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 7

17-0121-ОК-1-П-КР4.7

Том 4.4.7

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 7

17-0121-ОК-1-П-КР4.7

Том 4.4.7

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 7

17-0121-ОК-1-П-КР4.7
Том 4.4.7

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 7

17-0121-ОК-1-П-КР
4.7 Том 4.4.7

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

Главный инженер проекта — Першин Н.Н.

2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. РАСЧЕТ КОРПУСА К3 СЕК.7 2

1.1. ПОСАДКА НА ГЕОЛОГИЮ 3

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

1.3. НАГРУЗКИ НА МОДЕЛЬ, КОЭФФИЦИЕНТЫ РСУ И РСН 12

1.4. ЖЕСТКОСТИ, ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, УСКОРЕНИЯ 31

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

2.1. РАСЧЕТ ПЛИТ НА ОТМ. -0.850 (ПЛИТА НАД ПОДВАЛОМ) 55

2.2. РАСЧЕТ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ НА ОТМ. +4.250, +7.250, +10.250, +13.250, +16.250, +19.250, +22.250, +25.250, +26.900, +28.250, +31.250, +34.250, +37.250, +40.250, +43.250, +46.250, +49.250, +52.250, +55.250, +58.250, +61.250, +64.250, +67.250, +70.250, +73.250 (ТИПОВОЙ ЭТАЖ) 66

2.3. РАСЧЕТ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ НА ОТМ. +75.250 77

3. РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ОТМ. -7.200 88

3.1. РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ОТМ. -0.850 112

3.2. РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ОТМ. +4.250 131

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

4.1. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПЛИТЫ НА ОТМ. -0.850 148

4.2. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ТИПОВОЙ ПЛИТЫ С ОТМ. +4.250...+73.250 151

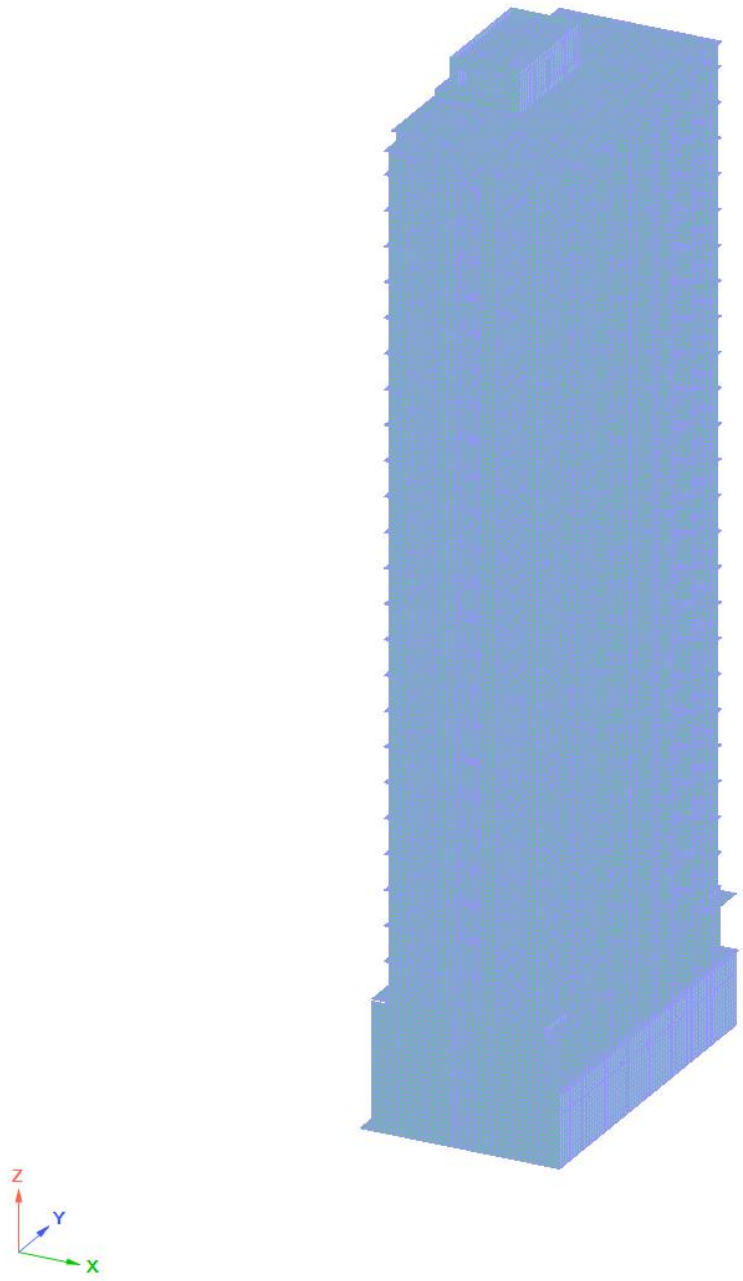
4.3. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ ОТМ. +75.250 155

5. РАСЧЕТ ЗАКЛАДНОЙ ДЕТАЛИ 158

6. ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТОВ 162

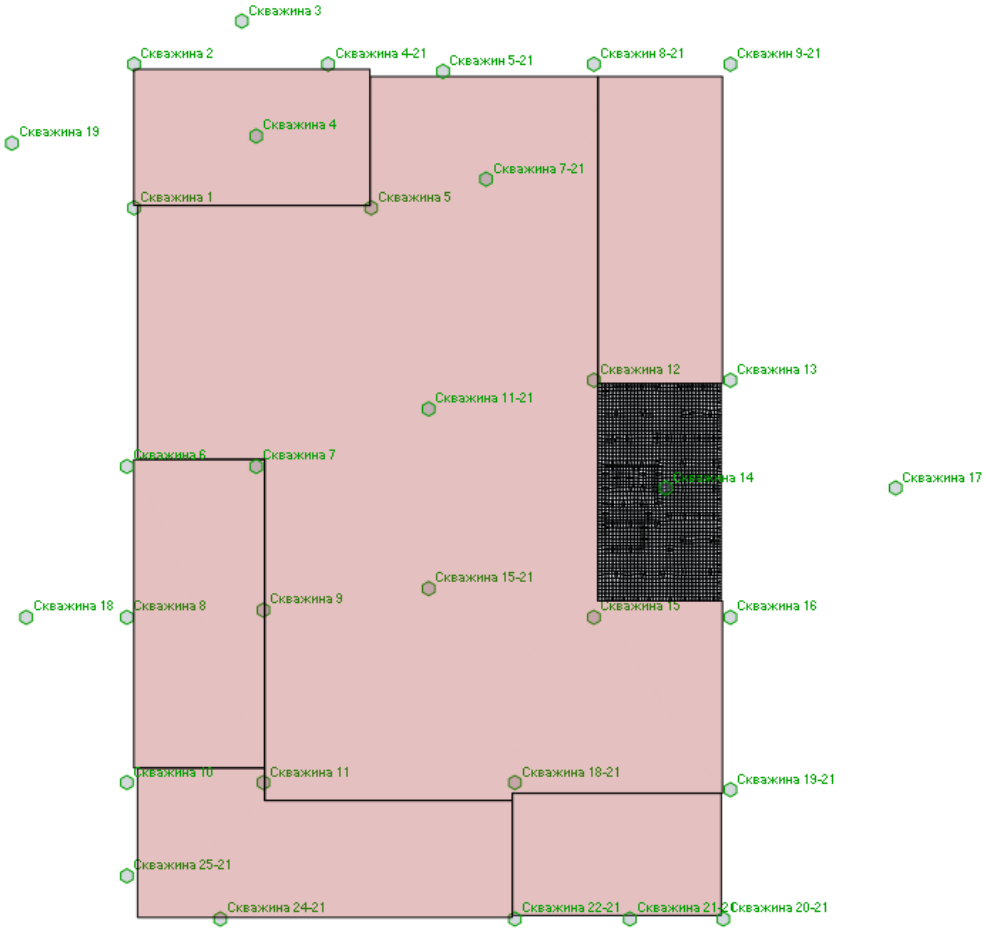
1. РАСЧЕТ КОРПУСА К3 сек.7

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)

