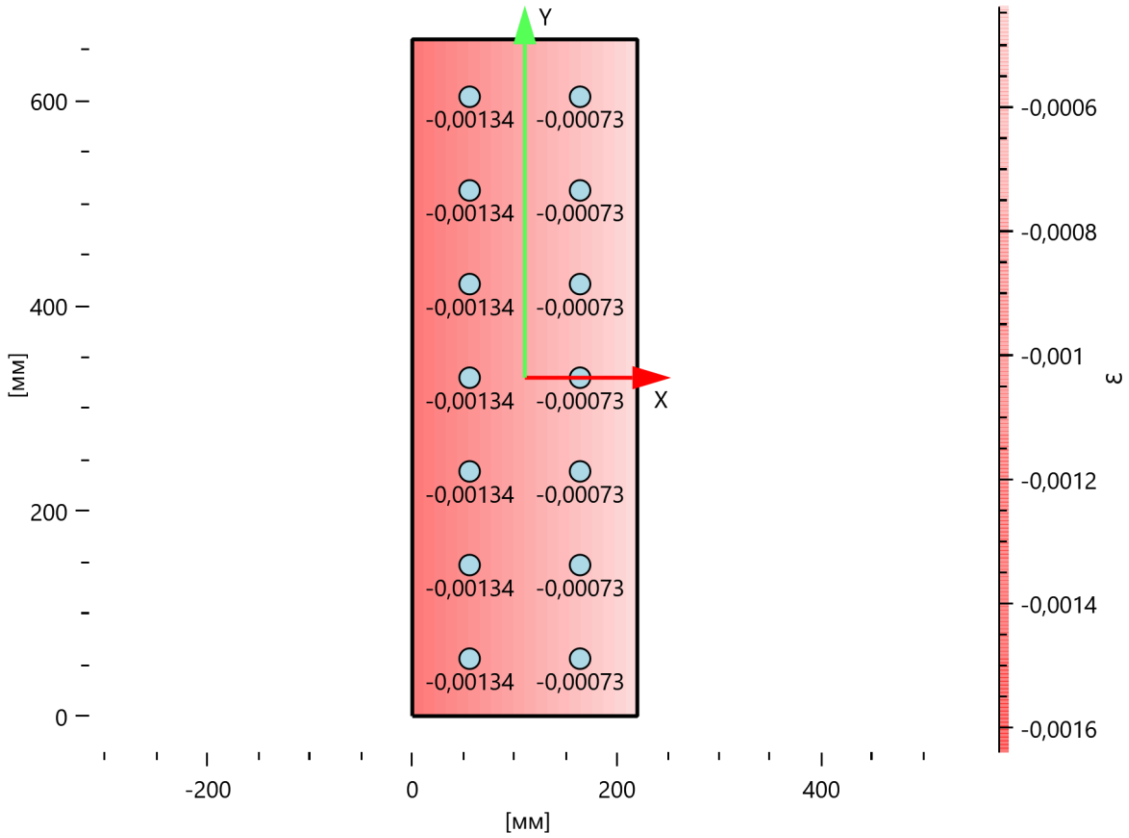
$$D_{12} = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 35483{,}8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 3006222{,}2 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

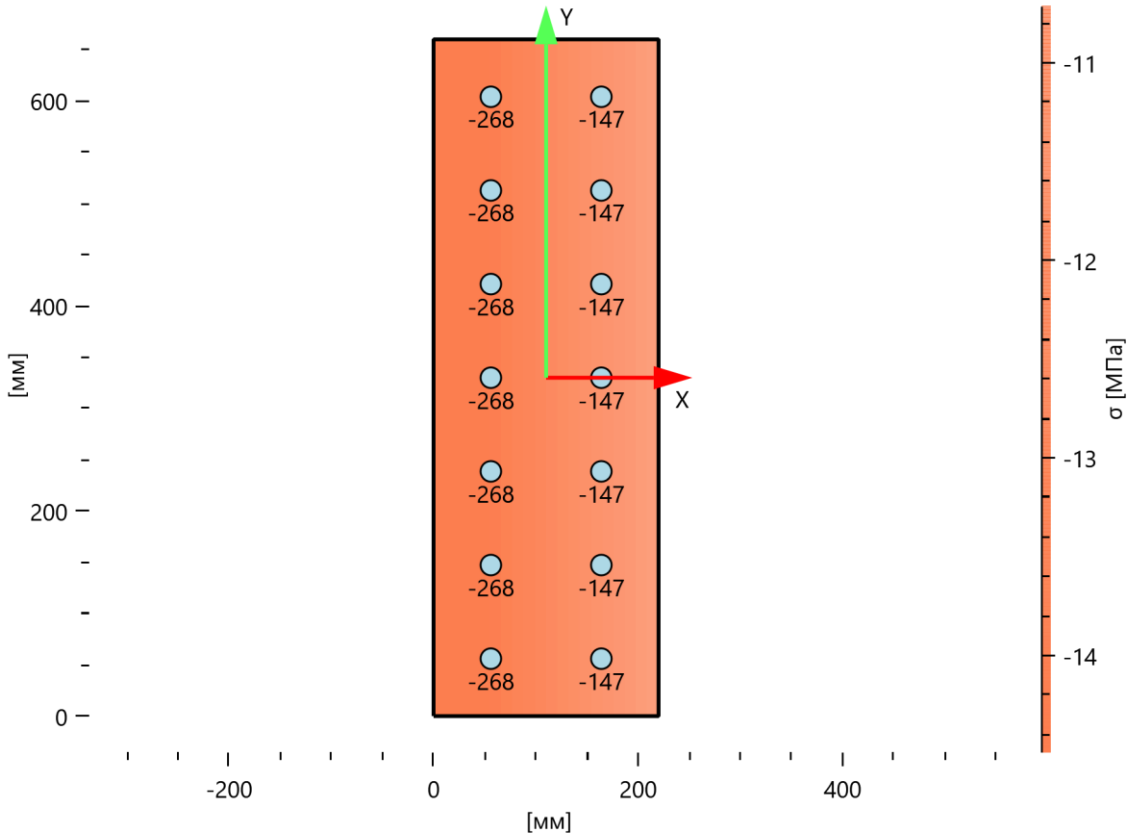
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00563084;\ \varepsilon_0 = -0{,}00103779$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}001626$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000449}{-0{,}001626} = 0{,}003086$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001626| = 0{,}001626 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003086$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	57.3	120	
Деформации сжатия в бетоне	-1.63‰	-3.09‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	87%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	36%		

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 200ММ В/О 3.3/3.К НА ОТМ. -7.200 НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

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

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Продольная сила $N = -2259{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 7{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

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

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}55$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}2$ м
- Высота сечения $h = 0{,}6$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}7$, $\mu_y = 0{,}7$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}7 \cdot 4{,}55 = 3{,}185 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}7 \cdot 4{,}55 = 3{,}185 \text{ м}$$

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:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}185}{0{,}173} = 18{,}4 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}185}{0{,}058} = 55{,}2 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}55}{600} = 0{,}008 \text{ м}$$

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-2259{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{7{,}0}{-2259{,}0}\right| = 0{,}003 \text{ м}$$

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

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

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

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

Окончательно принимается:

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

Коэффициенты k_b:

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

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

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

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

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

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 34721{,}1}{3{,}185^2} = 33781{,}1 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 3318{,}6}{3{,}185^2} = 3228{,}8 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{2259,0}{33781,1}} = 1,072$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{2259,0}{3228,8}} = 3,329$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1,072 \cdot 0,0 = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 3,329 \cdot 7,0 = 23,3 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 75522,3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 8035,6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

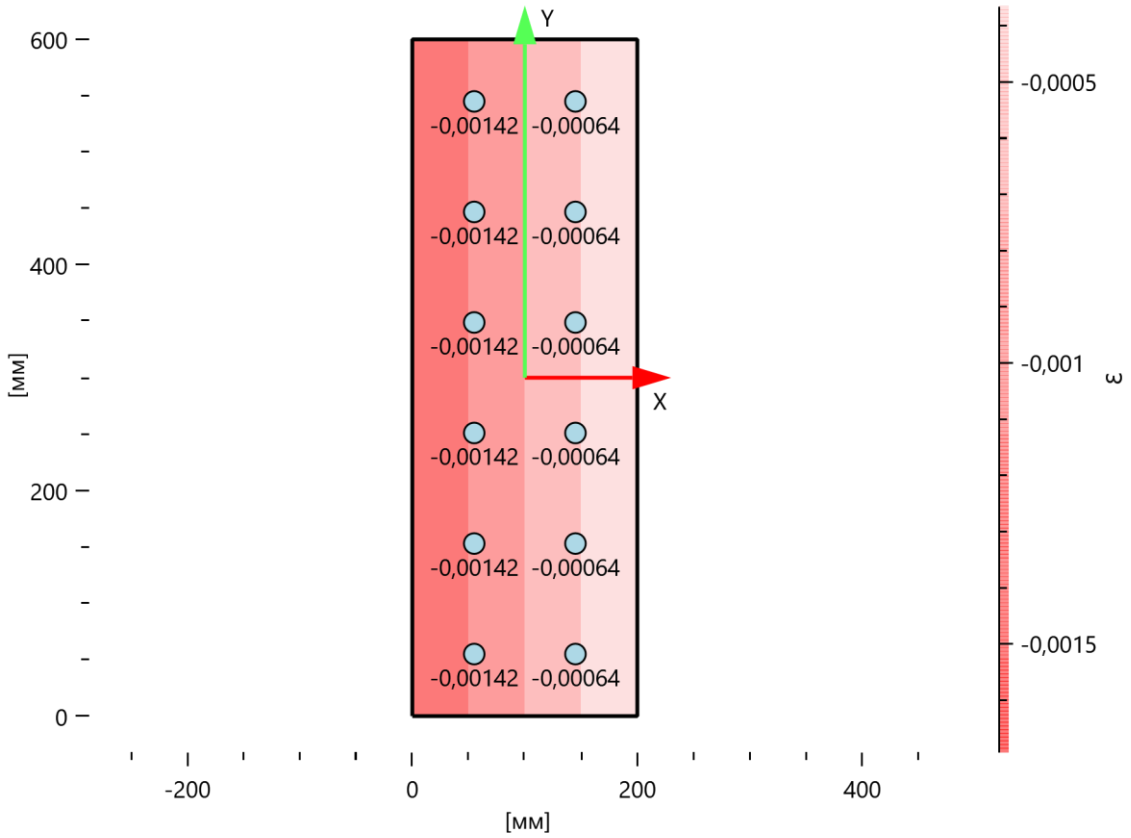
$$D_{12} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 45162,2 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 2576886,4 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

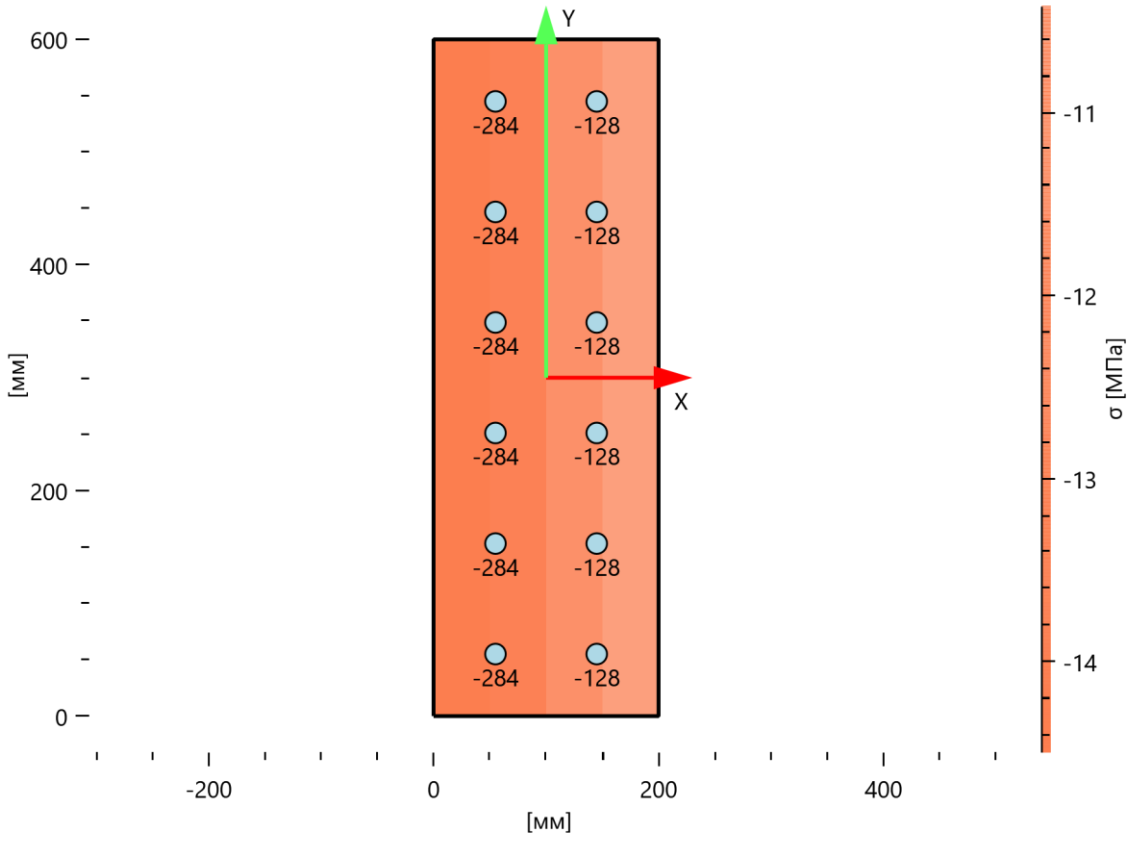
$$\frac{1}{r_x} = 0,00000000; \frac{1}{r_y} = 0,00868203;\ \varepsilon_0 = -0,00102879$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0,001680$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000378}{-0{,}001680} = 0{,}003163$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001680| = 0{,}001680 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003163$$