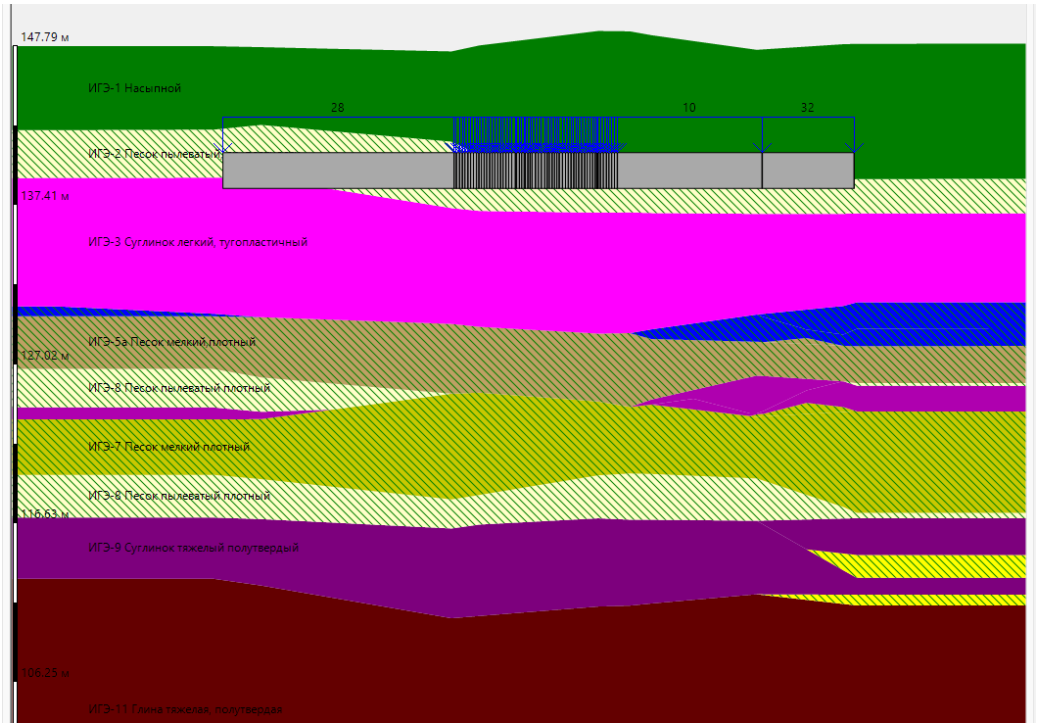


Общий вид здания

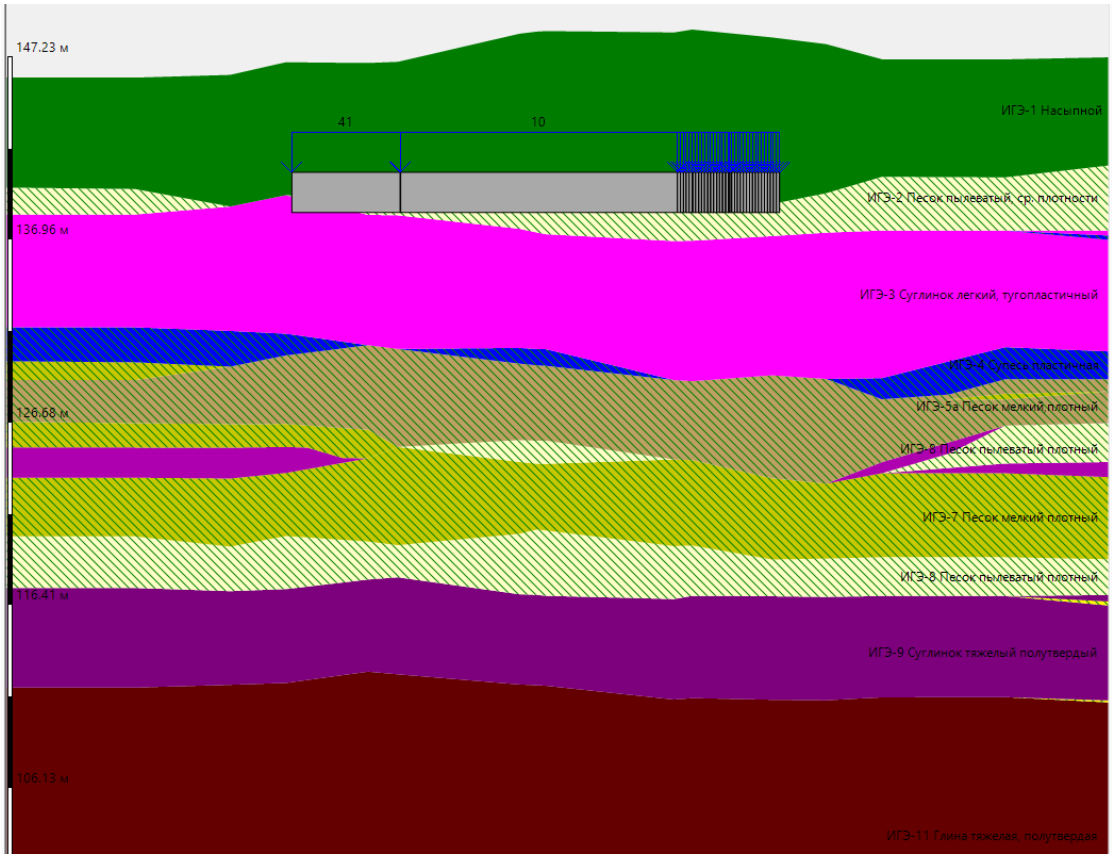
1.1. ПОСАДКА НА ГЕОЛОГИЮ



План скважин



Разрез по скв. 12/15

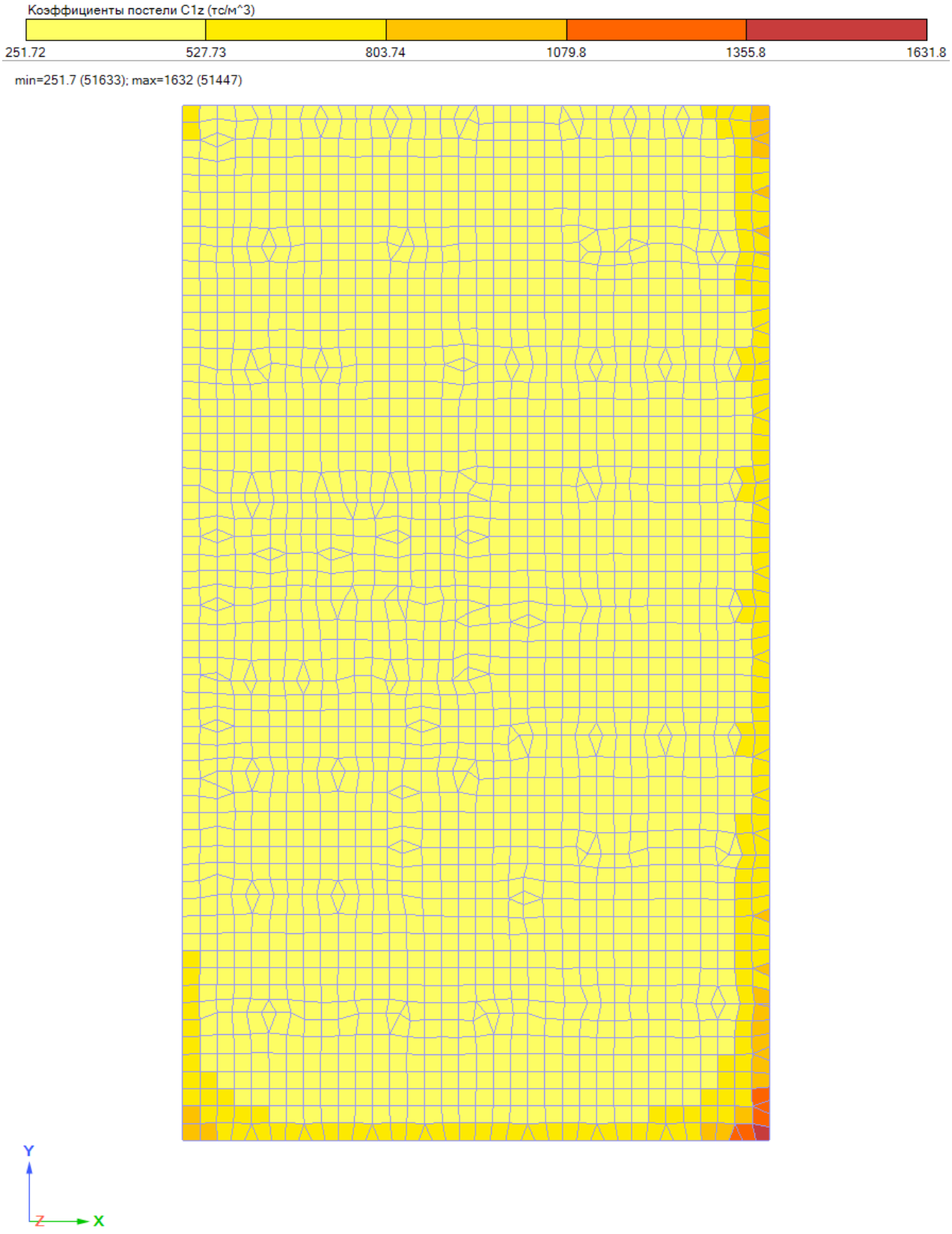


Разрез по скв. 15/16

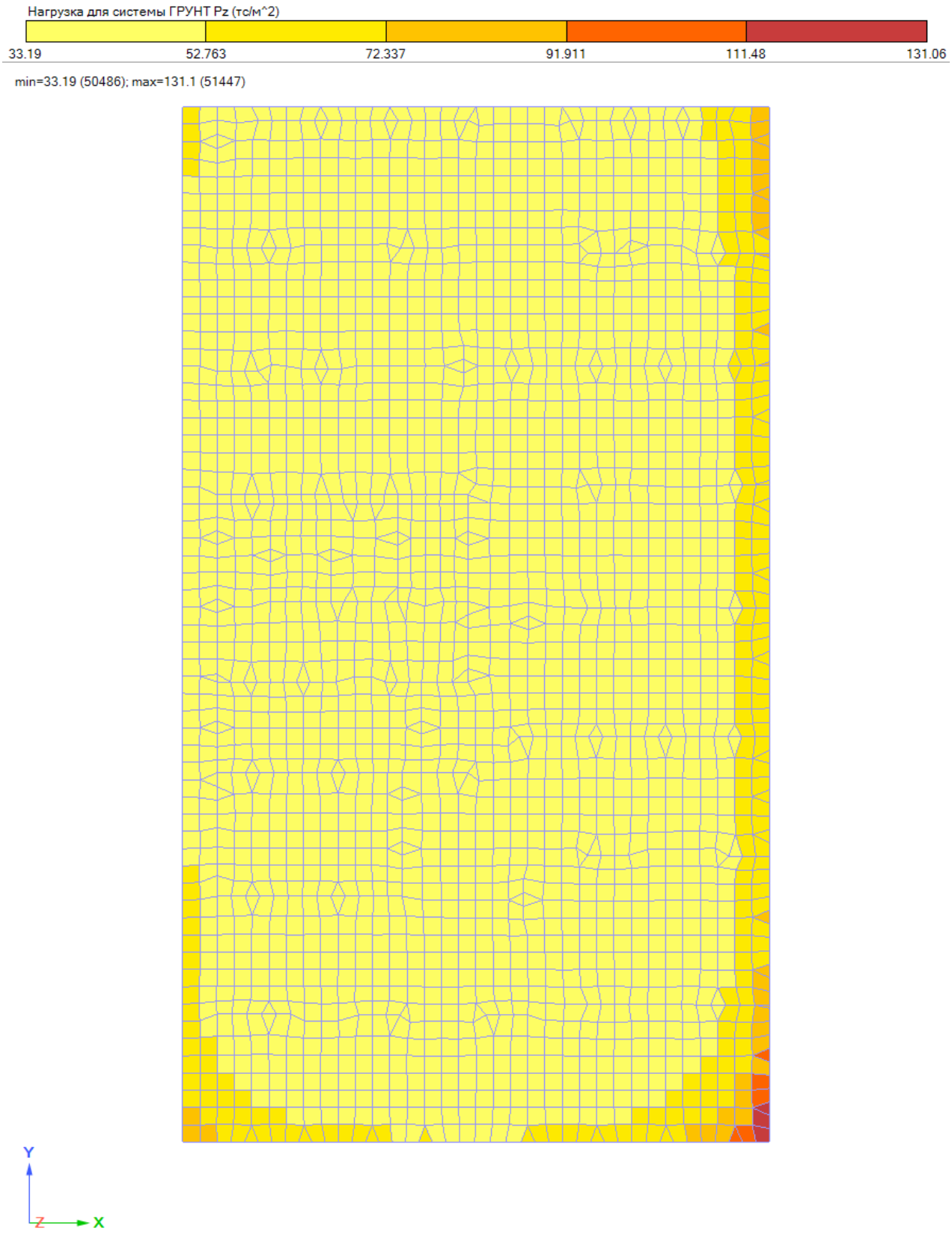
№	Усл. обозн	Наименование грунта	Насыпной грунт	Цвет	Модуль деформации, тс/м^2	Коэффициент Пуассона	Удельный вес грунта, тс/м^3 γ I	Удельный вес грунта, тс/м^3 γ II	Коэффициент перехода ко 2 модулю деформации	Природная влажность, д.е.	Показатель текучести	Вода	Коэффициент пористости	Удельное сцепление,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

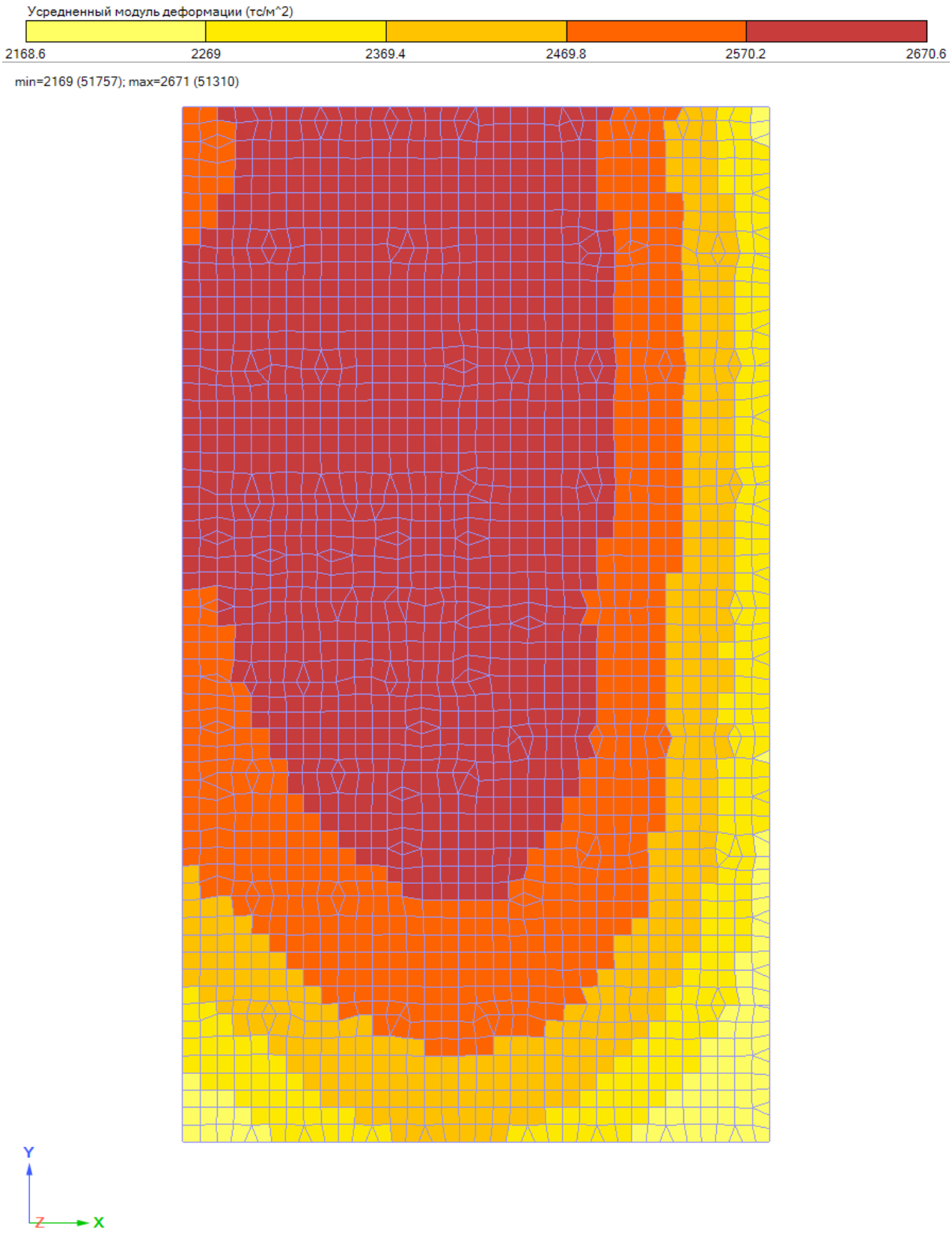
1.2. РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОСТЕЛИ, ОСАДКИ, ГЛУБИНЫ СЖИМАЕМОЙ ТОЛЩИ, РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТА



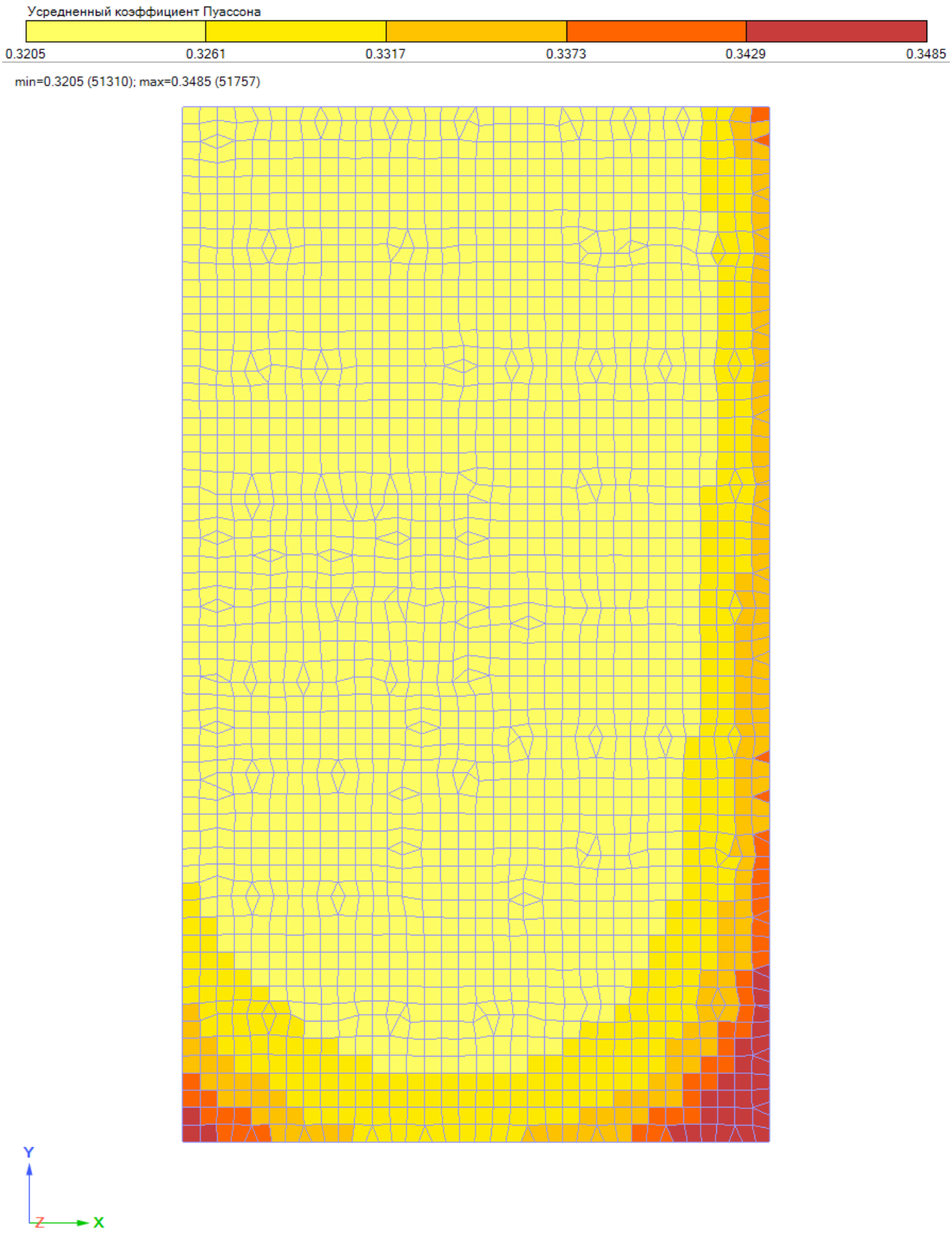
Коэффициенты постели С1 (тс/м3)



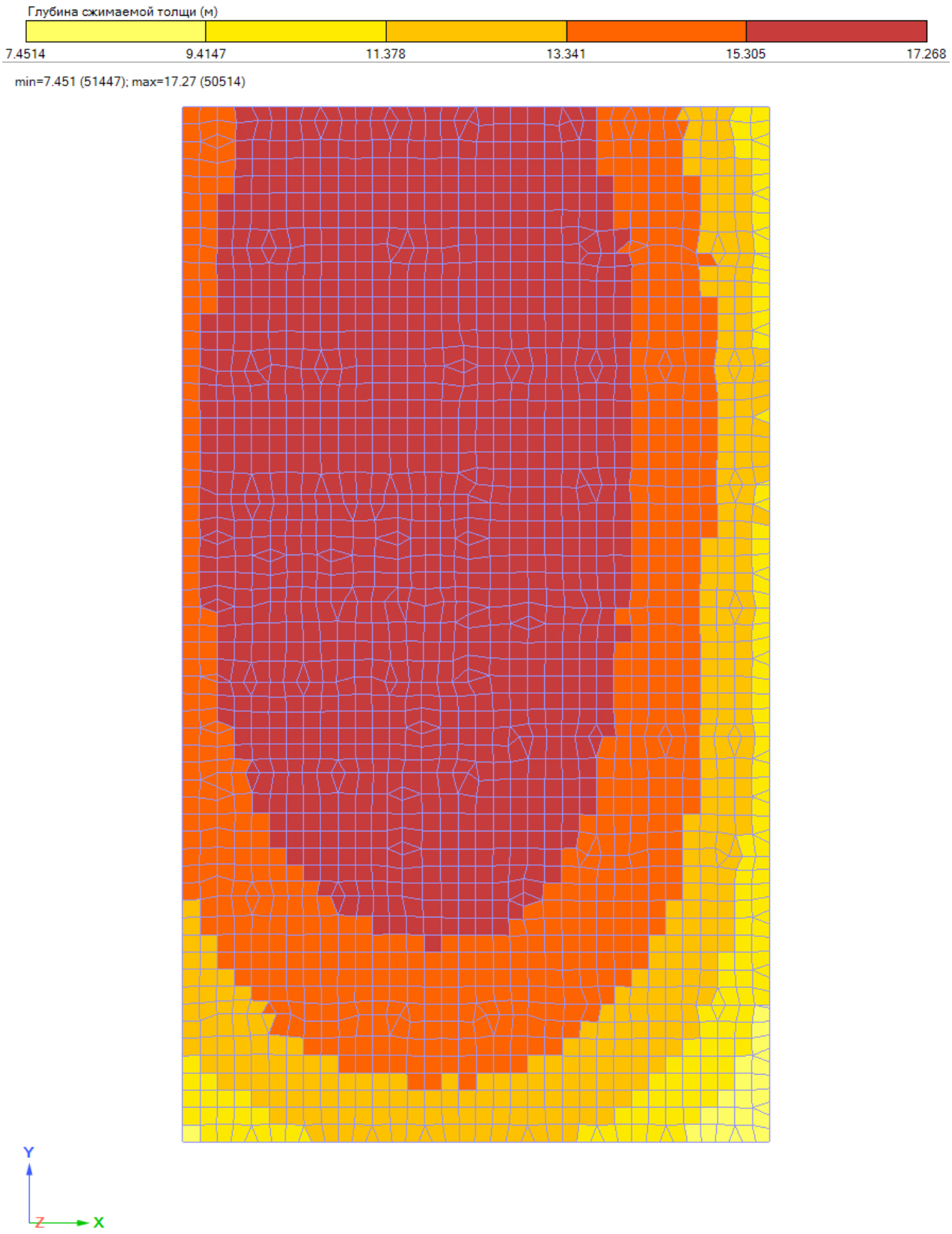
Нагрузка Pz (тс/м2)



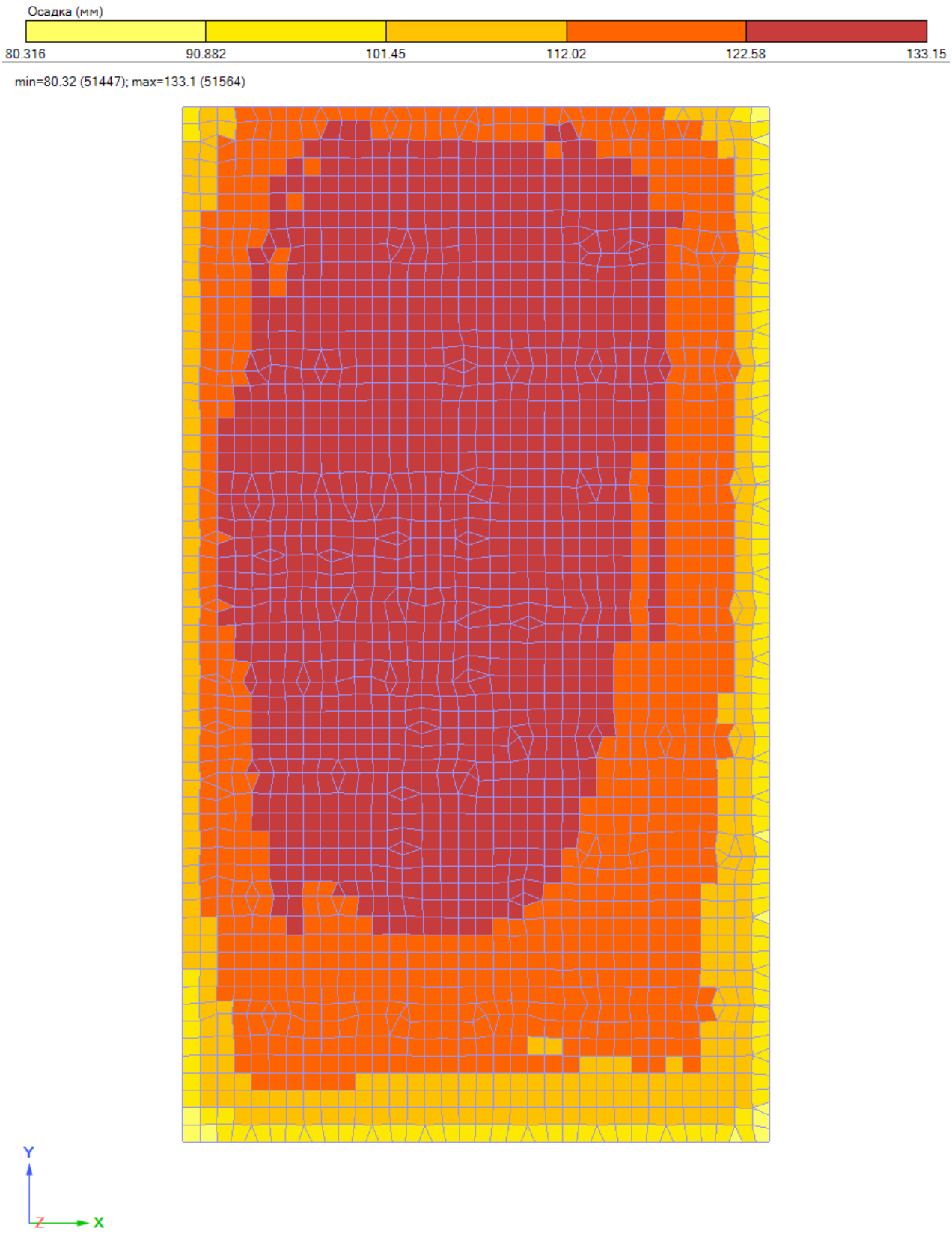
Усредненный модуль деформации (тс/м2)



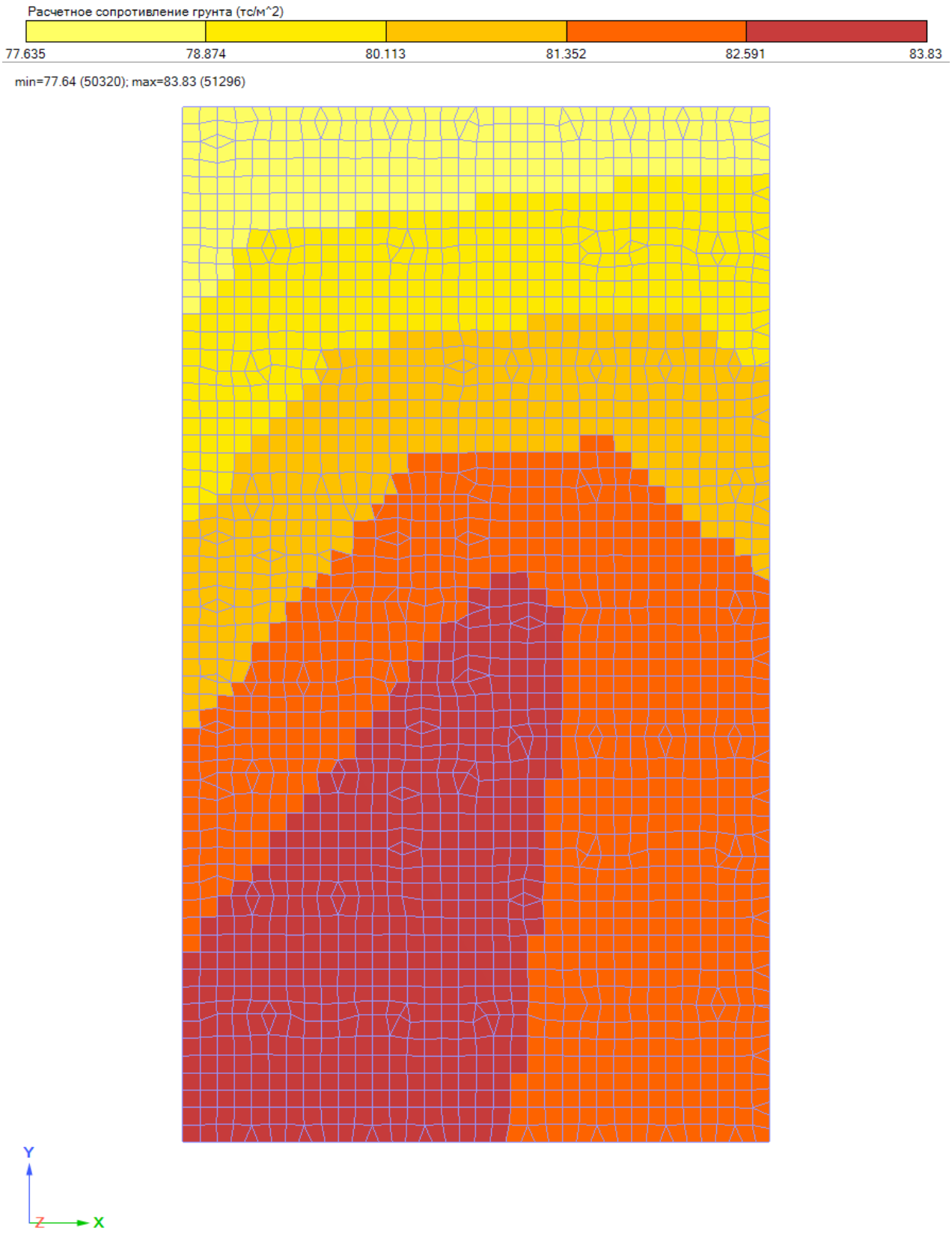
Усредненный коэффициент Пуассона



Глубина сжимаемой толщи (м)

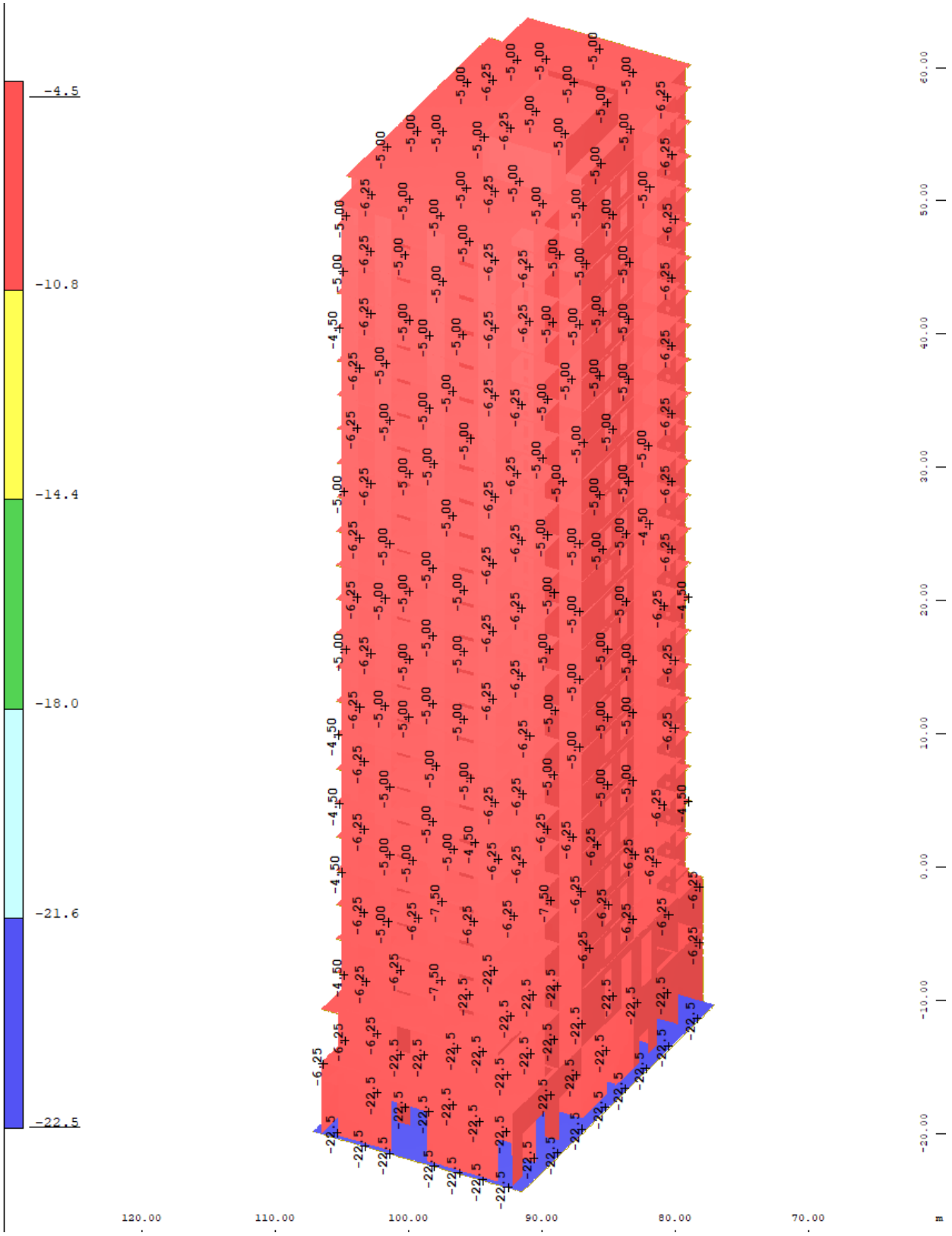

Осадка (мм)
80.316
90.882
101.45
112.02
122.58
133.15
min=80.32 (51447); max=133.1 (51564)
Y
Z
X