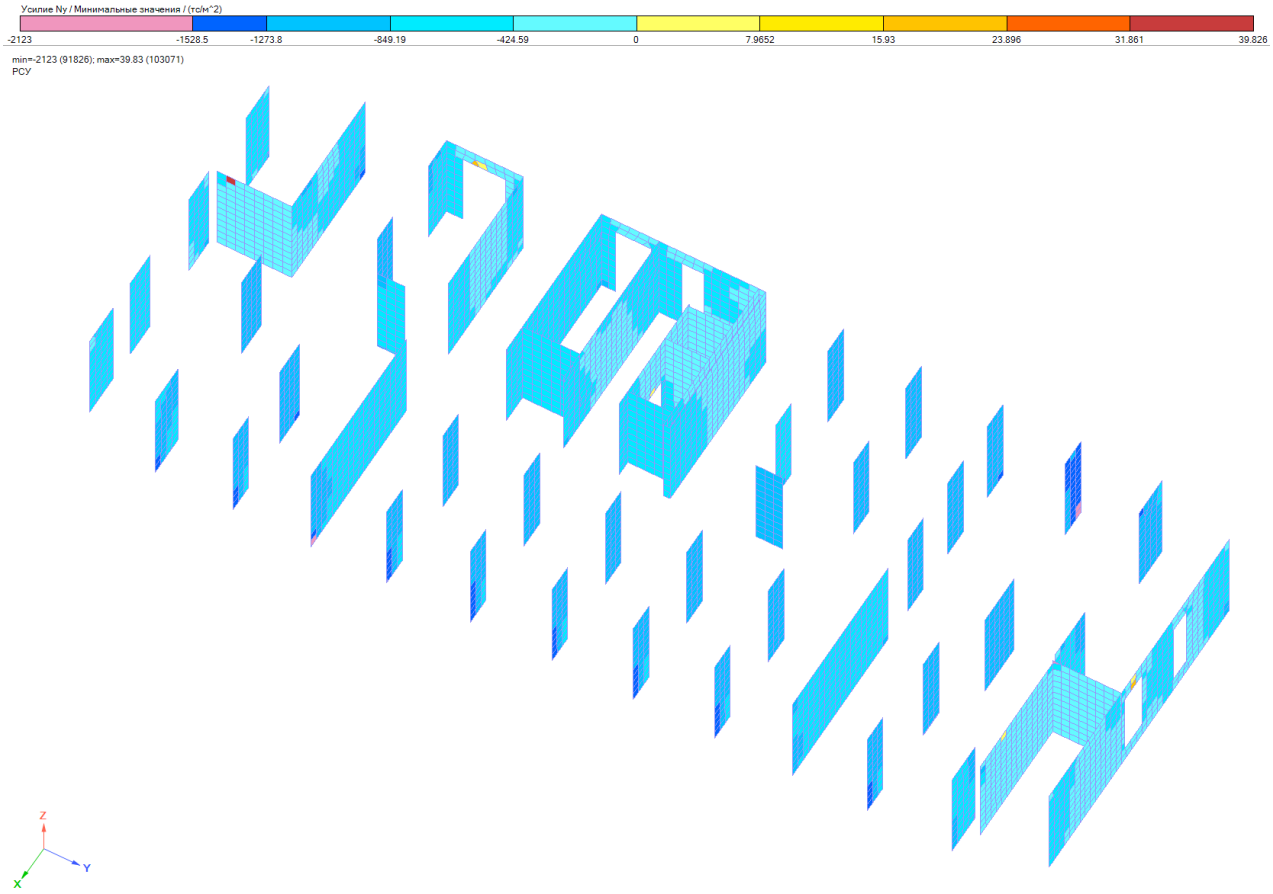
выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

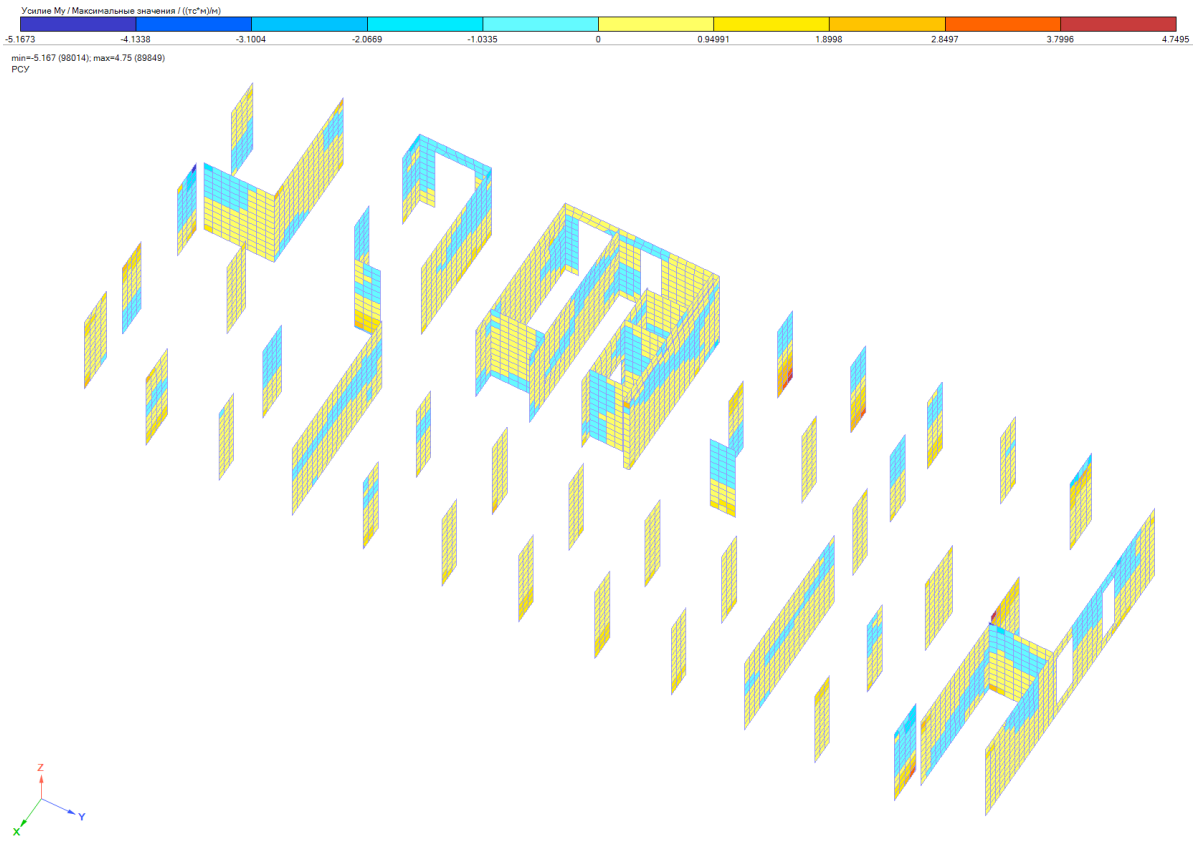
Гибкость	55.2	120	
Деформации сжатия в бетоне	-1.68‰	-3.16‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	89%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	42%		

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

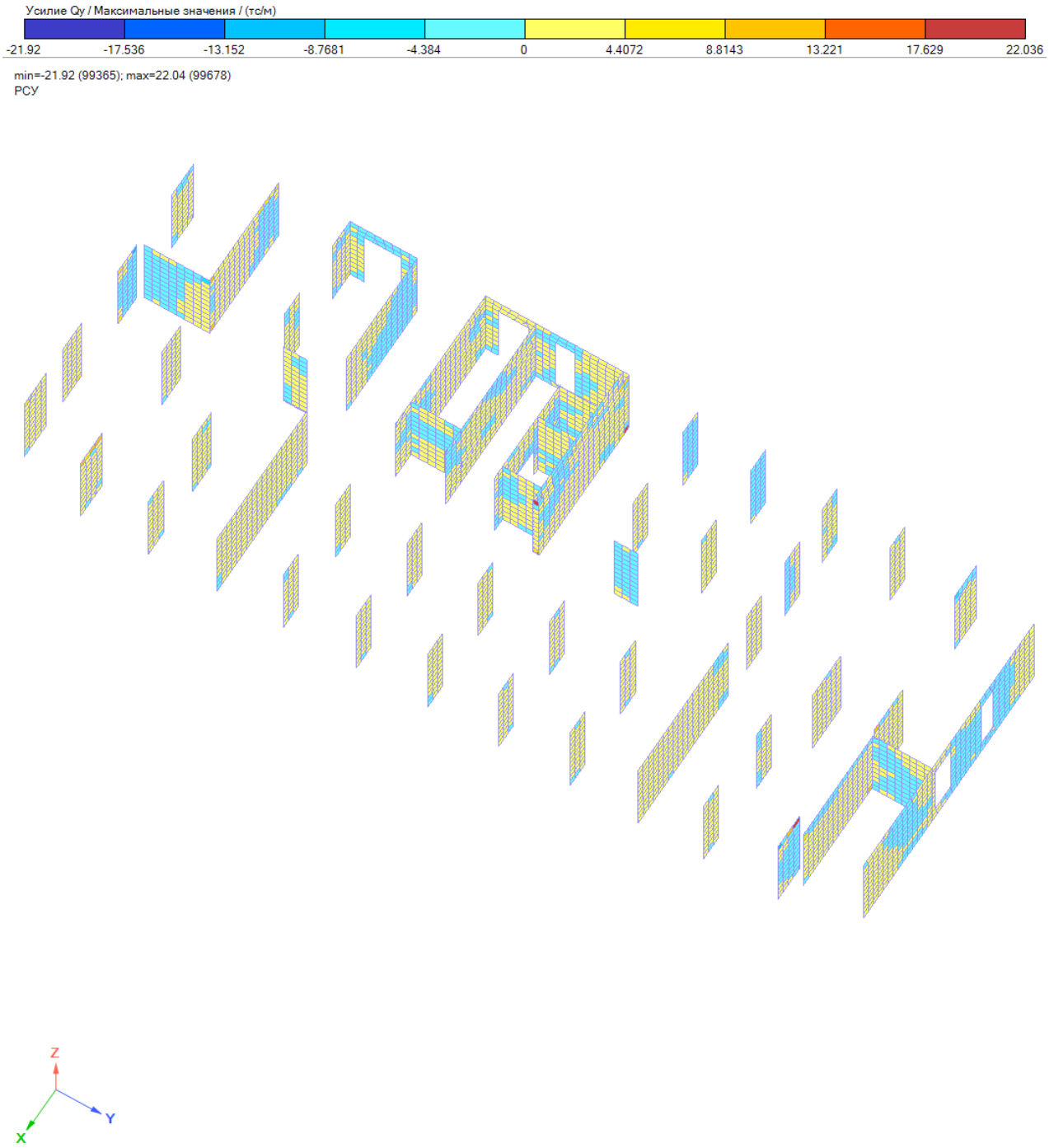
3.1. РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ОТМ. -0.650, -0.500



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 3.1-3.2/3.В НА ОТМ. -0.500 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 $N = -2944{,}0$ 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 - 2xØ20, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 5xØ20, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}72$ 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:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}72 = 3{,}776 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}72 = 3{,}776 \text{ м}$$

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:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}776}{0{,}217} = 17{,}4 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}776}{0{,}072} = 52{,}3 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}72}{600} = 0{,}008 \text{ м}$$

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-2944{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{11{,}0}{-2944{,}0}\right| = 0{,}004 \text{ м}$$

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:

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

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:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}008789 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000200 = 77010{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000977 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000022 = 8477{,}2 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 77010{,}0}{3{,}776^2} = 53306{,}8 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 8477{,}2}{3{,}776^2} = 5868{,}0 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{2944{,}0}{53306{,}8}} = 1{,}058$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{2944{,}0}{5868{,}0}} = 2{,}007$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1{,}058 \cdot 0{,}0 = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 2{,}007 \cdot 11{,}0 = 22{,}1 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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

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

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

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

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

$$D_{11} = 175631{,}5\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 19814{,}6\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

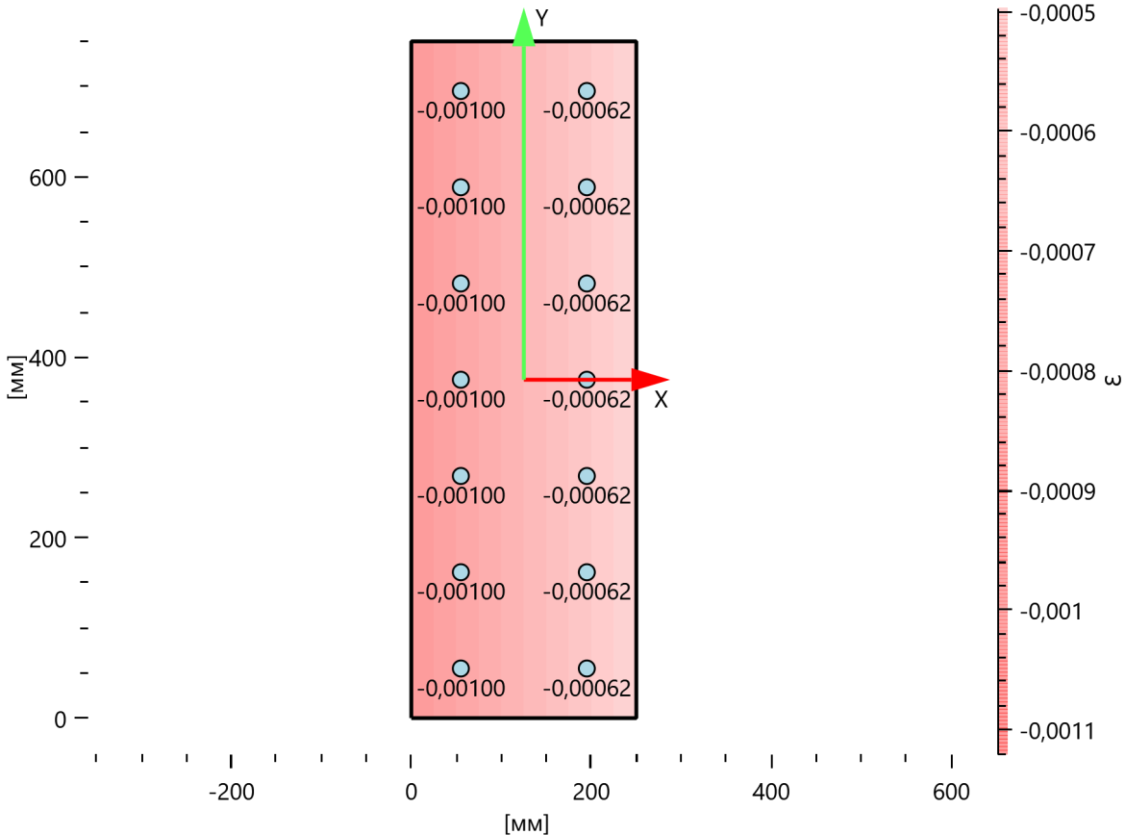
$$D_{12} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 39306{,}6\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 3773682{,}9\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

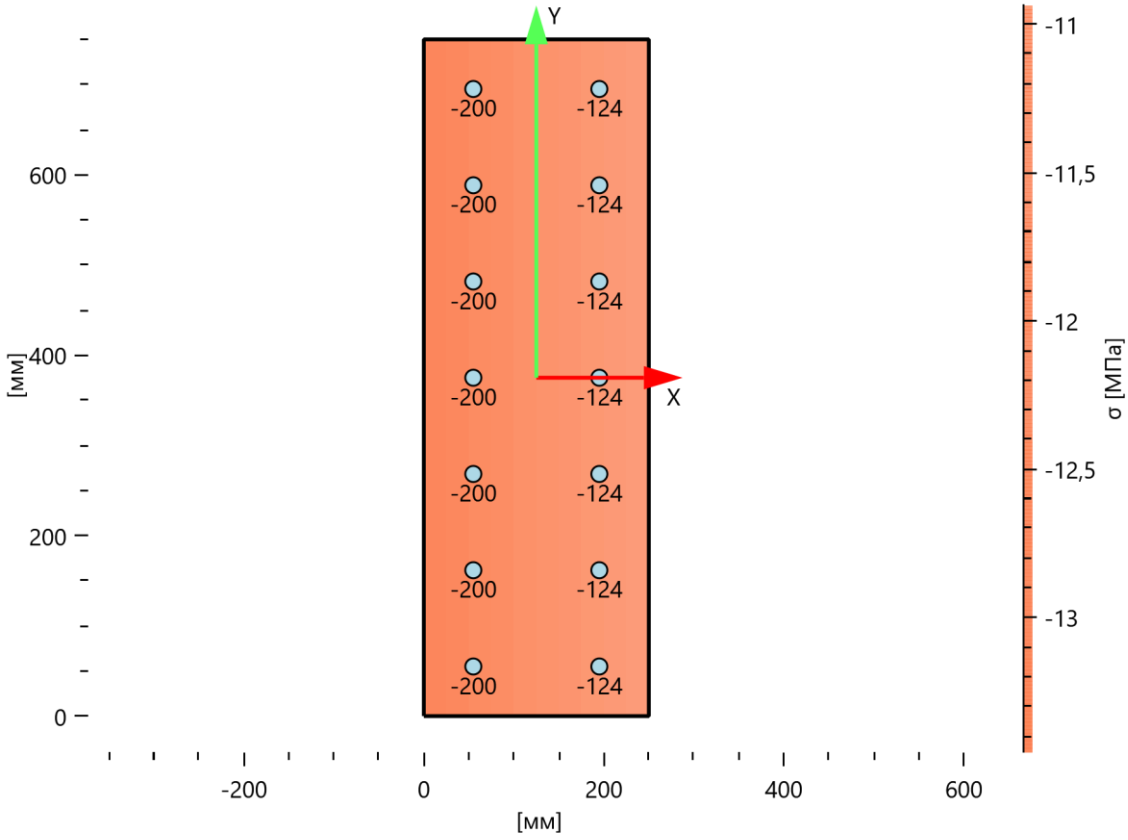
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00271782;\ \varepsilon_0 = -0{,}00080845$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}001114$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000503}{-0{,}001114} = 0{,}002823$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001114| = 0{,}001114 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}002823$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	52.3	120
Деформации сжатия в бетоне	-1.11‰	-2.82‰
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰
Процент использования по N	75%	
Процент использования по Mx	0%	
Процент использования по My	19%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 220ММ В/О 3.5-3.6/3.Л НА ОТМ. -0.650 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 $N = -2323{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 7{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

- Бетон класса 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 - 5xØ20, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}72$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}22$ м
- Высота сечения $h = 0{,}66$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}8$, $\mu_y = 0{,}8$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}72 = 3{,}776 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}72 = 3{,}776 \text{ м}$$

Радиусы инерции сечения:

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

Гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}776}{0{,}191} = 19{,}8 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}776}{0{,}064} = 59{,}5 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}72}{600} = 0{,}008 \text{ м}$$

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-2323{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{7{,}0}{-2323{,}0}\right| = 0{,}003 \text{ м}$$

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

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

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

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

Окончательно принимается:

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

Коэффициенты k_b:

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

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

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}005271 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000148 = 49920{,}5 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000586 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000013 = 5140{,}7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 49920{,}5}{3{,}776^2} = 34555{,}3 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 5140{,}7}{3{,}776^2} = 3558{,}4 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{2323,0}{34555,3}} = 1,072$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{2323,0}{3558,4}} = 2,880$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1,072 \cdot 0,0 = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 2,880 \cdot 7,0 = 20,2 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 122316,3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 13985,2 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

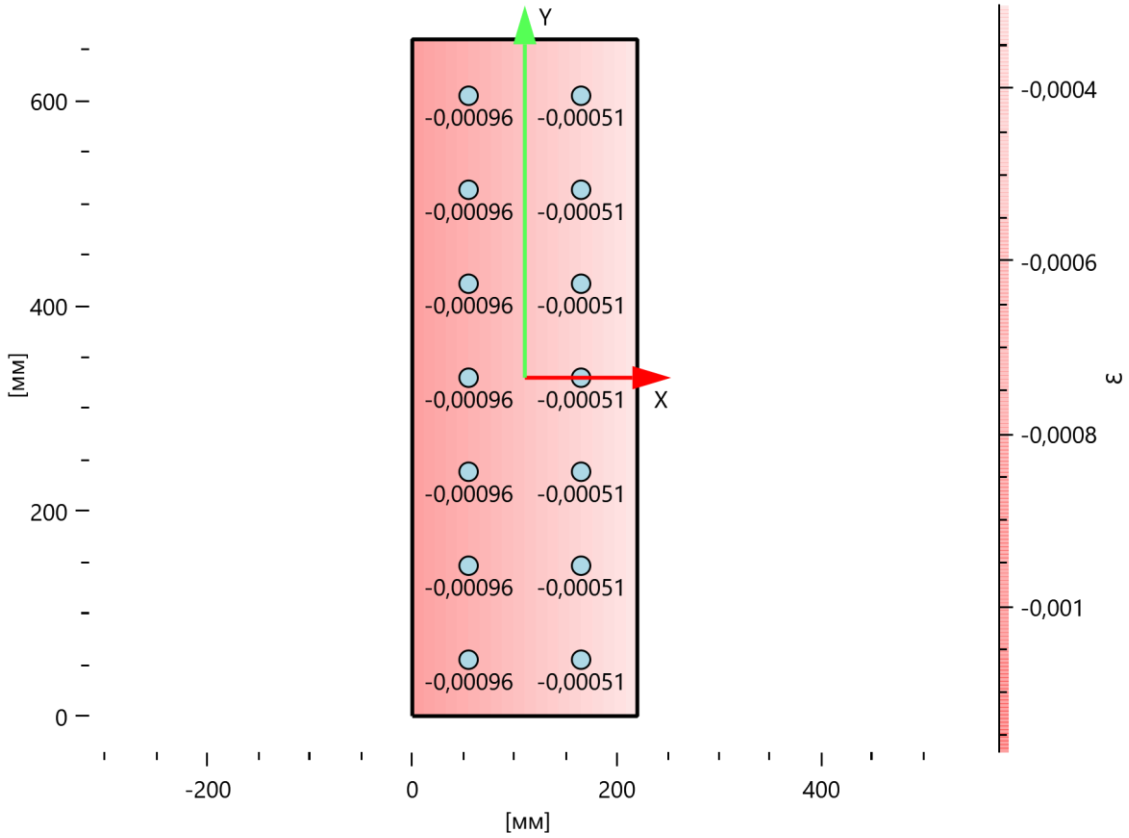
$$D_{12} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 49662,9 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 3429818,2 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

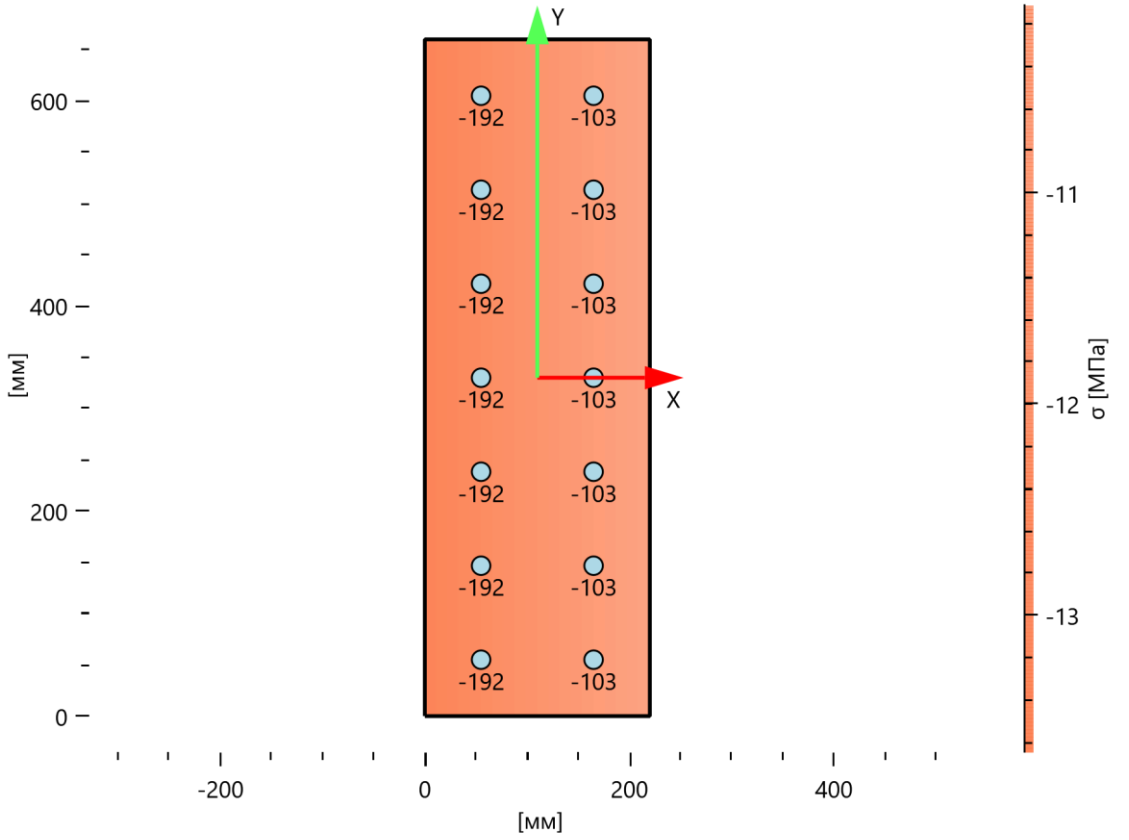
$$\frac{1}{r_x} = 0,00000000; \frac{1}{r_y} = 0,00405532;\ \varepsilon_0 = -0,00073601$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0,001160$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000312}{-0{,}001160} = 0{,}003096$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001160| = 0{,}001160 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003096$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	59.5	120	
Деформации сжатия в бетоне	-1.16‰	-3.10‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	76%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	22%		

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 200ММ В/О 3.3/3.К-3.И НА ОТМ. -0.650 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 $N = -1069{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 8{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

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

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

- Арматура класса А500
- Расчетное сопротивление растяжению $R_s = 435$ МПа
- Расчетное сопротивление сжатию $R_{sc} = 400$ МПа
- Модуль упругости $E_s = 200000$ МПа
- Предельное значение отн. деформации удлинения арматуры $\varepsilon_{s,ult} = 0{,}025$
- Арматура у верхней и нижней грани - 2xØ12, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 4xØ12, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}72$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}2$ м
- Высота сечения $h = 0{,}6$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}8$, $\mu_y = 0{,}8$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}72 = 3{,}776 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}72 = 3{,}776 \text{ м}$$

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:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}776}{0{,}173} = 21{,}8 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}776}{0{,}058} = 65{,}4 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}72}{600} = 0{,}008 \text{ м}$$

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-1069{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{8{,}0}{-1069{,}0}\right| = 0{,}007 \text{ м}$$

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

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

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

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

Окончательно принимается:

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

Коэффициенты k_b:

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

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

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

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

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

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 25801{,}6}{3{,}776^2} = 17860{,}0 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2720{,}0}{3{,}776^2} = 1882{,}8 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{1069{,}0}{17860{,}0}} = 1{,}064$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{1069{,}0}{1882{,}8}} = 2{,}314$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

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

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 2{,}314 \cdot 8{,}0 = 18{,}5 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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

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

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

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

$$D_{11} = 110720{,}3 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 11011{,}2 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

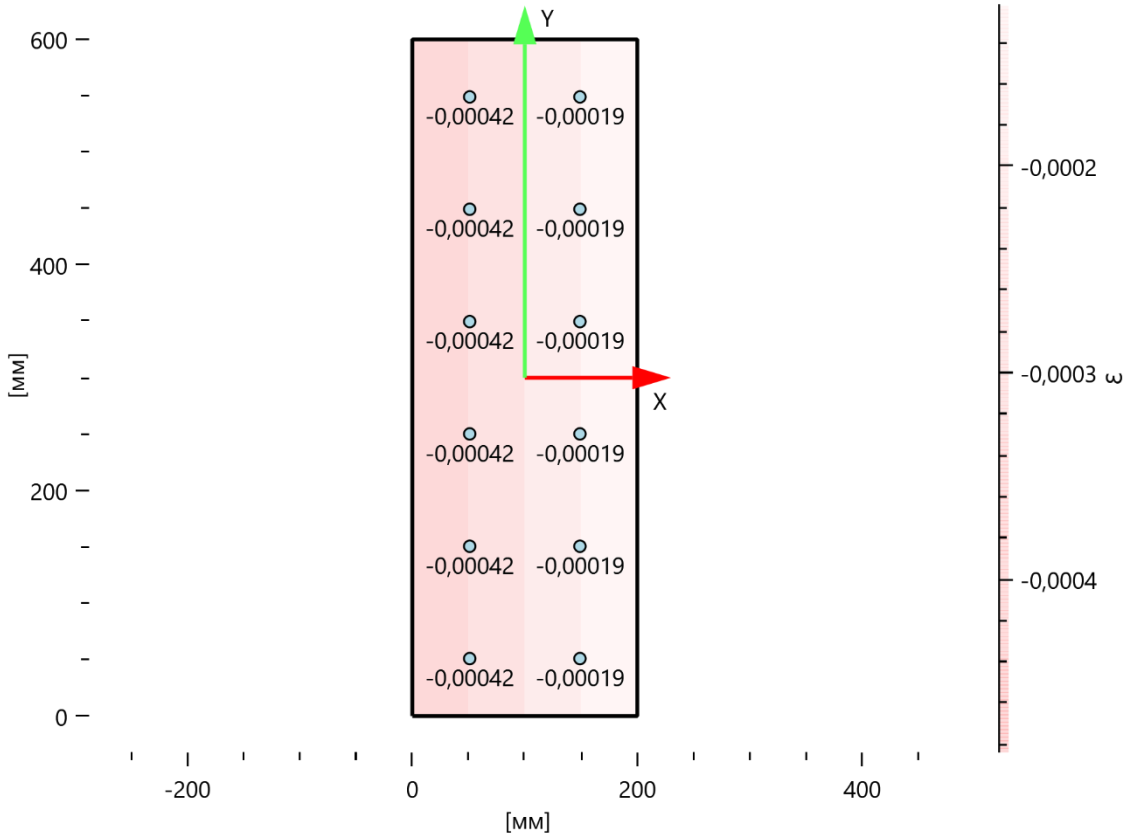
$$D_{12} = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 24768{,}6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 3723170{,}8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