Осадка (мм)

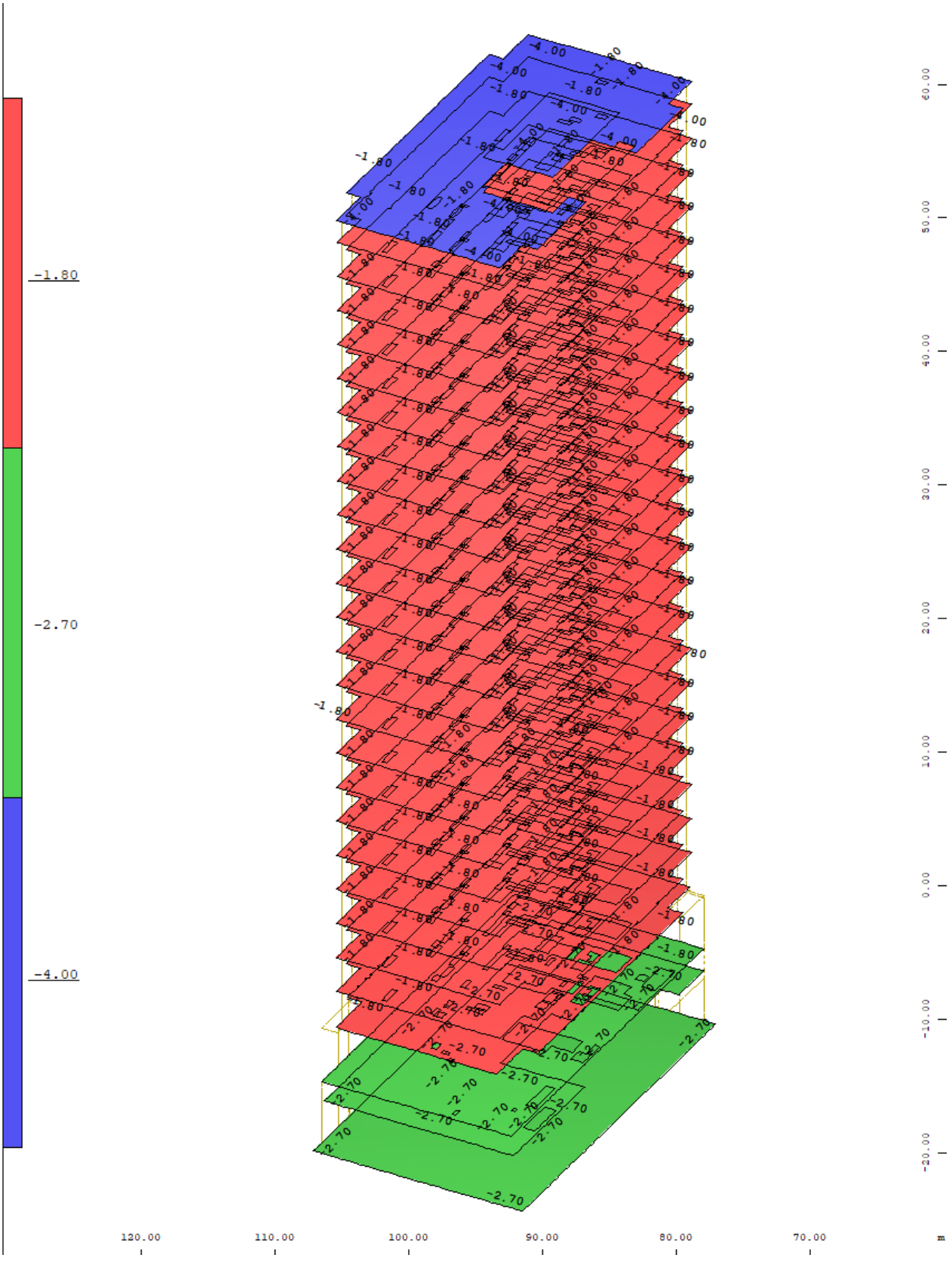


Расчетное сопротивление грунта R (тс/м2)

1.3. НАГРУЗКИ НА МОДЕЛЬ, КОЭФФИЦИЕНТЫ РСУ И РСН

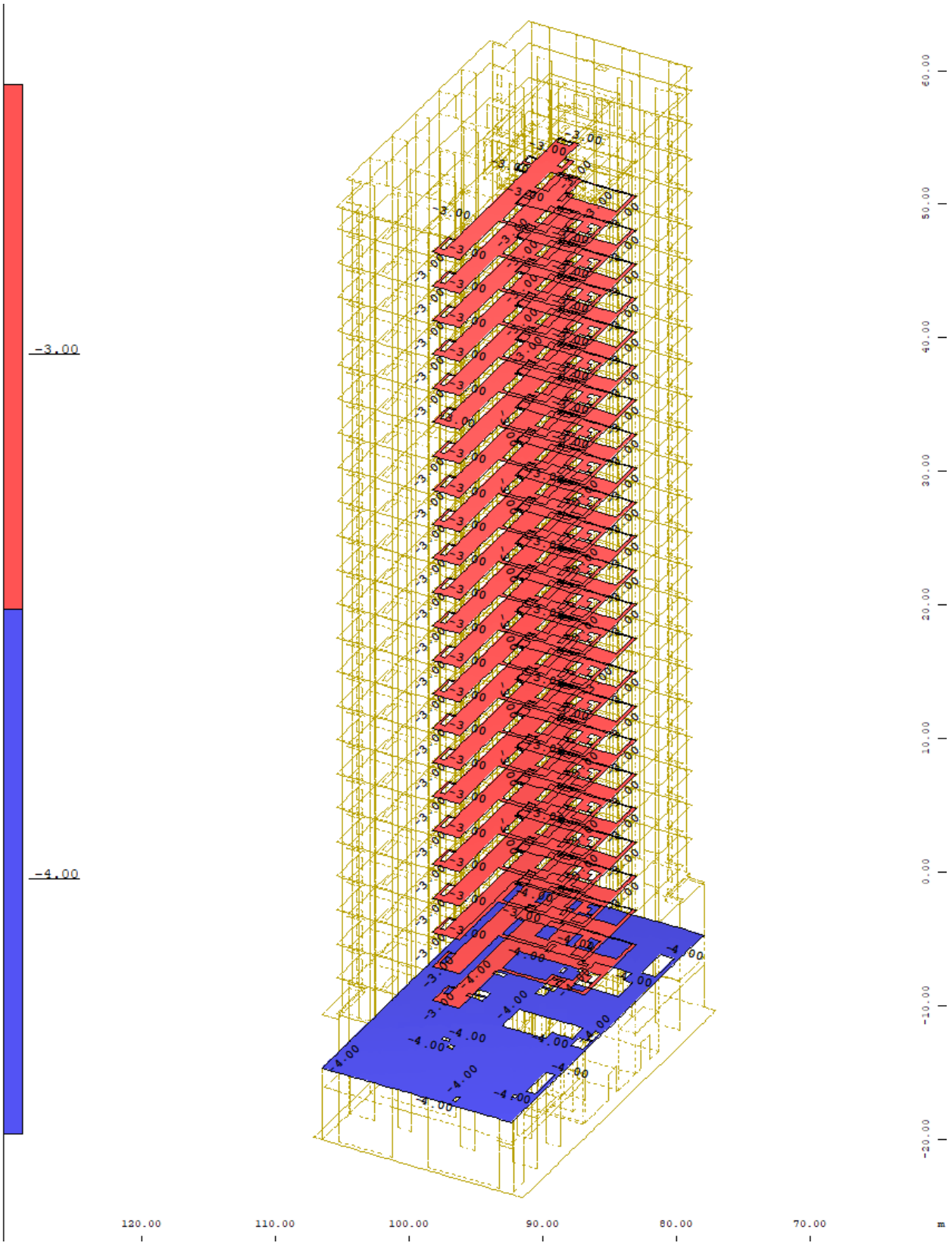


Нормативная нагрузка от собственного веса, кН/м2

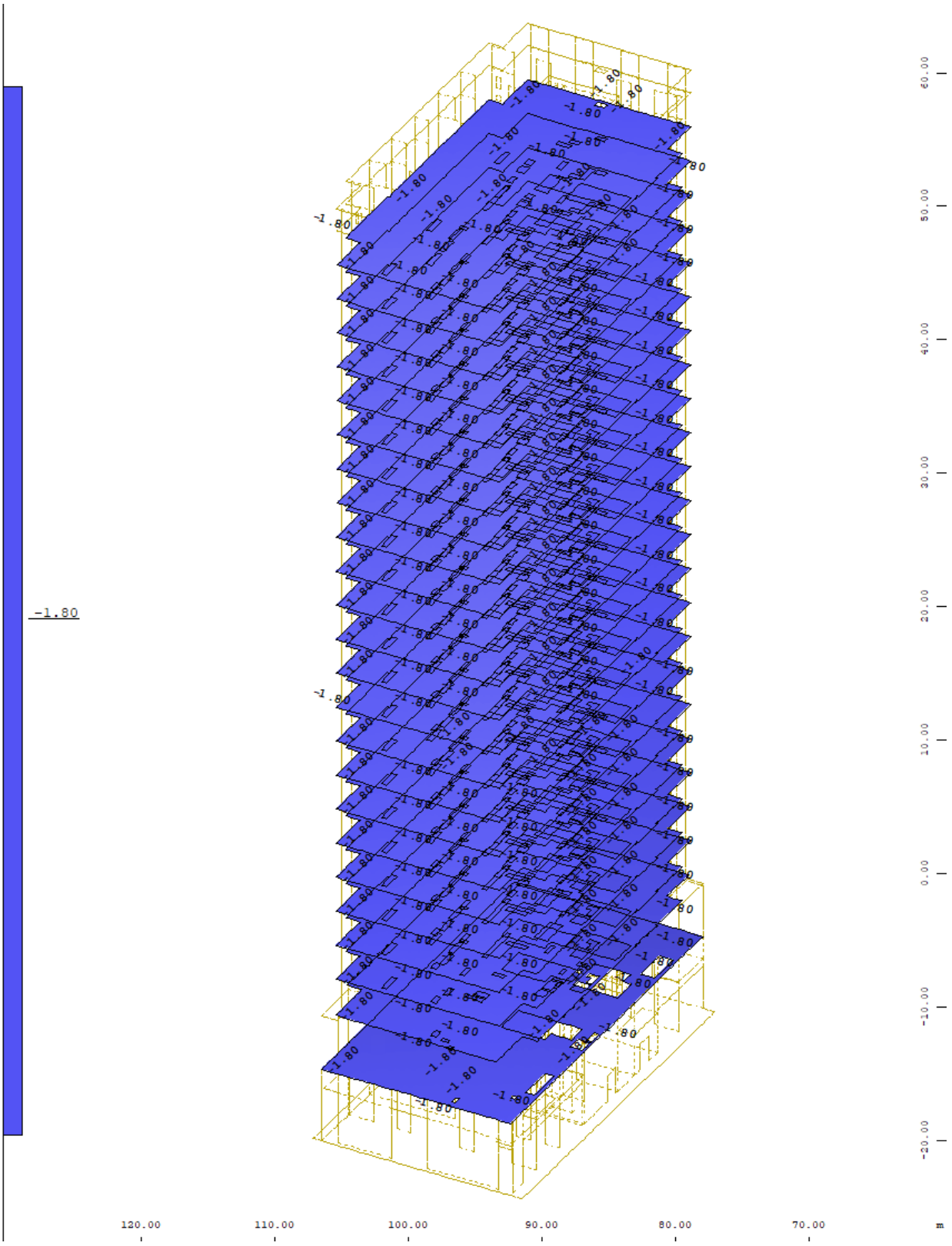


Нормативная нагрузка от полов, кровли, кН/м2

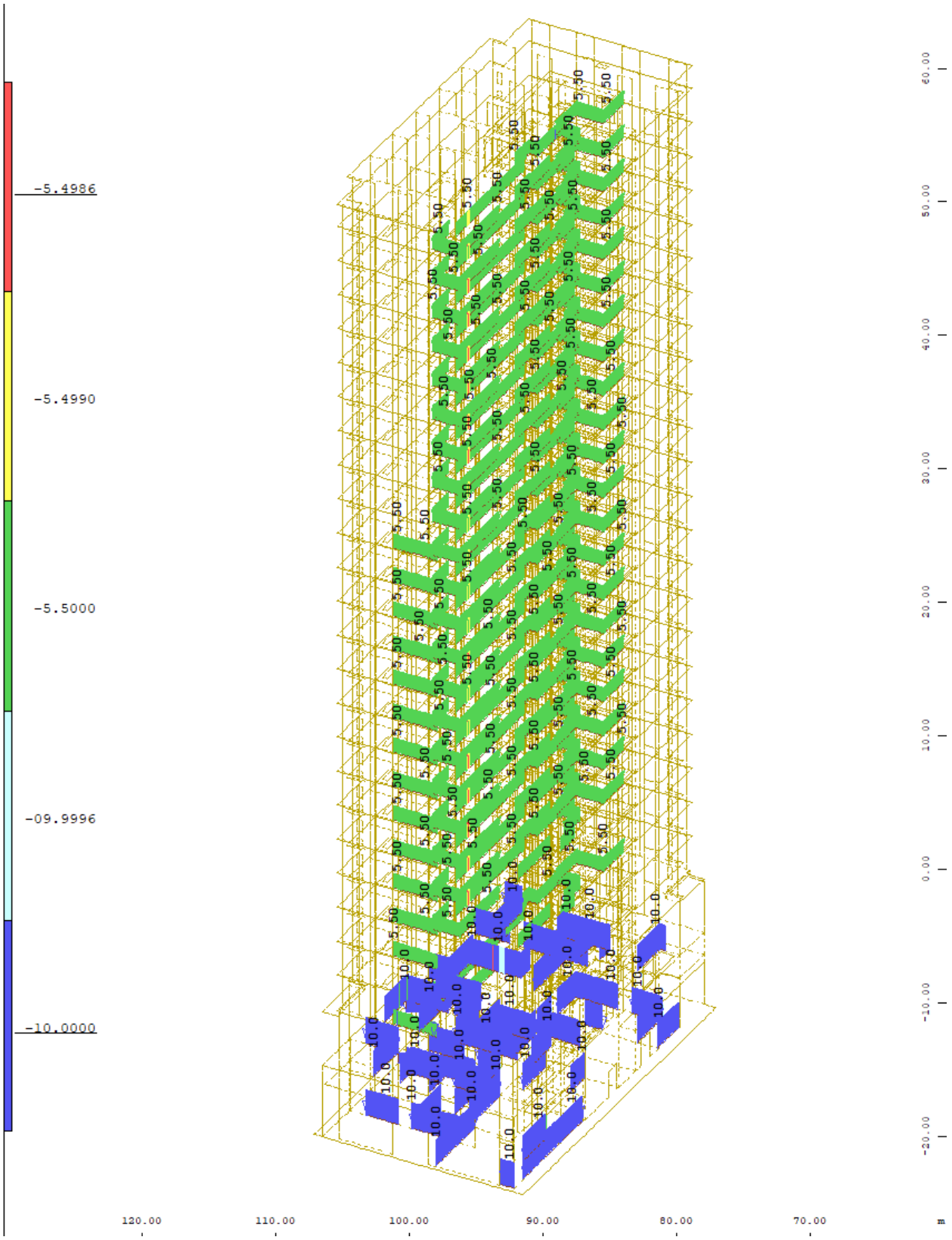
						17-0121-ОК-1-П-КР4.7	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		13



Нормативная нагрузка от коридоров, кН/м2

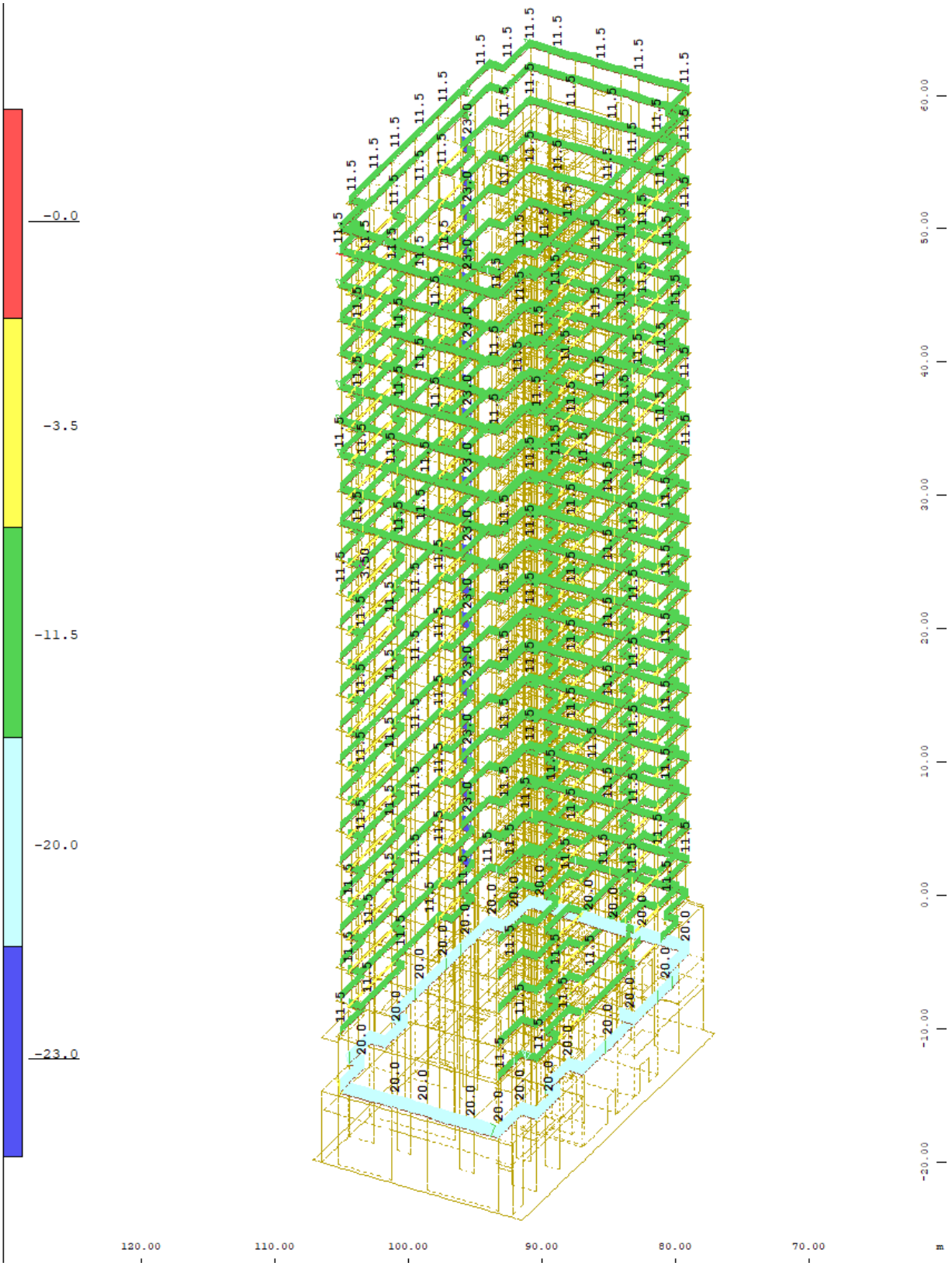


Нормативная нагрузка от перегородок, кН/м2

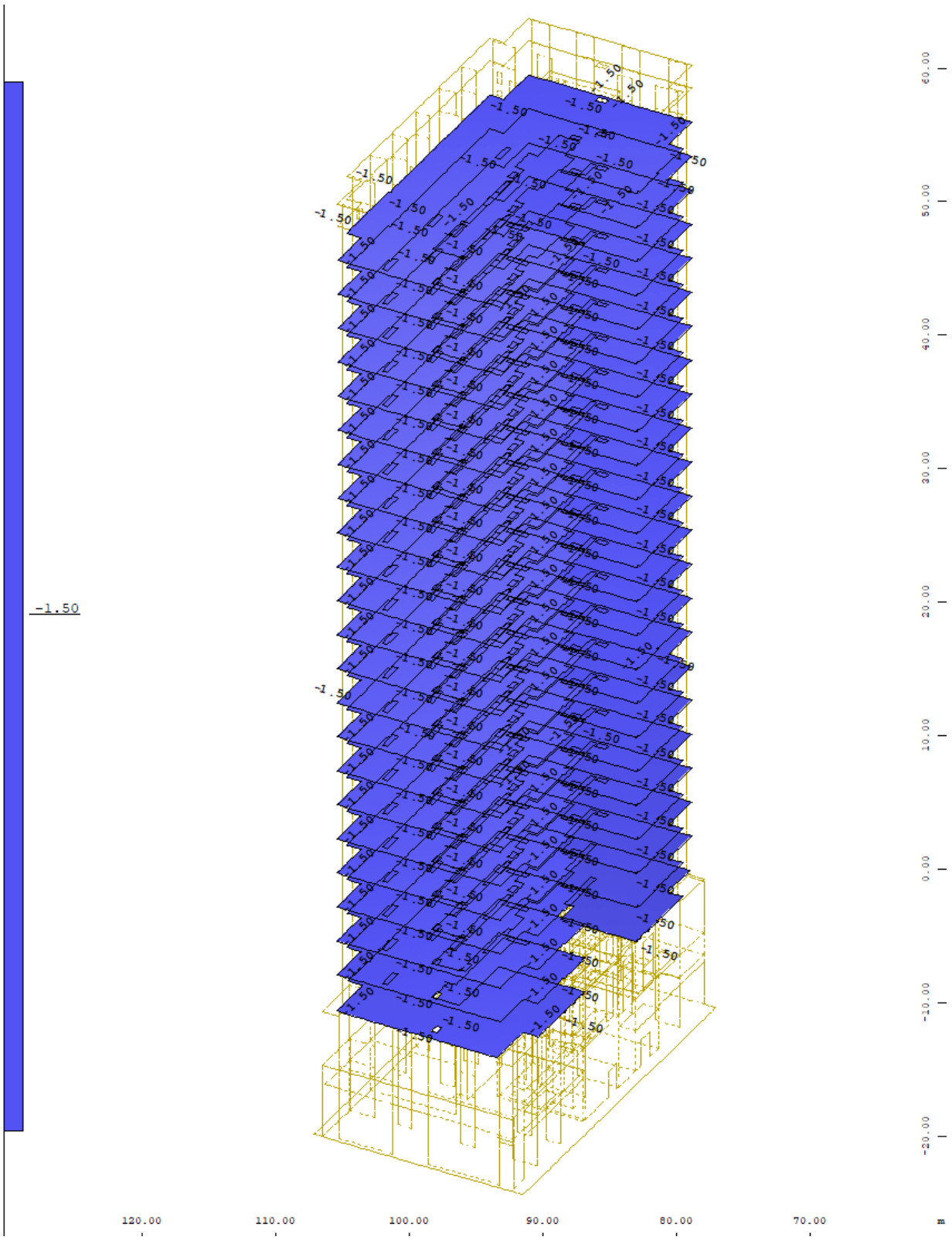


Нормативная нагрузка от перегородок линейная, кН/м

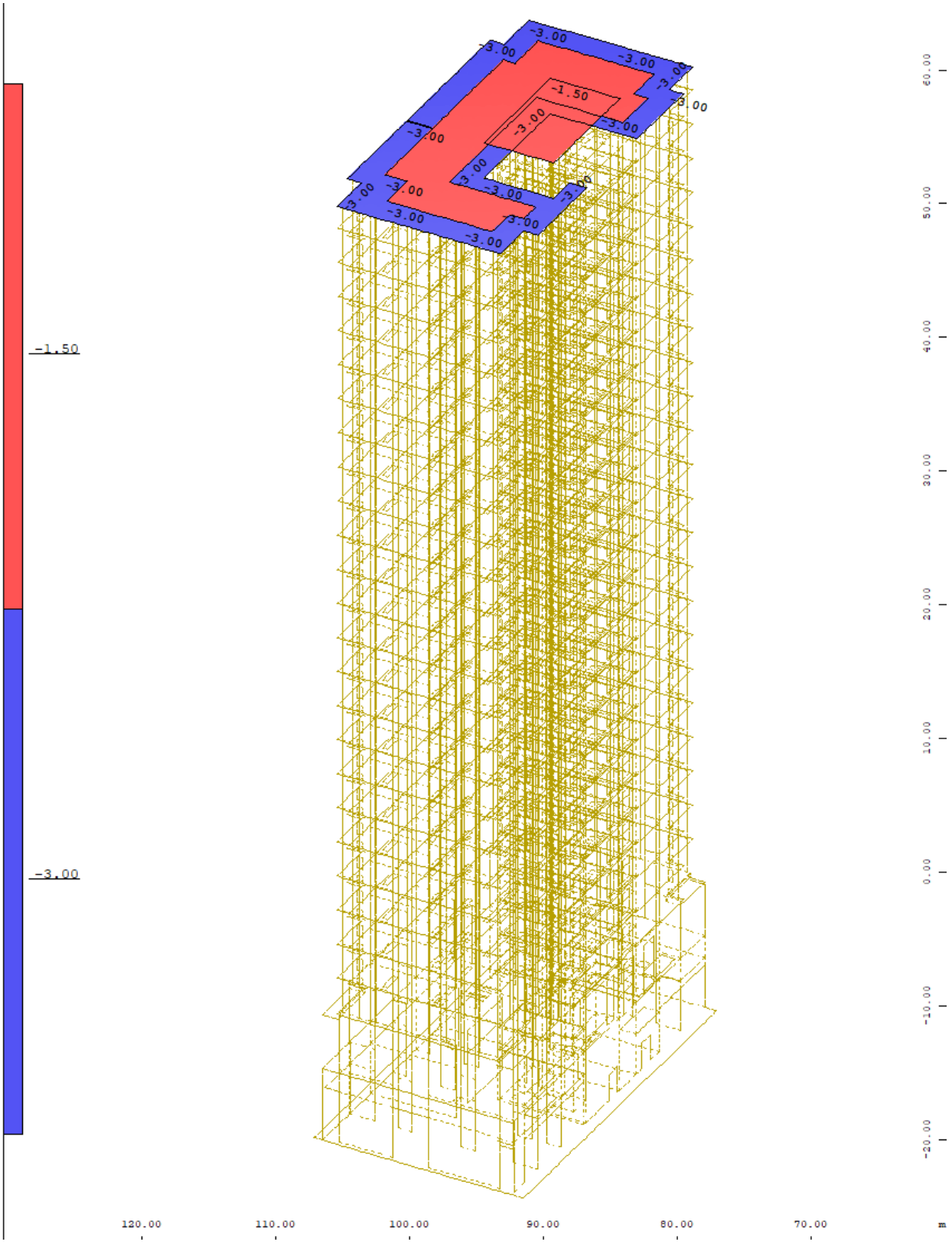
						17-0121-ОК-1-П-КР4.7	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		16