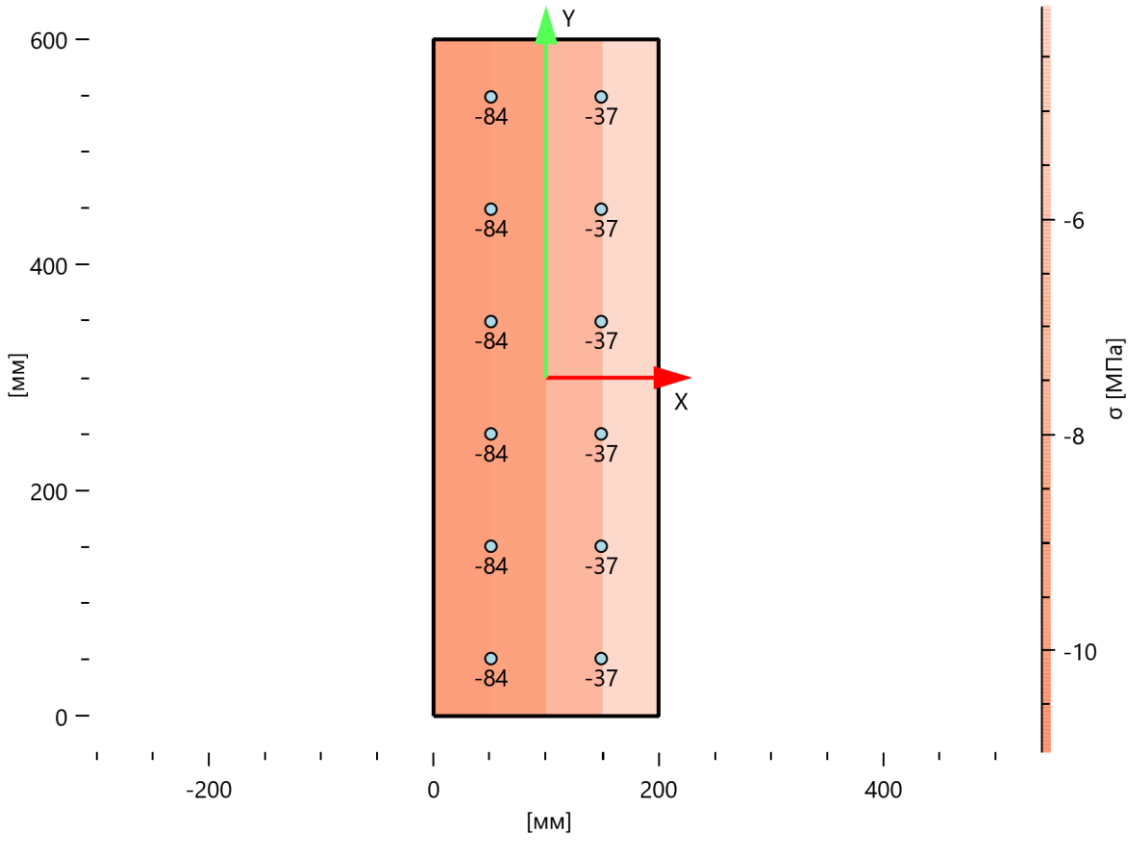
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00236212;\ \varepsilon_0 = -0{,}00030284$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}000480$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000126}{-0{,}000480} = 0{,}003107$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}000480| = 0{,}000480 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003107$$

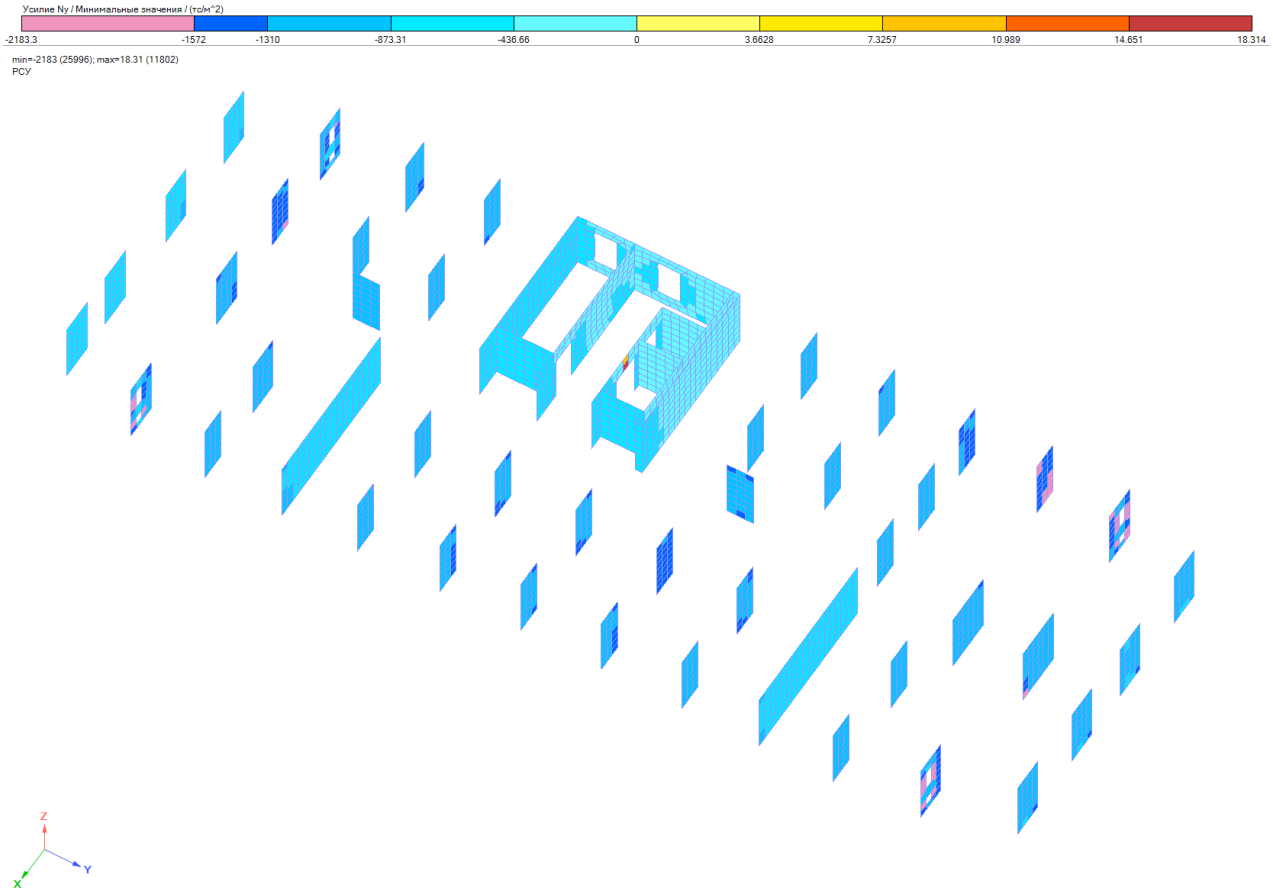
выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

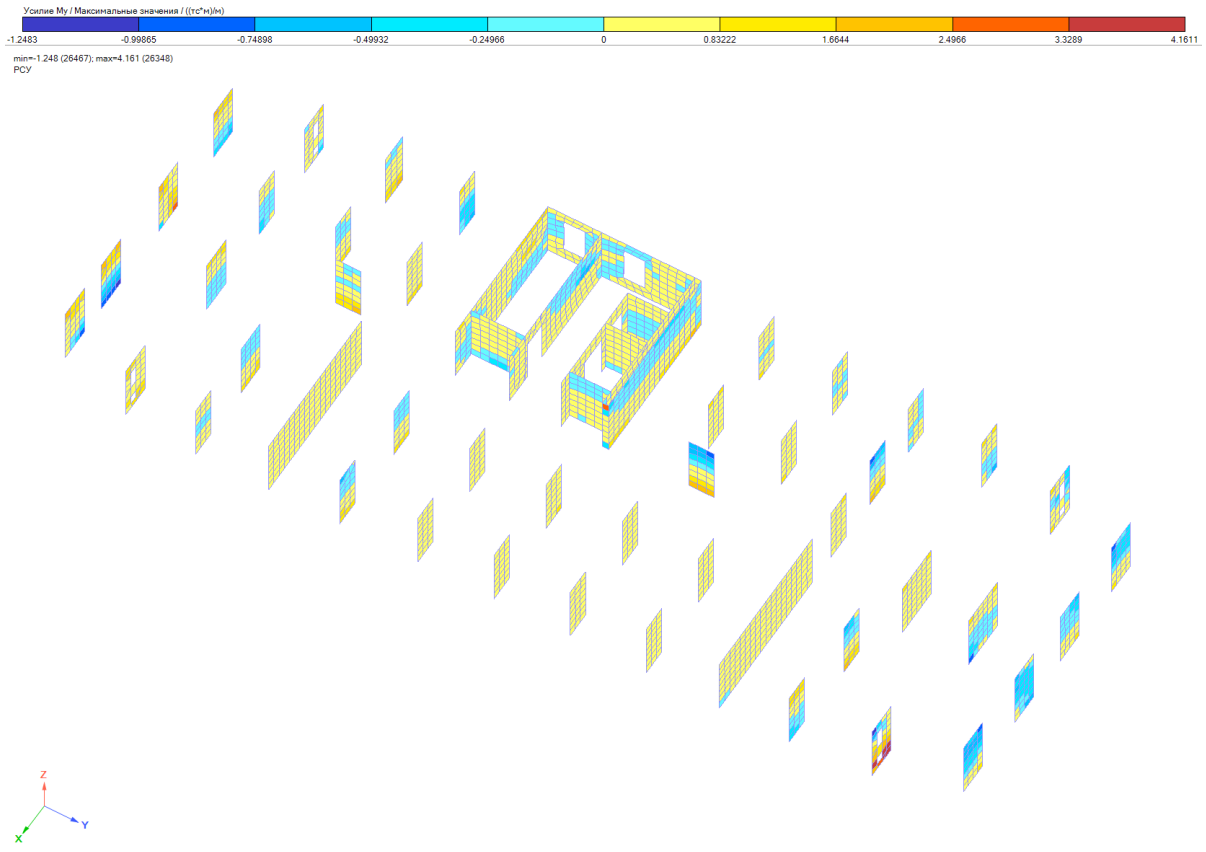
Гибкость	65.4	120	
Деформации сжатия в бетоне	-0.48‰	-3.11‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	69%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	31%		

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

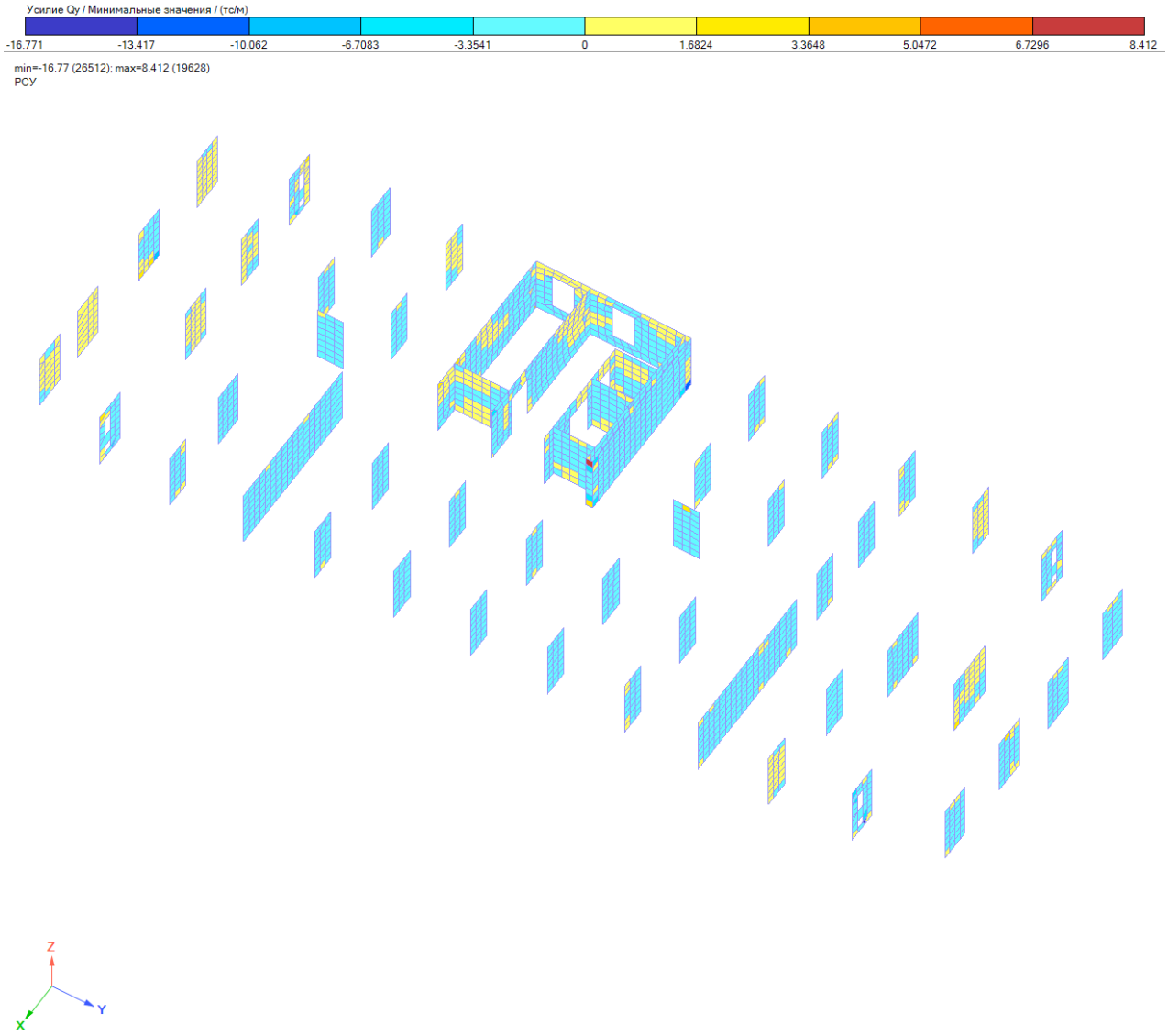
3.2. РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ОТМ. +4.250



Изополя усилия Ny, тс*/м2



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qy, тс/м

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 220ММ В/О 3.1-3.2/3.Б С ОТМ. +4.250...+46.250 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 $N = -1654{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 14{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 2{,}82$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}22$ м
- Высота сечения $h = 0{,}4$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}8$, $\mu_y = 0{,}8$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

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

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

Радиусы инерции сечения:

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

Гибкости колонны:

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

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

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

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

$$e_{a(x,y)} \geq 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-1654{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{14{,}0}{-1654{,}0}\right| = 0{,}008 \text{ м}$$

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

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

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

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

Окончательно принимается:

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

Коэффициенты k_b:

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

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

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}001173 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000029 = 10641{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000355 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000008 = 3053{,}2 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 10641{,}0}{2{,}256^2} = 20634{,}9 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 3053{,}2}{2{,}256^2} = 5920{,}8 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{1654{,}0}{20634{,}9}} = 1{,}087$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{1654{,}0}{5920{,}8}} = 1{,}388$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1{,}087 \cdot 0{,}0 = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1{,}388 \cdot 14{,}0 = 19{,}4 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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

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

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

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

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

$$D_{11} = 22587{,}4\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 7356{,}6\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

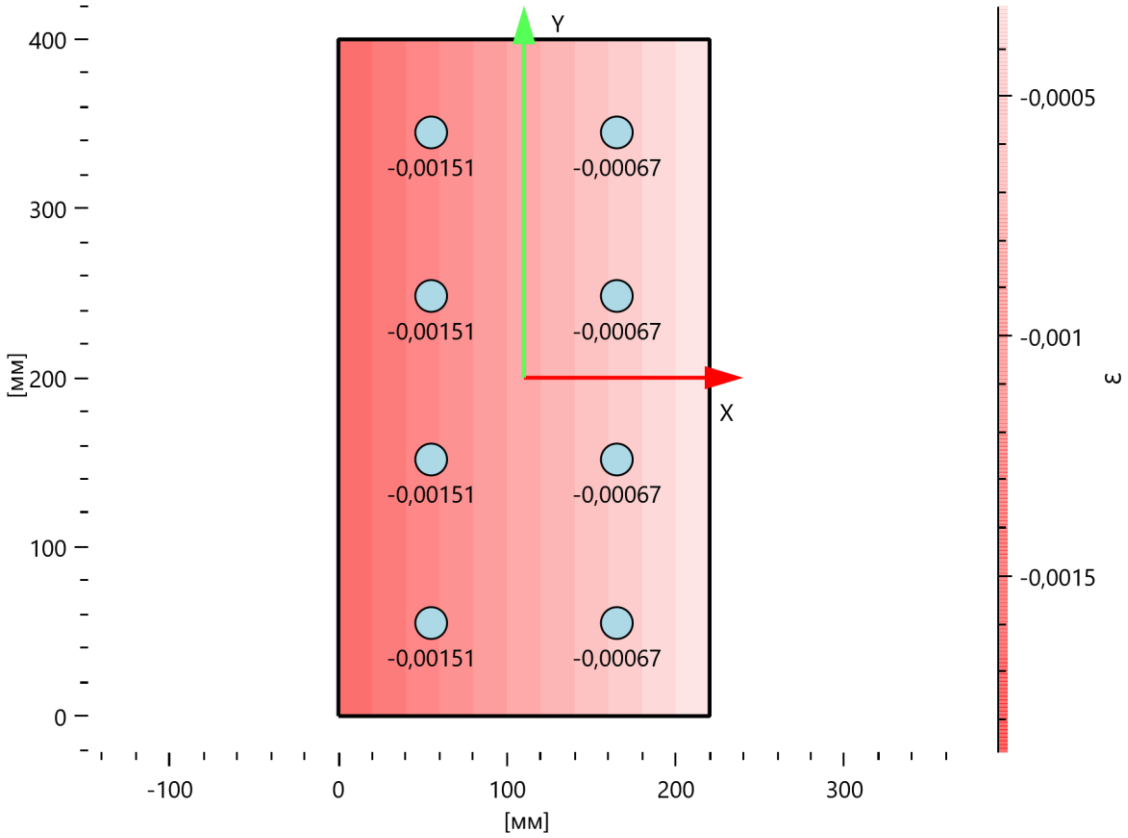
$$D_{12} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 33667{,}9\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 1755383{,}5\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

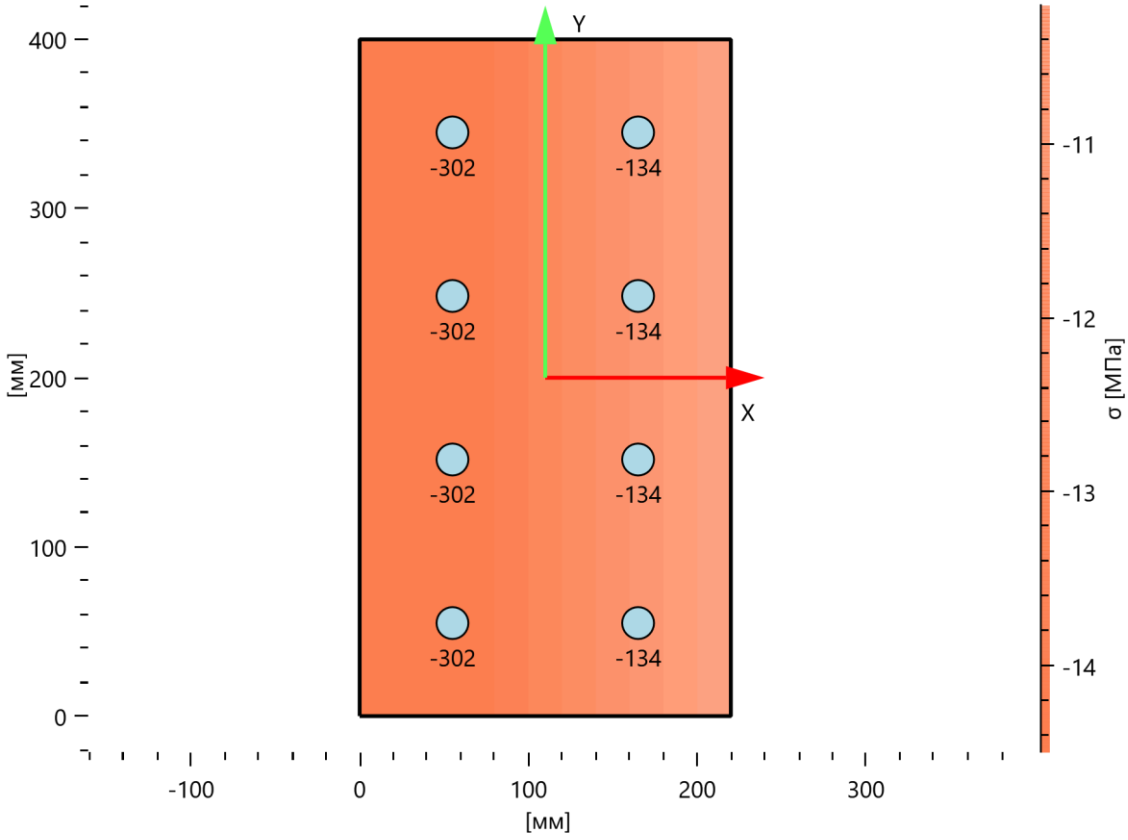
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00762183;\ \varepsilon_0 = -0{,}00108844$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}001851$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000326}{-0{,}001851} = 0{,}003236$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001851| = 0{,}001851 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003236$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость		35.5	120
Деформации сжатия в бетоне		-1.85‰	-3.24‰
Деформации растяжения в арматуре		0.00‰	25.00‰
Процент использования по N		87%	
Процент использования по Mx		0%	
Процент использования по My		50%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 200ММ В/О 3.1-3.2/3.В С ОТМ. +4.250...+46.250 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 $N = -1958{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 7{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

- Бетон класса 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 - 2xØ16, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 4xØ16, 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:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-1958{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{7{,}0}{-1958{,}0}\right| = 0{,}004 \text{ м}$$

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

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

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

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

Окончательно принимается:

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

Коэффициенты k_b:

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

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

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

$$D_x = k_{b,x}E_bI_x + k_{s,x}E_sI_{s,x} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}003600 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000069 = 29756{,}8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}175 \cdot 32500000 \cdot 0{,}000400 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000005 = 3001{,}7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 29756{,}8}{2{,}256^2} = 57704{,}3 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 3001{,}7}{2{,}256^2} = 5820{,}8 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{1958,0}{57704,3}} = 1,035$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{1958,0}{5820,8}} = 1,507$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1,035 \cdot 0,0 = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1,507 \cdot 7,0 = 10,5 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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

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

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

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

$$D_{11} = 63086,4 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 6419,7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

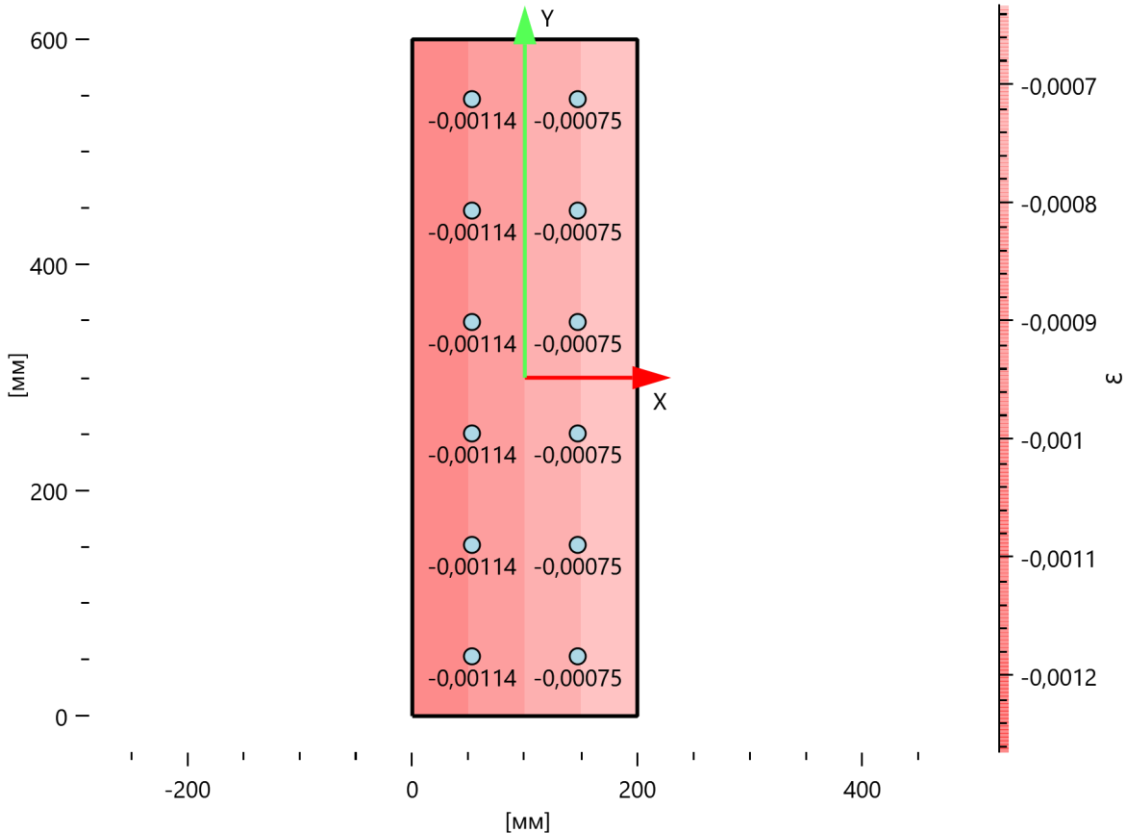
$$D_{12} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 16802,7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 2137497,4 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

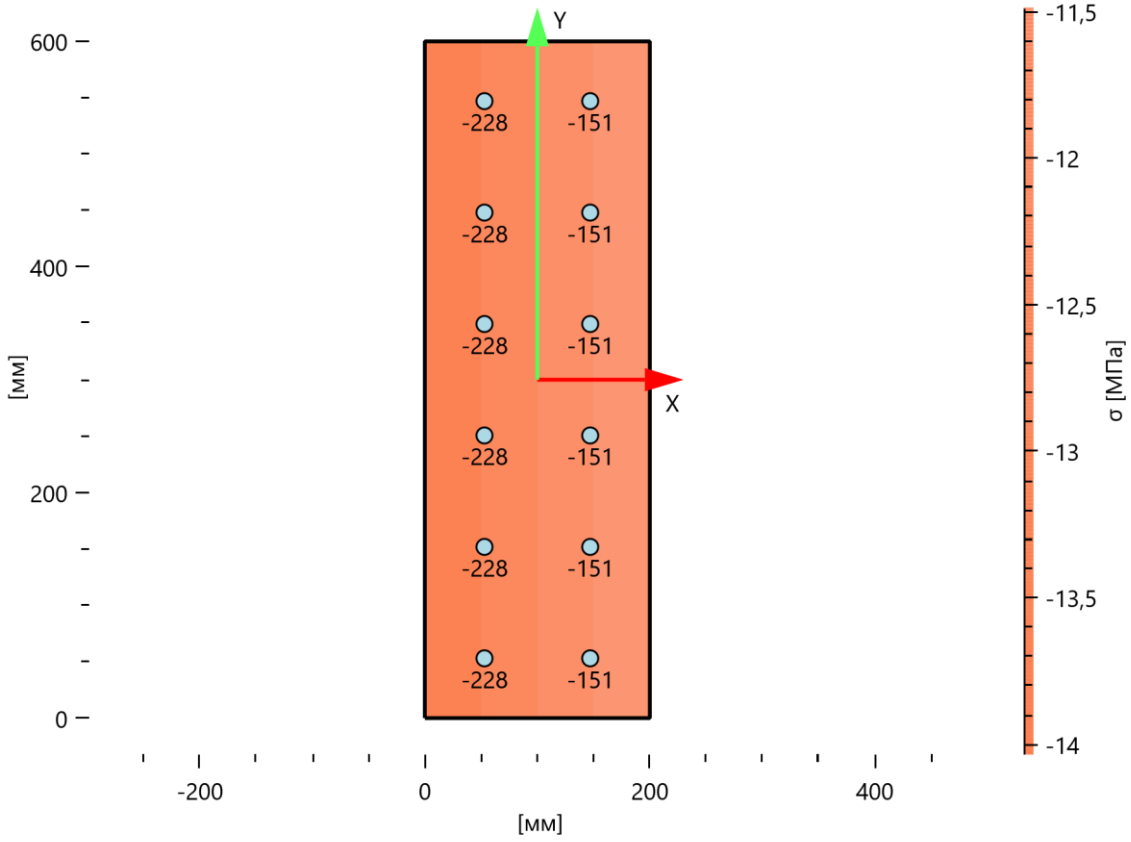
$$\frac{1}{r_x} = 0,00000000; \frac{1}{r_y} = 0,00412555;\ \varepsilon_0 = -0,00094846$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0,001258$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



						17-0121-ОК-1-П-КР4.6	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		140

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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000639}{-0{,}001258} = 0{,}002738$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001258| = 0{,}001258 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}002738$$

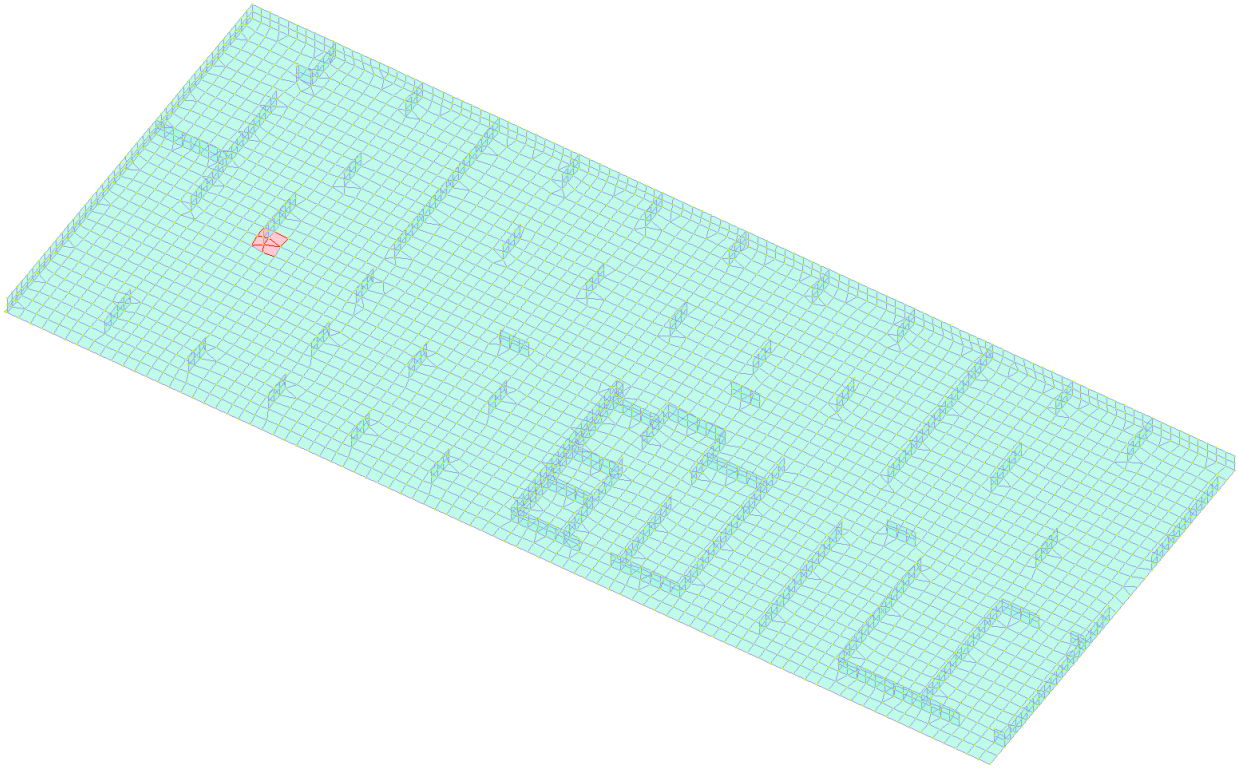
выполняется, то прочность сечения обеспечена.