Нормативная нагрузка от фасадов, кН/м

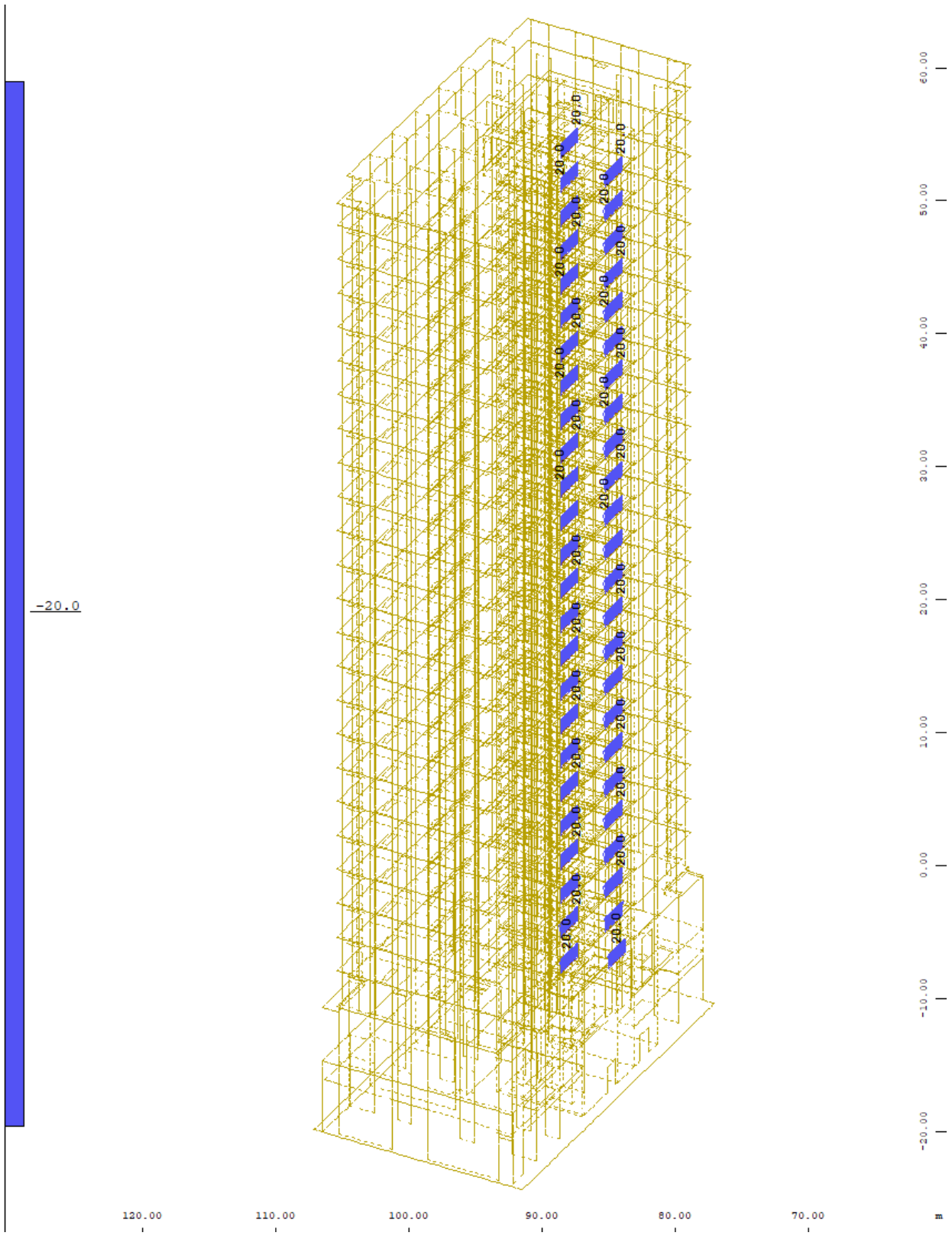


Нормативная нагрузка от квартир, кН/м2

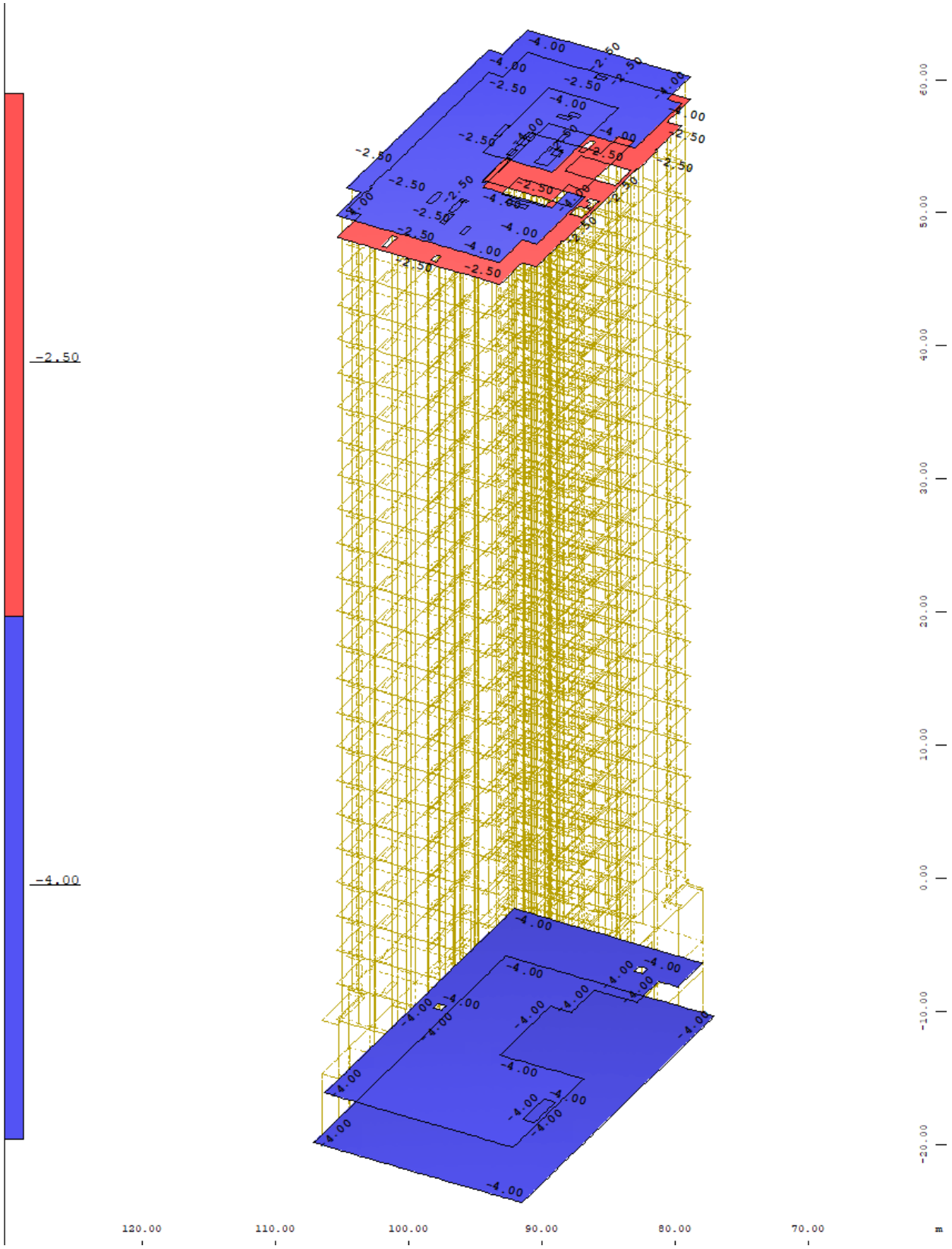


Нормативная нагрузка от снега, кН/м2

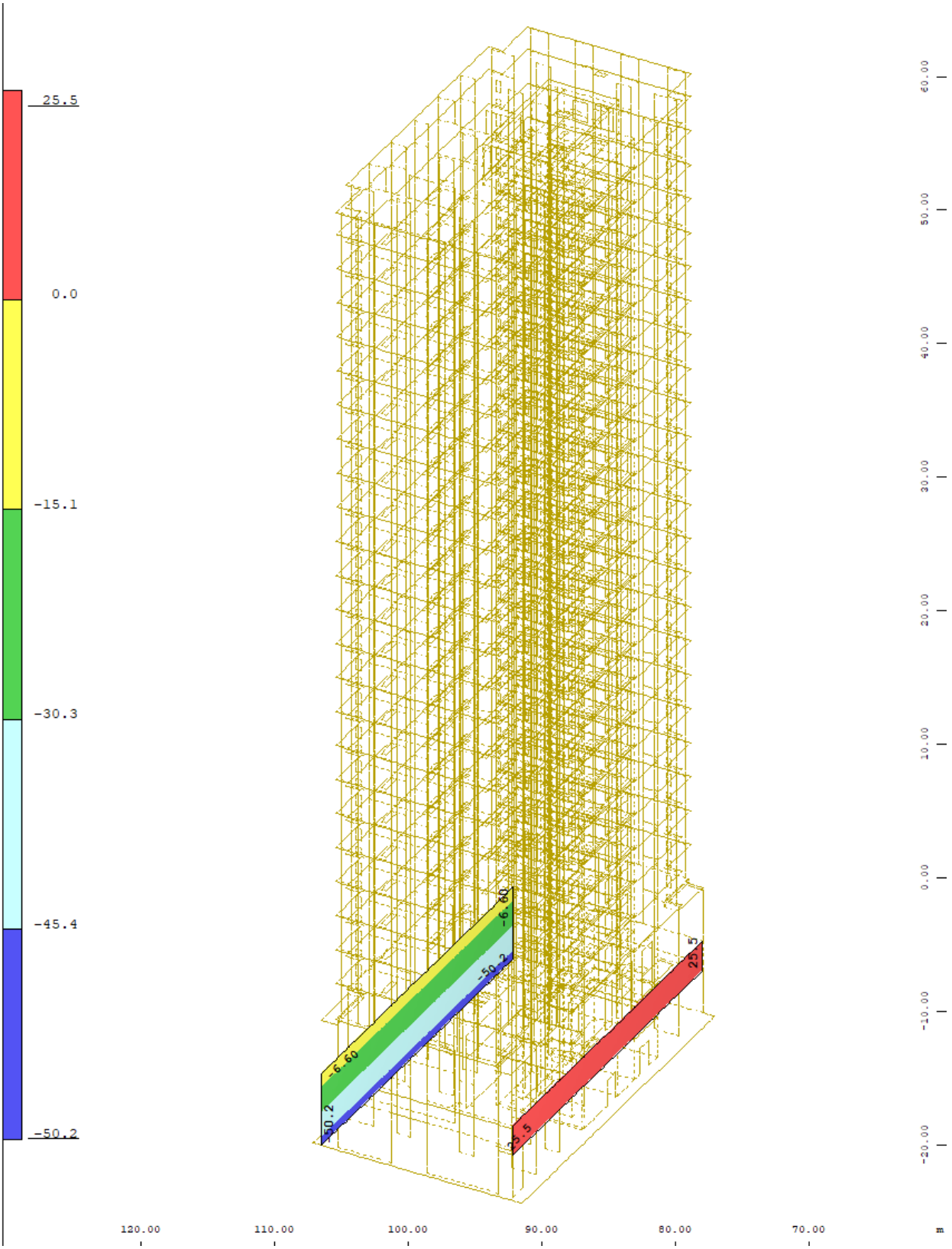
						17-0121-ОК-1-П-КР4.7	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		19



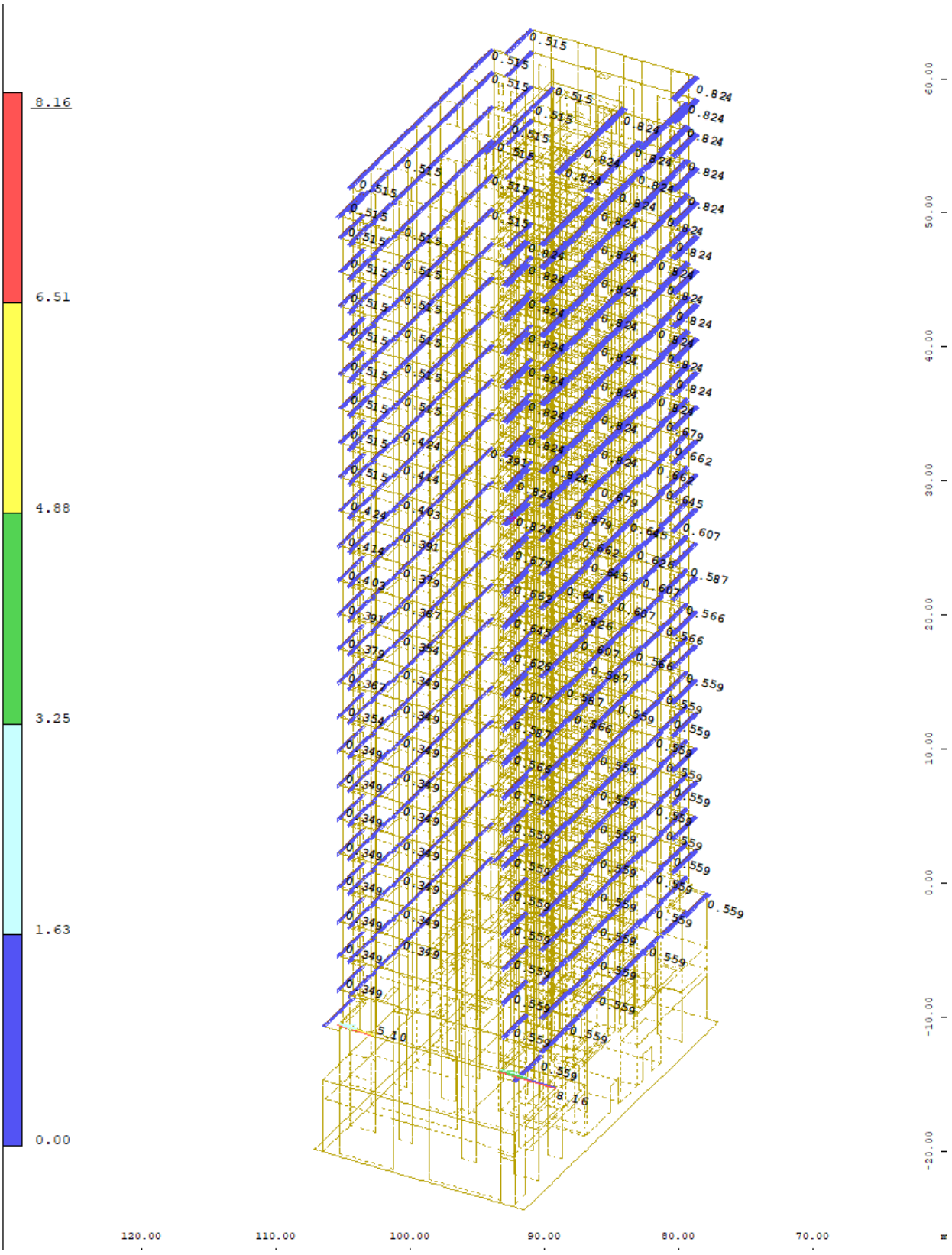
Нормативная нагрузка от лестничных маршей, кН/м



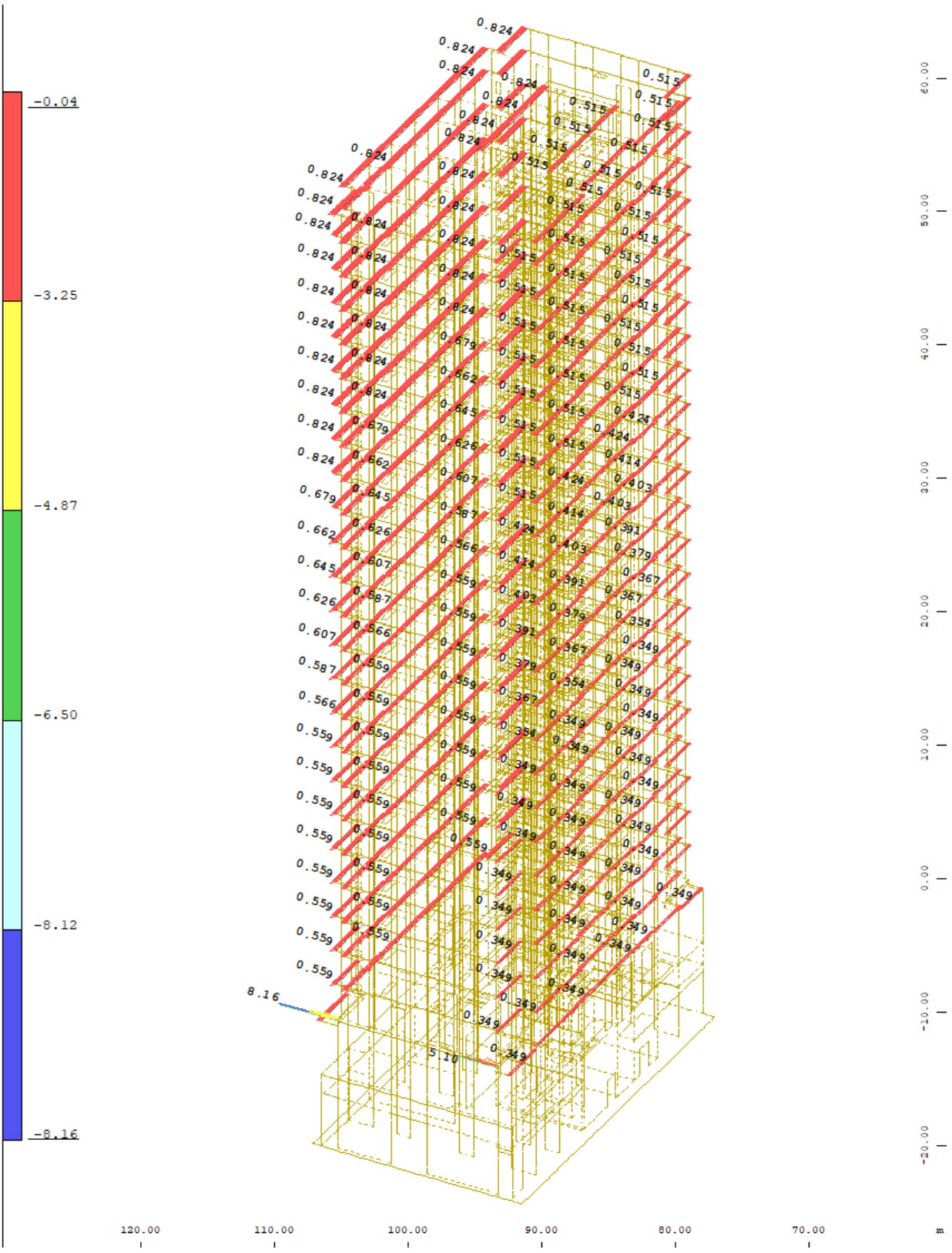
Нормативная нагрузка от оборудования, кН/м2