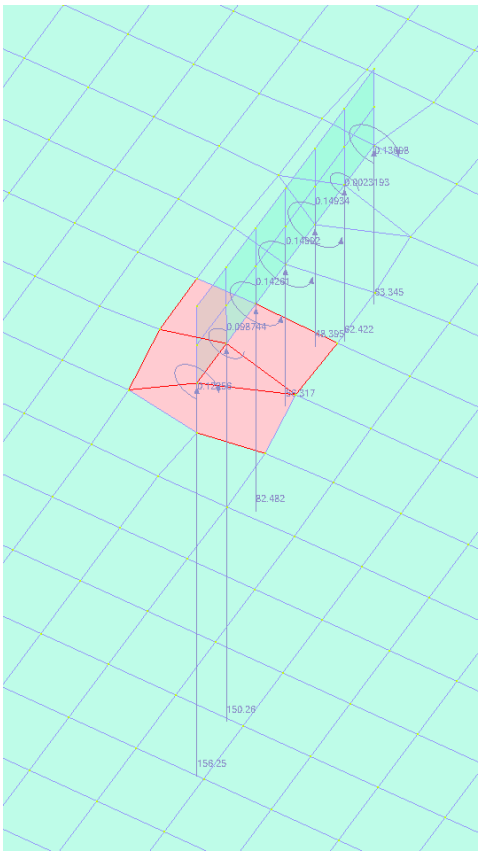
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	39.1	120	
Деформации сжатия в бетоне	-1.26‰	-2.74‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	81%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	24%		

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 3.4/3.В-3.Б на отм. -7.200

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Ширина сечения $b_1 = 25$ см $= 0.25$ м
- Толщина плиты $h = 80$ см $= 0.8$ м
- Защитный слой арматуры по направлению X $a_x = 5$ см $= 0.05$ м
- Защитный слой арматуры по направлению Y $a_y = 5$ см $= 0.05$ м
- Класс бетона B30 $R_{bt} = 1150$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы бетона $\gamma_b = 1$
- Класс арматуры A500 $R_{sw} = 300000$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы арматуры $\gamma_s = 1.0$
- Диаметр поперечной арматуры $d_s = 10$ мм $= 0.01$ м
- Количество стержней поперечной арматуры $n_s = 18$
- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 100$ мм $= 0.1$ м
- Продольная сила $N_{sup} = 3885$ кН;
- Изгибающий момент , $M_{y,sup} = 17$ кНм
- Нагрузка на перекрытие $q_{int} = 230$ кН/м^2

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

$$h_{0x} = h - a_x = 0.8 - 0.05 = 0.75 \text{ м}$$

$$h_{0y} = h - a_y = 0.8 - 0.05 = 0.75 \text{ м}$$

$$h_0 = 0.5\left(h_{0x} + h_{0y}\right) = 0.5(0.75 + 0.75) = 0.75 \text{ м}$$

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

$$F_q = q_{int} A_q$$

$$A_q = (b_1 + h_0)\left(b_1 + \frac{h_0}{2}\right) = (0.25 + h_0)\left(0.25 + \frac{h_0}{2}\right) = 0.625 \text{ м}^2$$

$$F_q = q_{int} A_q = 230 \cdot 0.625 = 143.75 \text{ кН}$$

$$F = N_{sup} - F_q = 3885 - 143.75 = 3741.25 \text{ кН}$$

$$M_y = \frac{M_{y,sup}}{2} = \frac{17}{2} = 8.5 \text{ кНм}$$

$$b = b_1 + h_0 = 0.25 + 0.75 = 1 \text{ м}$$

$$a = b_1 + h_0 = 0.25 + 0.75 = 1 \text{ м}$$

$$U_b = b + 2a = 1 + 2 \cdot 1 = 3 \text{ м}$$

$$F_{b,ult} = R_{bt}\gamma_b U_b h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 0.75 = 2587.5 \text{ кН}$$

$$M_{b,y,ult} = R_{bt}\gamma_b W_{by} h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 5.0000E-001 \cdot 0.75 = 431.25 \text{ кНм}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} = \frac{3741.25}{2587.5} = 1.446$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = \frac{8.5}{431.25} = 0.02$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 1.446 + 0.02 = 1.466$$

Коэффициент использования $1.466 > 1$, установка поперечной арматуры требуется

$$U_s = U_b = 3 \text{ м}$$

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

$$F_{sw,ult} = 0.8q_{sw}U_s = 0.8 \cdot 4241.15 \cdot 3 = 10178.76 \text{ кН}$$

Условие $F_{sw,ult} = 10178.8\text{кН} \geq 0.25F_{b,ult} = 646.9\text{кН}$ выполняется.

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 2587.5 + 10178.76 = 12766.26 \text{ кН}$$

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 12766.26 > 2F_{b,ult} = 2 \cdot 2587.5 = 5175 \Rightarrow F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 5175 \text{ кН}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{3741.25}{5175} = 0.723$$

$$W_{sw,y} = W_{by} = 5.0000E-001 \text{ м}^2$$

$$M_{sw,y,ult} = 0.8q_{sw}W_{sw,y} = 0.8 \cdot 4241.15 \cdot 5.0000E-001 = 1696.46 \text{ кНм}$$

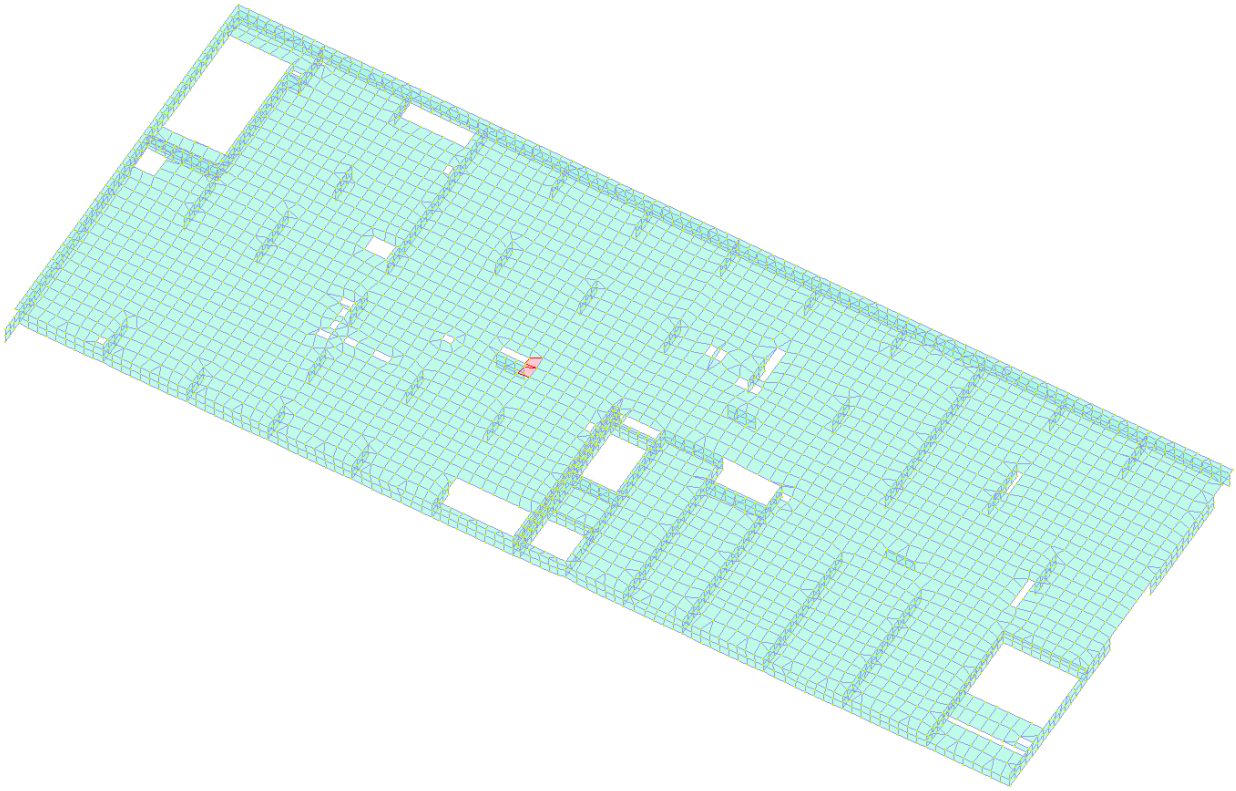
$$M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult} = 431.25 + 1696.46 = 2127.71 \text{ кНм}$$

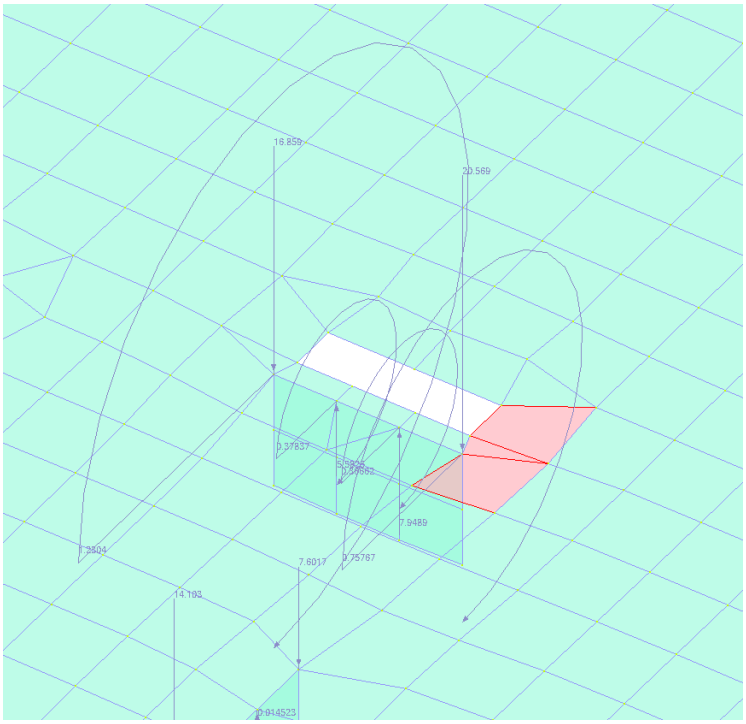
$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{8.5}{862.5} = 0.01$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.723 + 0.01 = 0.733$$

Коэффициент использования составляет $K = 0.733$. Условие прочности выполняется

4.1. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПЛИТЫ НА ОТМ. -0.650, -0.500





Расчет на продавливание согласно СП 63.13330.2018.

Конструкция - плита, крайняя стена в/о 3.3/3.Е на отм. -0.500

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Ширина сечения $b_1 = 25$ см $= 0.25$ м
- Расстояние от края плиты до грани $c_x = 1$ см $= 0.01$ м
- Толщина плиты $h = 20$ см $= 0.2$ м
- Защитный слой арматуры по направлению X $a_x = 3$ см $= 0.03$ м
- Защитный слой арматуры по направлению Y $a_y = 4$ см $= 0.04$ м
- Класс бетона В30 $R_{bt} = 1150$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы бетона $\gamma_b = 1$
- Класс арматуры А500 $R_{sw} = 300000$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы арматуры $\gamma_s = 1.0$
- Диаметр поперечной арматуры $d_s = 8$ мм $= 0.008$ м
- Количество стержней поперечной арматуры $n_s = 18$
- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 50$ мм $= 0.05$ м
- Продольная сила $N_{sup} = 128$ кН;
- Изгибающий момент , $M_{y,sup} = 11$ кНм

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

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

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

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

$$F = N_{sup} = 128 \text{ кН}$$

$$M_y = \frac{M_{y,sup}}{2} = \frac{11}{2} = 5.5 \text{ кНм}$$

$$b = b_1 + \frac{h_0}{2} + c_x = 0.25 + \frac{0.165}{2} + 0.01 = 0.343 \text{ м}$$

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

$$U_b = a + b = 0.415 + 0.343 = 0.758 \text{ м}$$

$$x_0 = \frac{0.5a^2}{a + b} = \frac{0.5 \cdot 0.415^2}{0.415 + 0.343} = 0.077 \text{ м}$$

$$y_0 = \frac{0.5b^2}{a + b} = \frac{0.5 \cdot 0.343^2}{0.415 + 0.343} = 0.114 \text{ м}$$

$$x = \frac{b_1 + h_0}{2} = \frac{0.25 + 0.165}{2} = 0.208 \text{ м}$$

$$y = \frac{2b_1 + 3h_0}{4} = \frac{2 \cdot 0.25 + 3 \cdot 0.165}{4} = 0.249 \text{ м}$$

$$e_x = |x_0 - x| = |0.077 - 0.208| = 0.13 \text{ м}$$

$$e_y = |y_0 - y| = |0.114 - 0.249| = 0.135 \text{ м}$$

$$M_x = M_x - F * e_x = 0 - 128 * 0.13 = -16.649 \text{ кНм}$$

$$M_y = M_y - F * e_y = 5.5 - 128 * 0.135 = -11.789 \text{ кНм}$$

$$I_{bx} = \frac{b^3}{12} + b\left(\frac{b}{2} - x_0\right)^2 + a(b - x_0)^2 = \frac{0.343^3}{12} + 0.343\left(\frac{0.343}{2} - 0.077\right)^2 + 0.415(0.343 - 0.077)^2$$
$$= 3.5522E - 002 \text{ м}^3$$

$$W_{bx} = Min\left(\frac{I_{bx}}{x_0}; \frac{I_{bx}}{b - x_0}\right) = Min\left(3.5522E - \frac{002}{0.077}; 3.5522E - \frac{002}{0.343 - 0.077}\right)$$
$$= Min(4.5876E - 001; 0.134008602078891) = 1.3401E - 001 \text{ м}^2$$

$$I_{by} = \frac{a^3}{12} + a\left(\frac{a}{2} - y_0\right)^2 + b(a - y_0)^2 = \frac{0.415^3}{12} + 0.415\left(\frac{0.415}{2} - 0.114\right)^2 + 0.343(0.415 - 0.114)^2$$
$$= 4.0706E - 002 \text{ м}^3$$

$$W_{by} = Min\left(\frac{I_{by}}{y_0}; \frac{I_{by}}{a - y_0}\right) = Min\left(4.0706E - \frac{002}{0.114}; 4.0706E - \frac{002}{0.415 - 0.114}\right)$$
$$= Min(0.358075; 0.135091931818182) = 1.3509E - 001 \text{ м}^2$$

$$F_{b,ult} = R_{bt}\gamma_b U_b h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 0.7575 \cdot 0.165 = 143.74 \text{ кН}$$

$$M_{b,x,ult} = R_{bt}\gamma_b W_{bx} h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 1.3401E - 001 \cdot 0.165 = 25.43 \text{ кНм}$$

$$M_{b,y,ult} = R_{bt}\gamma_b W_{by} h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 1.3509E - 001 \cdot 0.165 = 25.63 \text{ кНм}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} = \frac{128}{143.74} = 0.891$$

$$\frac{M_x}{M_{b,x,ult}} = \frac{16.65}{25.43} = 0.655$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = \frac{11.79}{25.63} = 0.46$$

$$\frac{M_x}{M_{b,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 0.655 + 0.46 = 1.115 > \frac{F}{2F_{b,ult}} = 0.445 \Rightarrow \frac{M_x}{M_{b,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 0.445$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_x}{M_{b,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 0.891 + 0.445 = 1.336$$

Коэффициент использования $1.336 > 1$, установка поперечной арматуры требуется

$$U_s = U_b = 0.758 \text{ м}$$

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

$$F_{sw,ult} = 0.8q_{sw}U_s = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 0.758 = 3289.78 \text{ кН}$$

Условие $F_{sw,ult} = 3289.8\text{кН} \geq 0.25F_{b,ult} = 35.9\text{кН}$ выполняется.