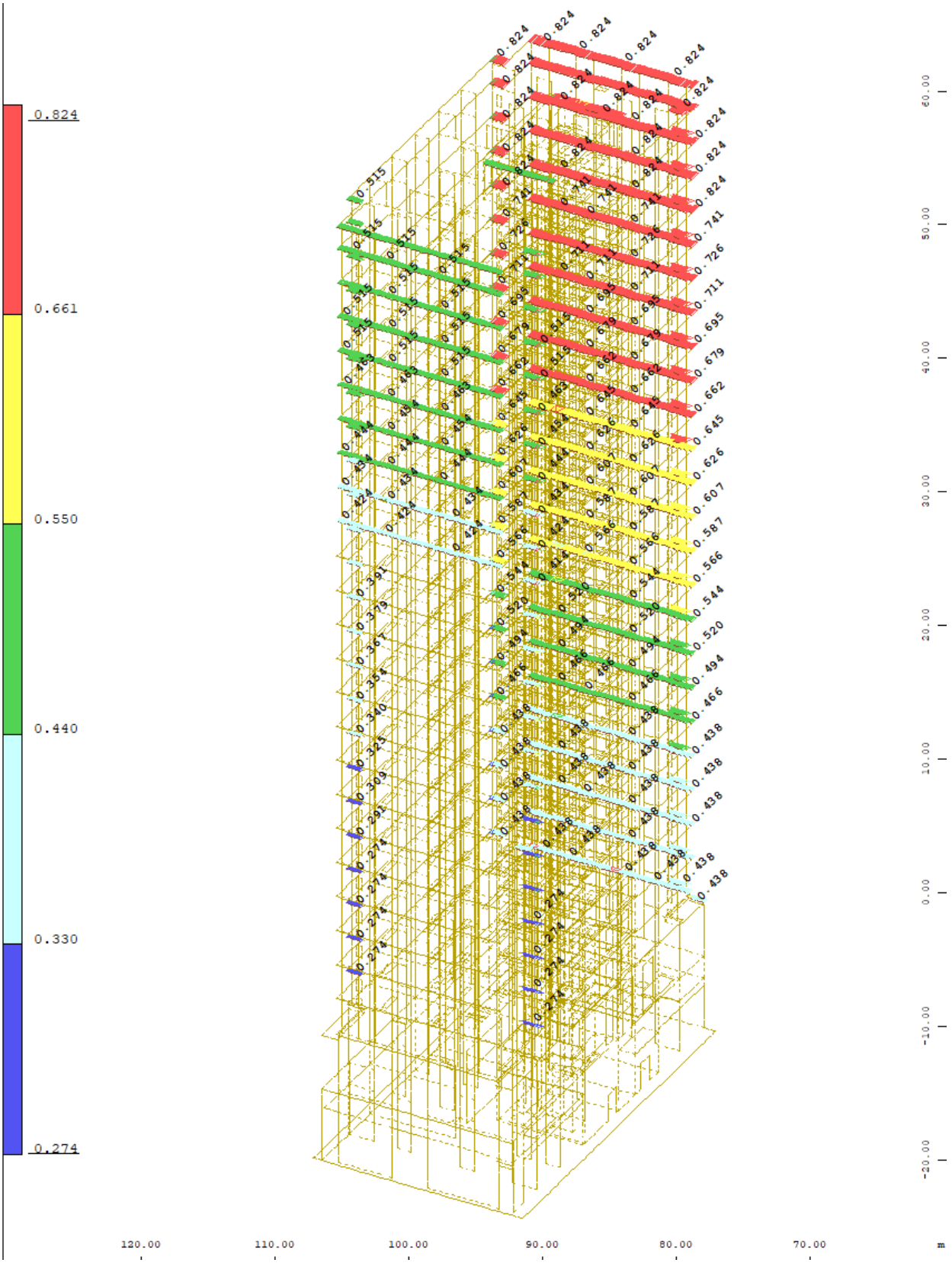
Нормативная нагрузка от давления грунта, кН/м2



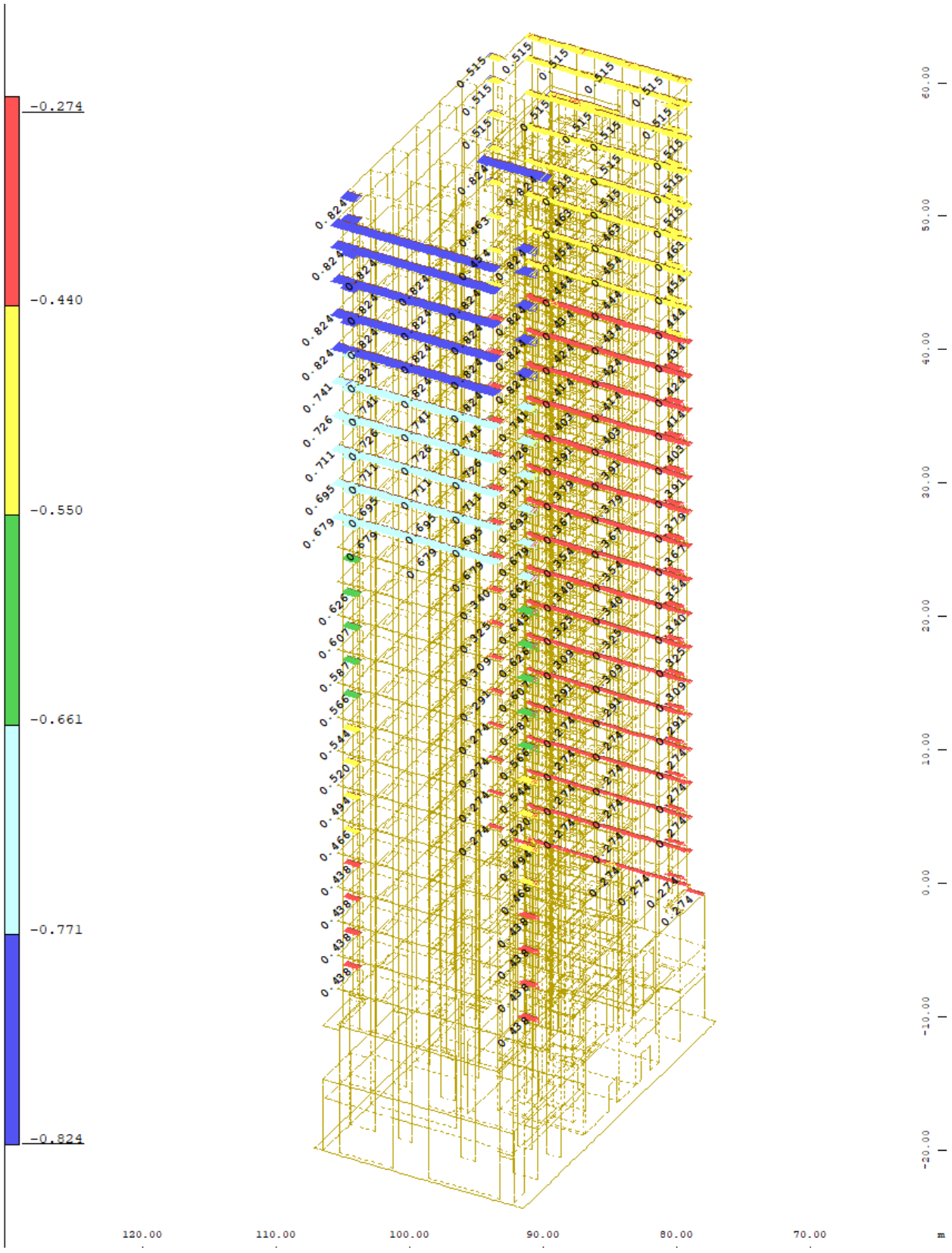
Нормативная нагрузка от ветра по +X, кН/м



Нормативная нагрузка от ветра по -X, кН/м



Нормативная нагрузка от ветра по +Y, кН/м



Нормативная нагрузка от ветра по -Y, кН/м

Коэффициенты для РСУ

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

Коэффициенты для РСН

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

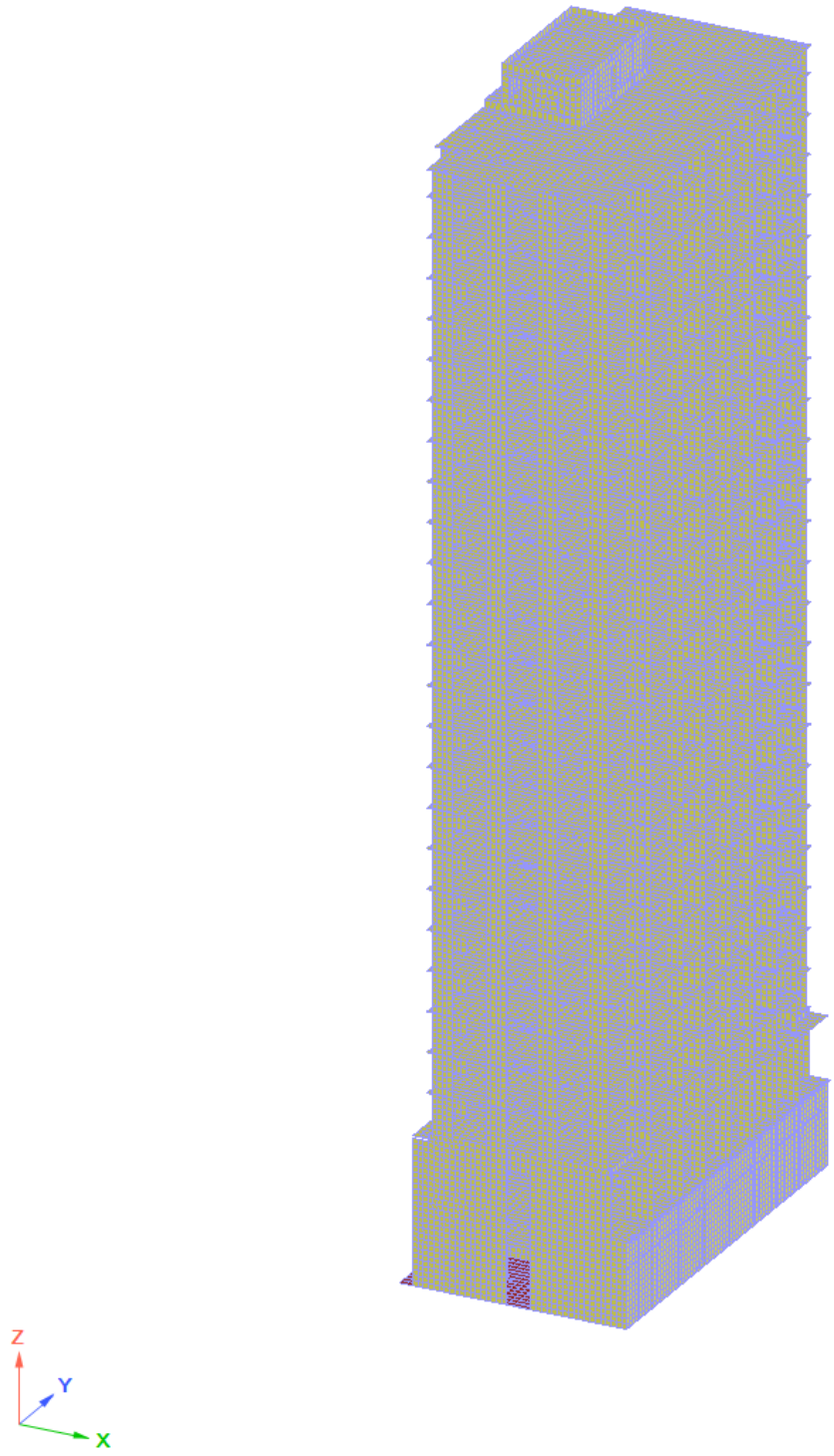
Со-че-та-ние	За-гру-же-ние	Имя загру-жения	Коэф.к загр.	Коэф.к расч.	Коэф.к норм.	Доля дл.	Итог.коэф.к расч.	Итог.коэф.к расч.дл.дейст.	Итог.коэф.к норм.	Итог.коэф.к норм.дл.дейст.
	23	Пульсации X+	1	1.4	1	0	1.4	0	1	0
3	1	G_Deadload	1	1.1	1	1	1.1	1.1	1	1
	2	G_Полы	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	3	L_Коридоры	1	1.2	1	0.35	1.2	0.42	1	0.35
	4	Q_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
	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_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

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.
	20	G_Лестницы линейная	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	25	Пульсации Y+	1	1.4	1	0	1.4	0	1	0
5	1	G_Deadload	1	1.1	1	1	1.1	1.1	1	1
	2	G_Полы	1	1.3	1	1	1.3	1.3	1	1
	3	L_Коридоры	1	1.2	1	0.35	1.2	0.42	1	0.35
	4	Q_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
	26	Пульсации Y-	1	1.4	1	0	1.4	0	1	0