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 143.74 + 3289.78 = 3433.51 \text{ кН}$$

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 3433.51 > 2F_{b,ult} = 2 \cdot 143.74 = 287.47 \Rightarrow F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 287.47 \text{ кН}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{128}{287.47} = 0.445$$

$$W_{sw,x} = W_{bx} = 1.3401E - 001 \text{ м}^2$$

$$M_{sw,x,ult} = 0.8 q_{sw} W_{sw,x} = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 1.3401E - 001 = 581.99 \text{ кНм}$$

$$M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult} = 25.43 + 581.99 = 607.42 \text{ кНм}$$

$$\frac{M_x}{M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult}} = \frac{16.65}{50.86} = 0.327$$

$$W_{sw,y} = W_{by} = 1.3509E - 001 \text{ м}^2$$

$$M_{sw,y,ult} = 0.8 q_{sw} W_{sw,y} = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 1.3509E - 001 = 586.7 \text{ кНм}$$

$$M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult} = 25.63 + 586.7 = 612.33 \text{ кНм}$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{11.79}{51.27} = 0.23$$

$$\frac{M_x}{M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.223 + 0.223 = 0.223$$

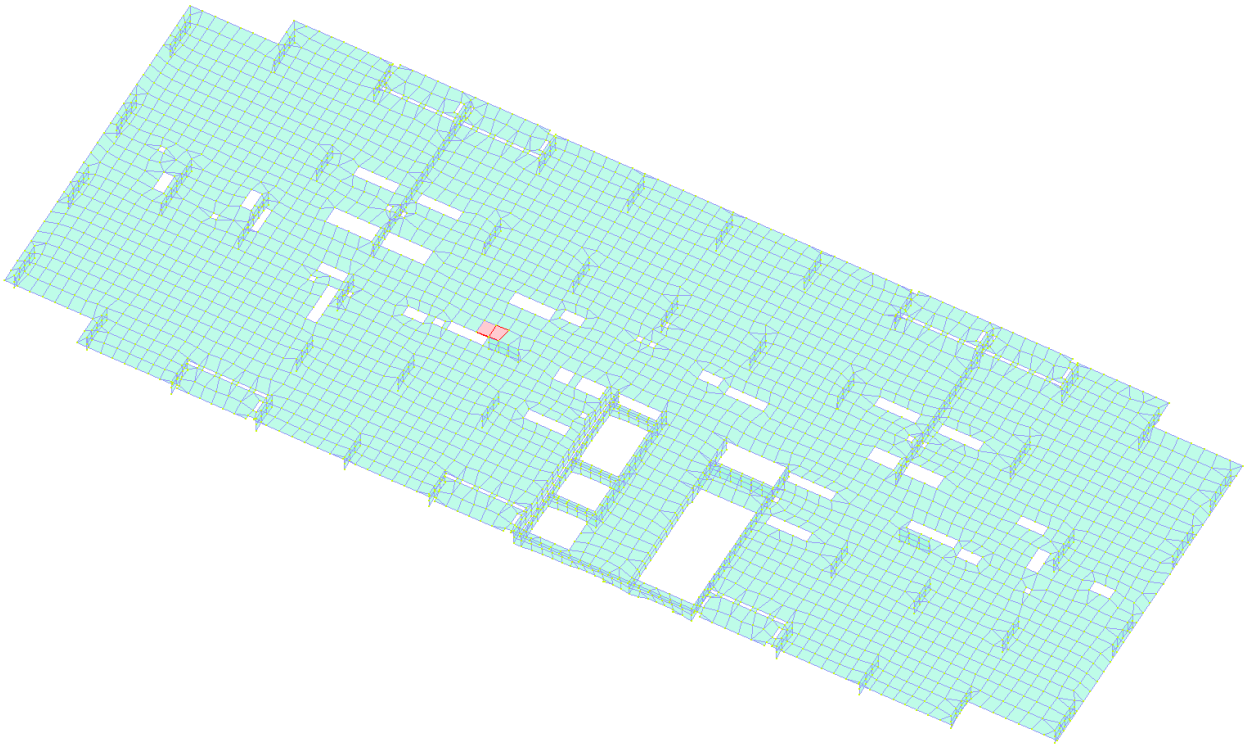
$$\frac{M_x}{M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.445 > \frac{F}{2\left(F_{b,ult} + F_{sw,ult}\right)} = \frac{0.445}{2} = 0.223$$

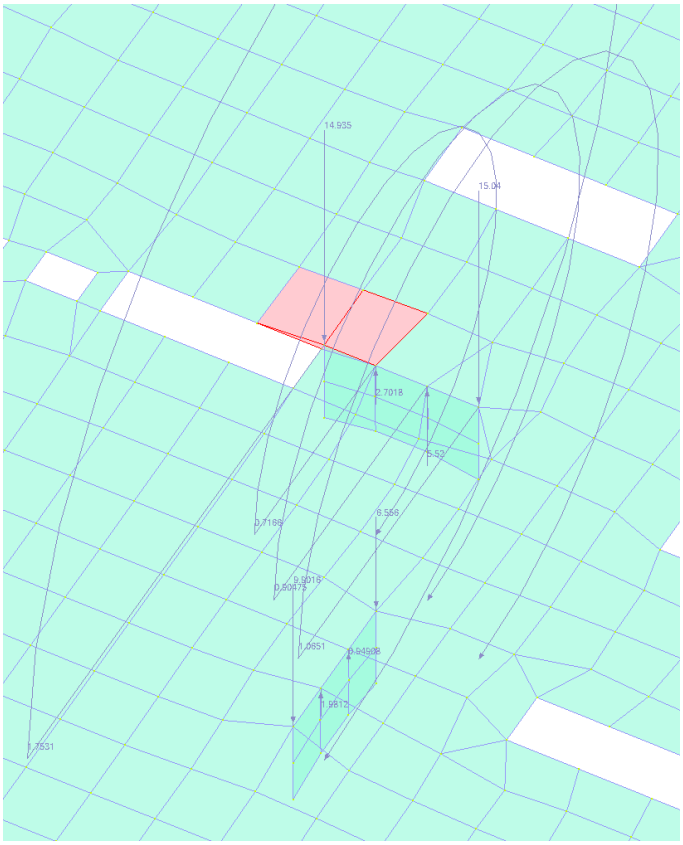
$$\Rightarrow \frac{M_x}{M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{F}{2\left(F_{b,ult} + F_{sw,ult}\right)} = 0.223$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_x}{M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.445 + 0.223 = 0.668$$

Коэффициент использования составляет $K = 0.668$. Условие прочности выполняется

4.2. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ТИПОВОЙ ПЛИТЫ С ОТМ. +4.250...+46.250





Расчет на продавливание согласно СП 63.13330.2018.

Конструкция - плита, крайняя стена в/о 3.3/3.Е-3.Д на отм. +4.250...+46.250

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Ширина сечения $b_1 = 20$ см $= 0.2$ м
- Расстояние от края плиты до грани $c_x = 1$ см $= 0.01$ м
- Толщина плиты $h = 18$ см $= 0.18$ м
- Защитный слой арматуры по направлению X $a_x = 3$ см $= 0.03$ м
- Защитный слой арматуры по направлению Y $a_y = 4$ см $= 0.04$ м
- Класс бетона В30 $R_{bt} = 1150$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы бетона $\gamma_b = 1$
- Класс арматуры А500 $R_{sw} = 300000$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы арматуры $\gamma_s = 1.0$
- Диаметр поперечной арматуры $d_s = 8$ мм $= 0.008$ м
- Количество стержней поперечной арматуры $n_s = 18$
- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 50$ мм $= 0.05$ м
- Продольная сила $N_{sup} = 122$ кН;
- Изгибающий момент , $M_{y,sup} = 24$ кНм

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

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

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

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

$$F = N_{sup} = 122 \text{ кН}$$

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

$$b = b_1 + \frac{h_0}{2} + c_x = 0.2 + \frac{0.145}{2} + 0.01 = 0.283 \text{ м}$$

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

$$U_b = a + b = 0.345 + 0.283 = 0.628 \text{ м}$$

$$x_0 = \frac{0.5a^2}{a + b} = \frac{0.5 \cdot 0.345^2}{0.345 + 0.283} = 0.064 \text{ м}$$

$$y_0 = \frac{0.5b^2}{a + b} = \frac{0.5 \cdot 0.283^2}{0.345 + 0.283} = 0.095 \text{ м}$$

$$x = \frac{b_1 + h_0}{2} = \frac{0.2 + 0.145}{2} = 0.173 \text{ м}$$

$$y = \frac{2b_1 + 3h_0}{4} = \frac{2 \cdot 0.2 + 3 \cdot 0.145}{4} = 0.209 \text{ м}$$

$$e_x = |x_0 - x| = |0.064 - 0.173| = 0.109 \text{ м}$$

$$e_y = |y_0 - y| = |0.095 - 0.209| = 0.114 \text{ м}$$

$$M_x = M_x - F * e_x = 0 - 122 * 0.109 = -13.287 \text{ кНм}$$

$$M_y = M_y - F * e_y = 12 - 122 * 0.114 = -1.897 \text{ кНм}$$

$$I_{bx} = \frac{b^3}{12} + b\left(\frac{b}{2} - x_0\right)^2 + a(b - x_0)^2 = \frac{0.283^3}{12} + 0.283\left(\frac{0.283}{2} - 0.064\right)^2 + 0.345(0.283 - 0.064)^2$$
$$= 2.0115E - 002 \text{ м}^3$$

$$W_{bx} = Min\left(\frac{I_{bx}}{x_0}; \frac{I_{bx}}{b - x_0}\right) = Min\left(2.0115E - \frac{002}{0.064}; 2.0115E - \frac{002}{0.283 - 0.064}\right)$$
$$= Min(3.1633E - 001; 0.0918890558054842) = 9.1889E - 002 \text{ м}^2$$

$$I_{by} = \frac{a^3}{12} + a\left(\frac{a}{2} - y_0\right)^2 + b(a - y_0)^2 = \frac{0.345^3}{12} + 0.345\left(\frac{0.345}{2} - 0.095\right)^2 + 0.283(0.345 - 0.095)^2$$
$$= 2.3181E - 002 \text{ м}^3$$

$$W_{by} = Min\left(\frac{I_{by}}{y_0}; \frac{I_{by}}{a - y_0}\right) = Min\left(2.3181E - \frac{002}{0.095}; 2.3181E - \frac{002}{0.345 - 0.095}\right)$$
$$= Min(0.244425; 0.0926666208791209) = 9.2667E - 002 \text{ м}^2$$

$$F_{b,ult} = R_{bt}\gamma_b U_b h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 0.6275 \cdot 0.145 = 104.64 \text{ кН}$$

$$M_{b,x,ult} = R_{bt}\gamma_b W_{bx} h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 9.1889E - 002 \cdot 0.145 = 15.32 \text{ кНм}$$

$$M_{b,y,ult} = R_{bt}\gamma_b W_{by} h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 9.2667E - 002 \cdot 0.145 = 15.45 \text{ кНм}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} = \frac{122}{104.64} = 1.166$$

$$\frac{M_x}{M_{b,x,ult}} = \frac{13.29}{15.32} = 0.867$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = \frac{1.9}{15.45} = 0.123$$

$$\frac{M_x}{M_{b,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 0.867 + 0.123 = 0.99 > \frac{F}{2F_{b,ult}} = 0.583 \Rightarrow \frac{M_x}{M_{b,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 0.583$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_x}{M_{b,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 1.166 + 0.583 = 1.749$$

Коэффициент использования $1.749 > 1$, установка поперечной арматуры требуется

$$U_s = U_b = 0.628 \text{ м}$$

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

$$F_{sw,ult} = 0.8q_{sw}U_s = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 0.628 = 2725.19 \text{ кН}$$

Условие $F_{sw,ult} = 2725.2\text{кН} \geq 0.25F_{b,ult} = 26.2\text{кН}$ выполняется.

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 104.64 + 2725.19 = 2829.83 \text{ кН}$$

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 2829.83 > 2F_{b,ult} = 2 \cdot 104.64 = 209.27 \Rightarrow F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 209.27 \text{ кН}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{122}{209.27} = 0.583$$

$$W_{sw,x} = W_{bx} = 9.1889E - 002 \text{ м}^2$$

$$M_{sw,x,ult} = 0.8 q_{sw} W_{sw,x} = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 9.1889E - 002 = 399.07 \text{ кНм}$$

$$M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult} = 15.32 + 399.07 = 414.39 \text{ кНм}$$

$$\frac{M_x}{M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult}} = \frac{13.29}{30.65} = 0.434$$

$$W_{sw,y} = W_{by} = 9.2667E - 002 \text{ м}^2$$

$$M_{sw,y,ult} = 0.8 q_{sw} W_{sw,y} = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 9.2667E - 002 = 402.45 \text{ кНм}$$

$$M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult} = 15.45 + 402.45 = 417.9 \text{ кНм}$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{1.9}{30.9} = 0.061$$

$$\frac{M_x}{M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.291 + 0.061 = 0.291$$

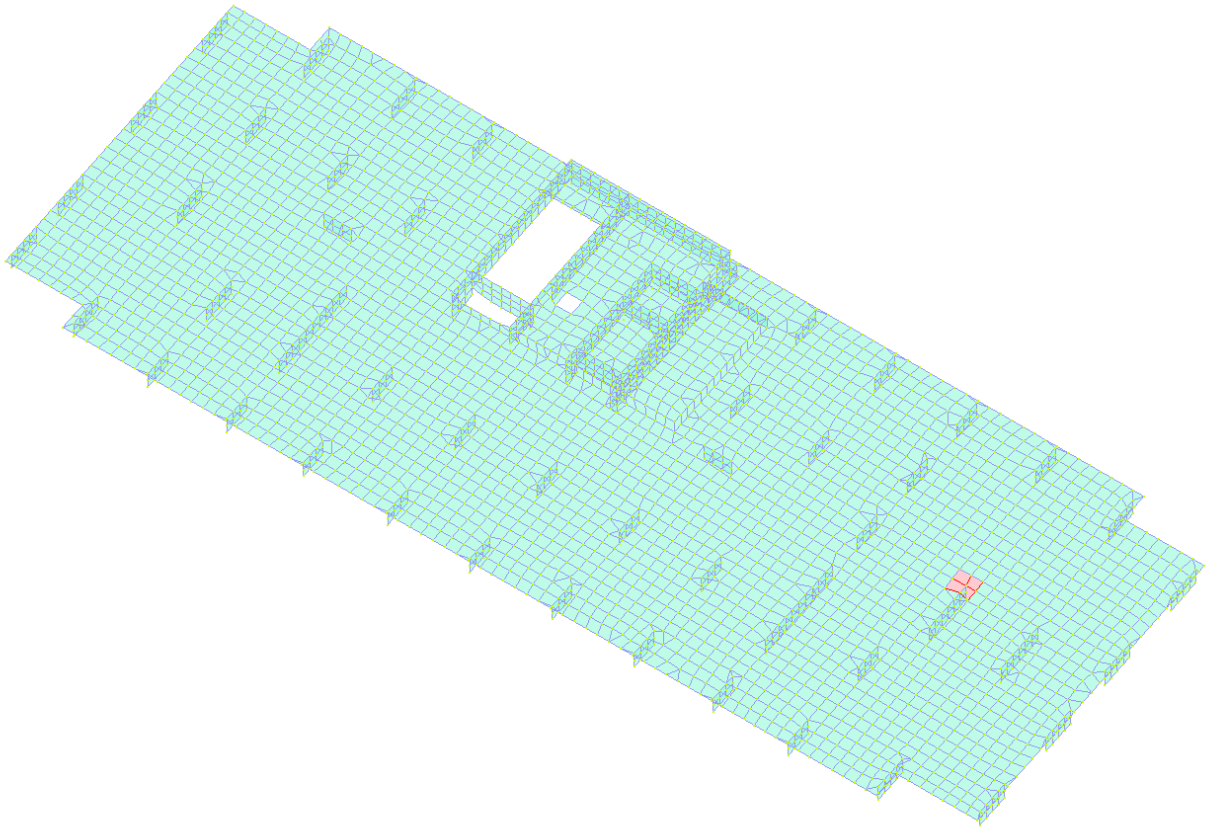
$$\frac{M_x}{M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.353 > \frac{F}{2\left(F_{b,ult} + F_{sw,ult}\right)} = \frac{0.583}{2} = 0.291$$

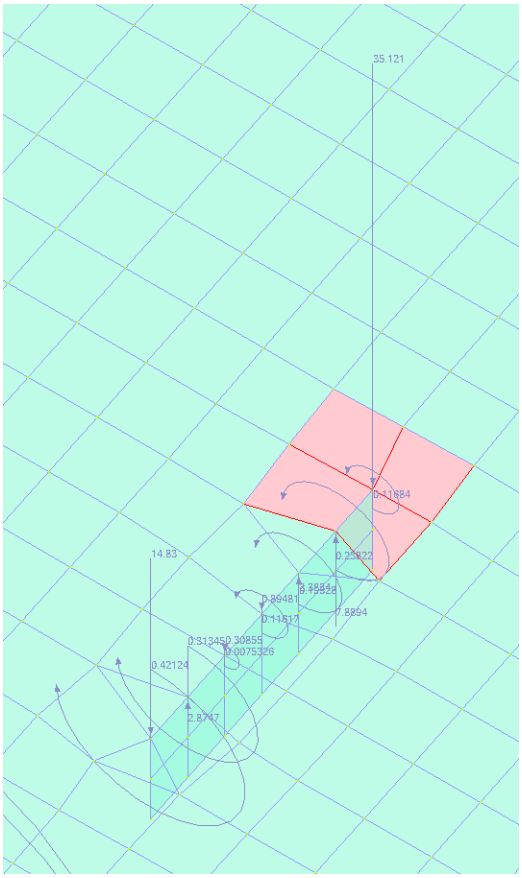
$$\Rightarrow \frac{M_x}{M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{F}{2\left(F_{b,ult} + F_{sw,ult}\right)} = 0.291$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_x}{M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.583 + 0.291 = 0.874$$

Коэффициент использования составляет $K = 0.874$. Условие прочности выполняется

4.3. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ ОТМ. +48.250





Расчет на продавливание согласно СП 63.13330.2018.

Конструкция - плита, рядовая стена в/о 3.3/3.В-3.Б на отм. +48.250

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 $N_{sup} = 272$ кН;
- Изгибающий момент , $M_{y,sup} = 11$ кНм

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

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

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

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

$$F = N_{sup} = 272 \text{ кН}$$

$$M_y = \frac{M_{y,sup}}{2} = \frac{11}{2} = 5.5 \text{ кНм}$$

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

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

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

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

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

$$\frac{F}{F_{b,ult}} = \frac{272}{207.78} = 1.309$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = \frac{5.5}{12.64} = 0.435$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 1.309 + 0.435 = 1.744$$

Коэффициент использования $1.744 > 1$, установка поперечной арматуры требуется

$$U_s = U_b = 1.095 \text{ м}$$

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

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

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

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

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

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{272}{415.55} = 0.655$$

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

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

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

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{5.5}{25.28} = 0.218$$

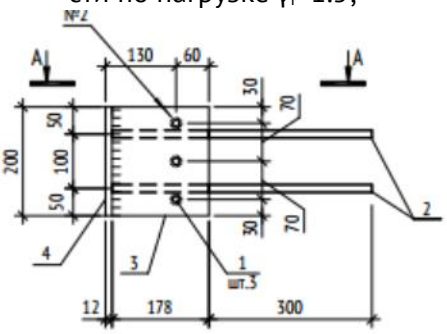
$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.655 + 0.218 = 0.872$$

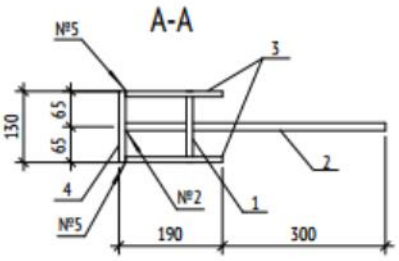
Коэффициент использования составляет $K = 0.872$. Условие прочности выполняется

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:

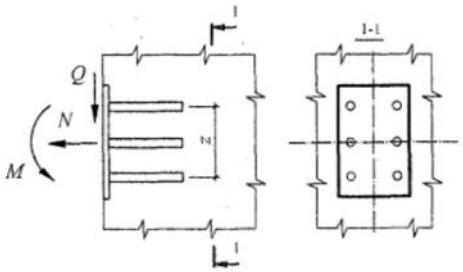
- На краю панели в пилонах и стенах N=1.3 т.с без учёта коэффициента надёжности по нагрузке γ_f=1.5, моментная составляющая 0.13 тм без учёта коэффициента надёжности по нагрузке γ_f=1.5;





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

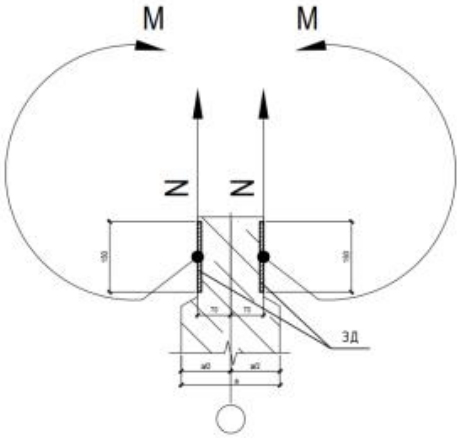
Расчетное сопротивление стали на срез(по СП 16.13330):

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

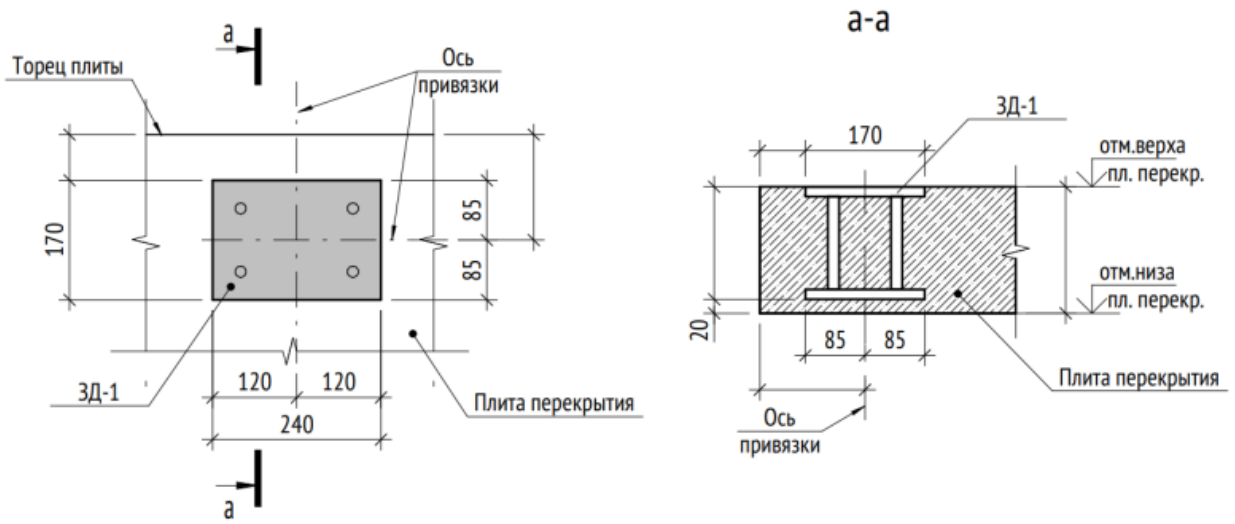
$$t \geq 0,25 d_{an}\frac{R_s}{R_{sq}} = 0.87 \text{ см}$$

Проверочный расчёт закладной детали в перекрытии

Исходные данные:

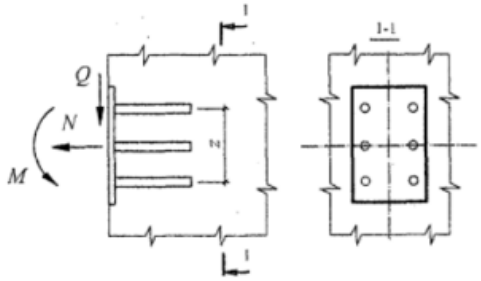
Расчётная нагрузка на панели с пролётом в осях 7м с учётом пиковой ветровой нагрузки для проектирования закладных деталей на пилонах и стенах, в перекрытиях для навесных панелей с применёнными узлами равна:

- 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

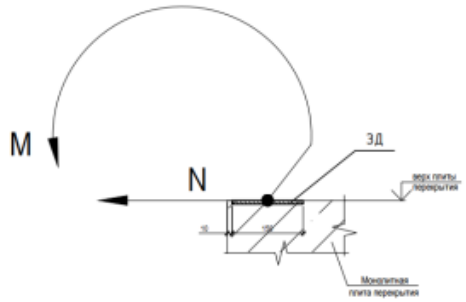
Расчетное сопротивление стали на срез(по СП 16.13330):

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

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

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

-толщина пластины закладной детали

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

6. ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТОВ

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА КОРПУСА 3 СЕКЦИЯ 6

№ П/П	ПОКАЗАТЕЛЬ	ЗНАЧЕНИЕ ПОЛУЧЕННОЕ ПО РАСЧЕТУ	ПРЕДЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ	ПРИМЕЧАНИЕ
1	Средняя осадка фундаментной плиты отм. −7.200, мм	60.8	150	СП 22.13330.2016, прил. Г, табл. Г.1
2	Среднее давление под подошвой фундамента, т/м2	27.9	-	
3	Расчетное сопротивление грунта, т/м2	77.3	-	СП 22.13330.2016, п. 5.6.7
4	Относительная разность осадок фундамента, $\Delta s/L$	0.0012	0.003	СП 22.13330.2016, прил. Г, табл. Г.1
5	Максимальный прогиб плиты перекрытия толщ. 200мм в/о 3.В/3.2-3.2 на отм. -0.500, мм	8.0	5605/200=28.0	СП 20.13330.2016, табл. Д.1, п. 2
6	Максимальный прогиб плиты перекрытия толщ. 180мм в/о 3.В/3.2-3.3 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, мм	9.1	5650/200=28.0	СП 20.13330.2016, табл. Д.1, п. 2
7	Максимальный прогиб плиты покрытия толщ. 200мм в/о 3.В/3.2-3.3 на отм. +48,250, мм	12.9	5650/200=28.2	СП 20.13330.2016, табл. Д.1, п. 2
8	Горизонтальное перемещение верха здания по оси X, мм	35.8	55250/500=110.5	СП 20.13330.2016, табл. Д.4, п. 1
9	Горизонтальное перемещение верха здания по оси Y, мм	72.8	55250/500=110.5	СП 20.13330.2016, табл. Д.4, п. 1
10	Максимальное ускорение верхнего этажа по оси X, м/с2	0.051	0.08	СП 20.13330.2016, В.3

11	Максимальное ускорение верхнего этажа по оси Y, м/с2	0.014	0.08	СП 20.13330.2016, В.3
12	Максимальный коэффициент использования сечения фундаментной плиты в/о 3.4/3.В-3.Б отм. −7.200 при расчете на продавливание (с учетом поперечной арматуры)			0.733
13	Максимальный коэффициент использования сечения фундаментной плиты в/о о 3.Ж/3.2-3.3 на отм. -7.200 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)			0.754
14	Максимальный коэффициент использования сечения плиты перекрытия толщ. 200мм в/о 3.3/3.Е на отм. -0.650, -0.500 при расчете на продавливание (с учетом поперечной арматуры)			0.668
15	Максимальный коэффициент использования сечения плиты толщ. 200мм в/о 3.В/3.2-3.2 на отм. -0.500 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)			0.942
16	Максимальный коэффициент использования сечения плиты перекрытия толщ. 180мм в/о 3.3/3.Е-3.Д отм. +4.250…+46.250 при расчете на продавливание (с учетом поперечной арматуры)			0.874
17	Максимальный коэффициент использования сечения плиты толщ. 180мм в/о 3.В/3.2-3.3 на отм. +4.250…+46.250 при расчете по прочности с уче-том раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)			0.755
18	Максимальный коэффициент использования сечения плиты покрытия толщ. 200мм в/о 3.3/3.В-3.Б на отм. +48.250 при расчете на продавливание (с учетом поперечной арматуры)			0.872
19	Максимальный коэффициент использования сечения плиты толщ. 200мм в/о 3.В/3.2-3.3 на отм. +48.250 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)			0.806
20	Максимальный коэффициент использования стен в/о 3.3/3.В-3.Б на отм. -7.200 толщиной 250мм (по критическому фактору)			0.89
21	Максимальный коэффициент использования наружной стены подвала в/о 3.Н/3.М-3.6 на отм. -7.200 толщиной 250мм (по критическому фактору)			0.66
22	Максимальный коэффициент использования стен в/о 3.4/3.Т на отм. -7.200 толщиной 220мм (по критическому фактору)			0.87

23	Максимальный коэффициент использования стен в/о 3.3/3.К на отм. -7.200 толщиной 200мм (по критическому фактору)	0.89
24	Максимальный коэффициент использования стен в/о 3.1-3.2/3.В на отм. -0.500 толщиной 250мм (по критическому фактору)	0.75
25	Максимальный коэффициент использования стен в/о 3.5-3.6/3.Л на отм. -0.650 толщиной 220мм (по критическому фактору)	0.76
26	Максимальный коэффициент использования стен в/о 3.3/3.К-3.И на отм. -0.650 толщиной 200мм (по критическому фактору)	0.69
27	Коэффициент использования стен в/о 3.1-3.2/3.Б на отм. +4.250...+46.250 толщиной 220мм (по критическому фактору)	0.87
28	Коэффициент использования стен в/о 3.1-3.2/3.В на отм. +4.250...+46.250 толщиной 200мм (по критическому фактору)	0.81

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.