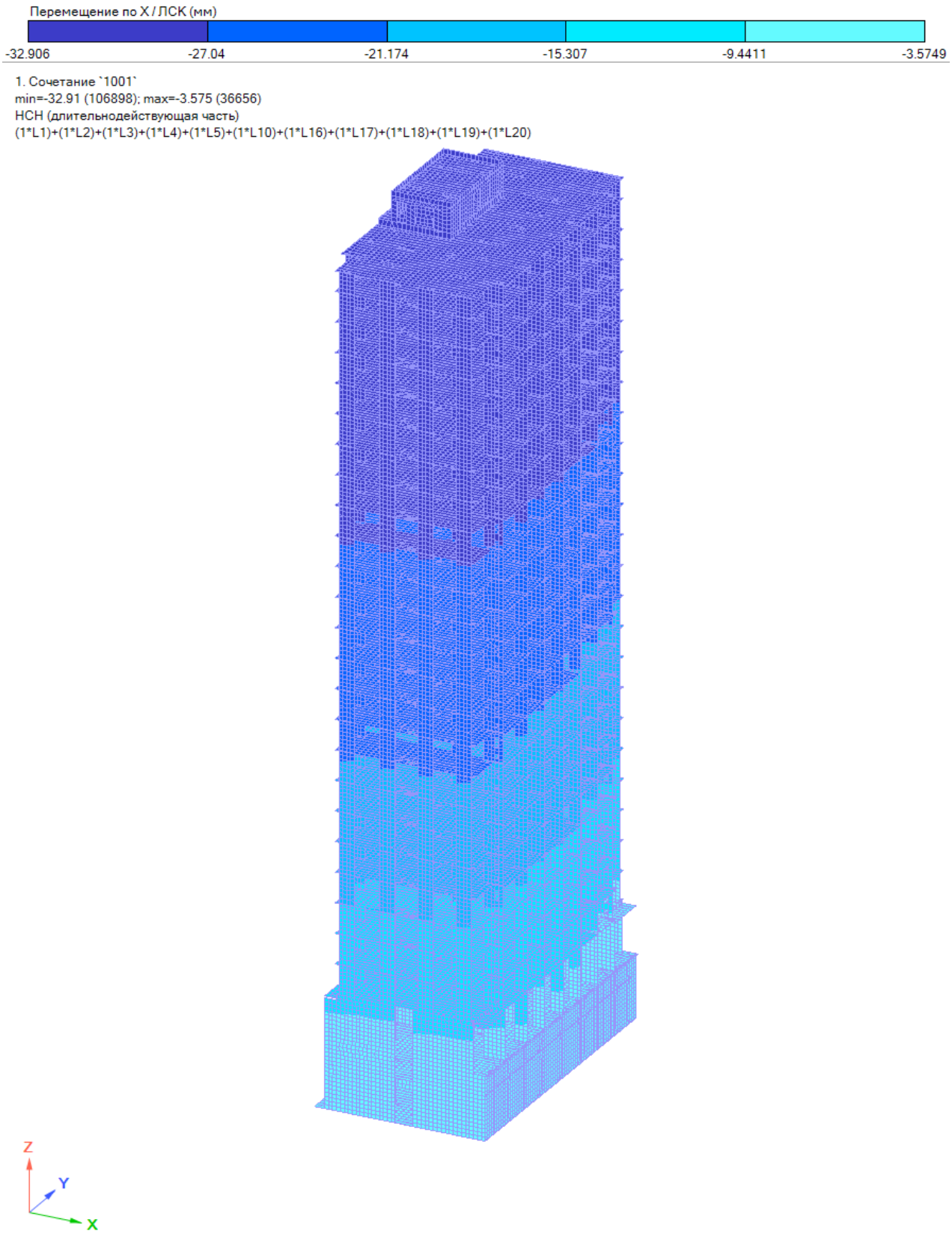
1.4. ЖЕСТКОСТИ, ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, УСКОРЕНИЯ



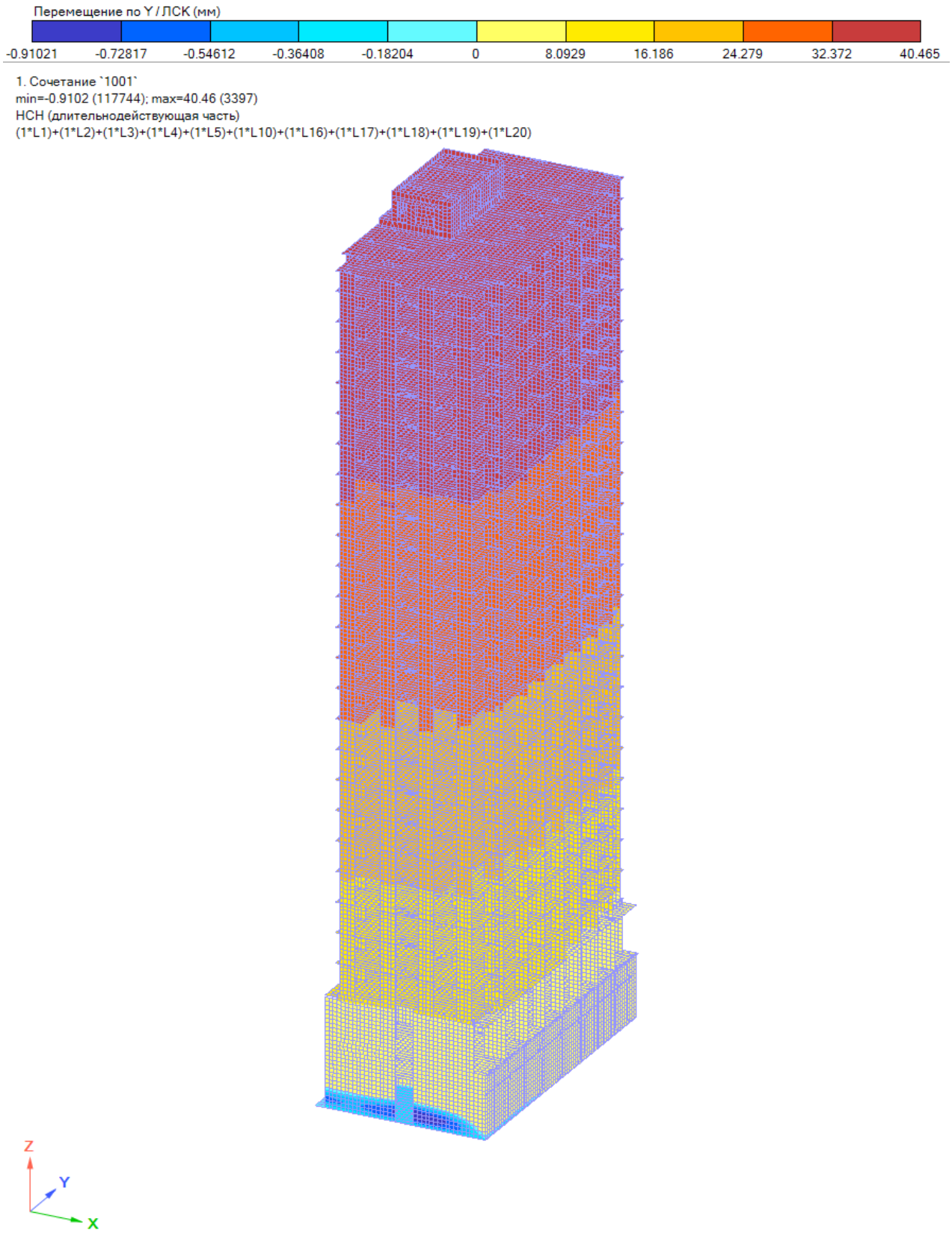
min=18 (2253); max=90 (49879)



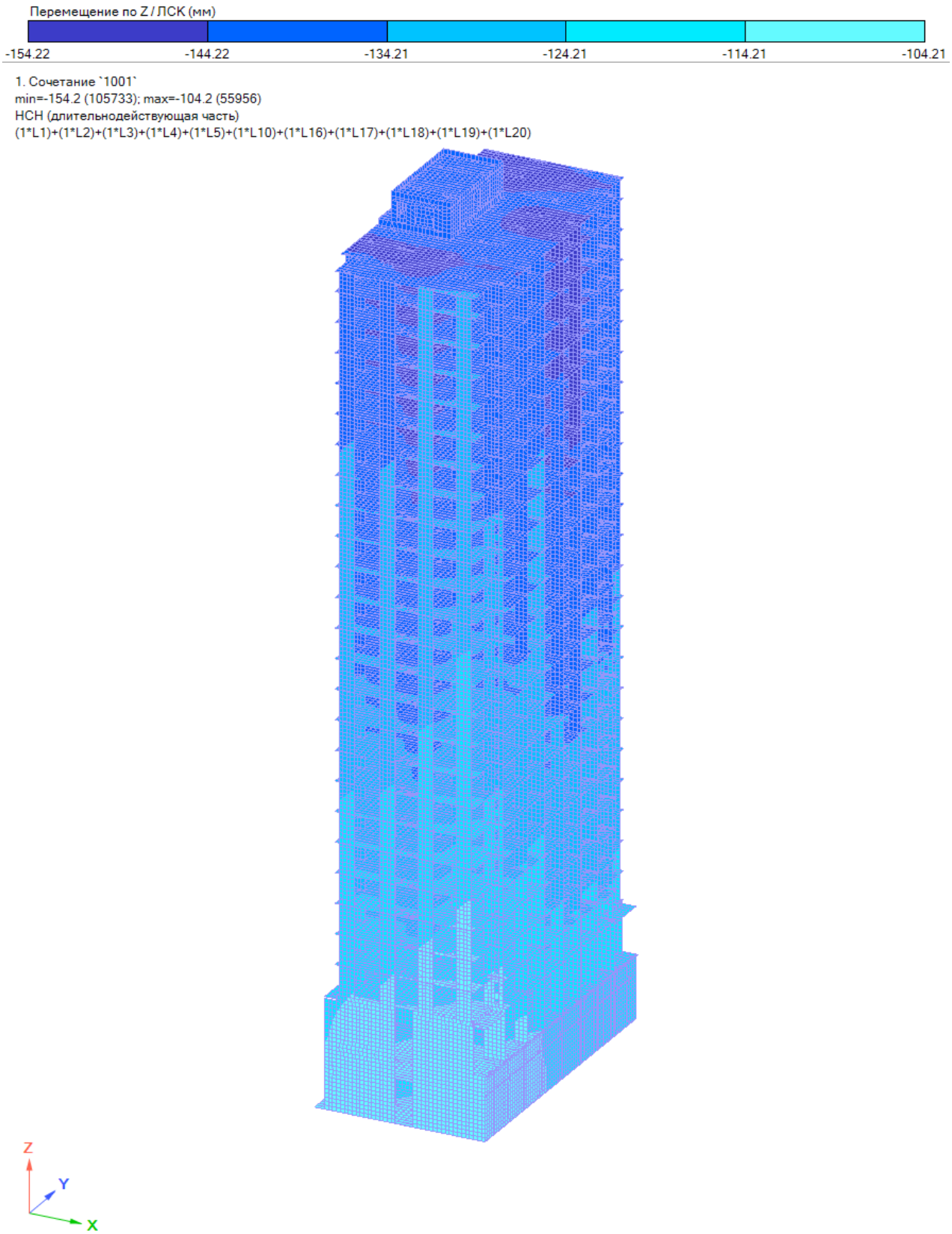
Толщины пластин, см



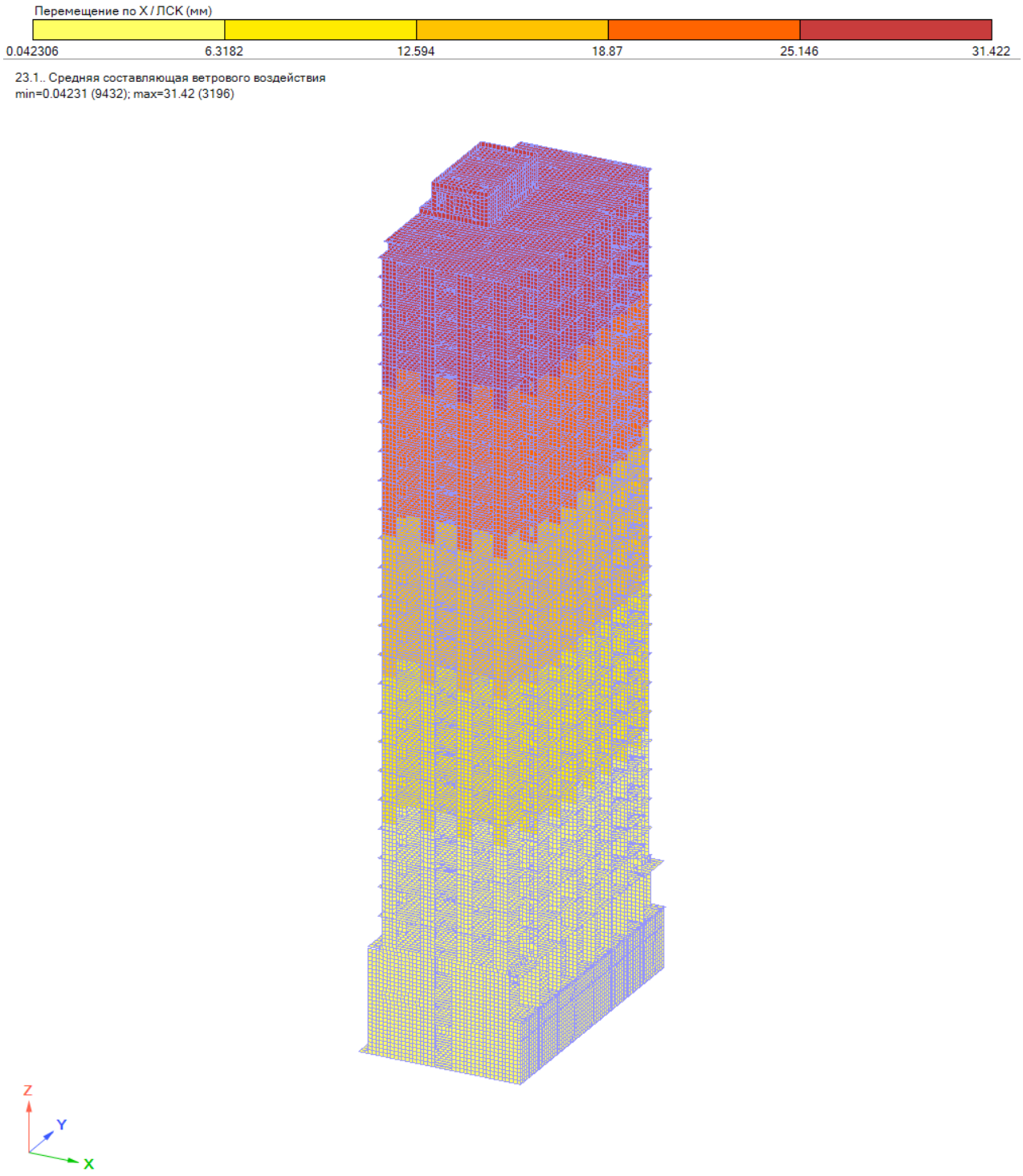
Перемещения по X от вертикальных нагрузок, мм



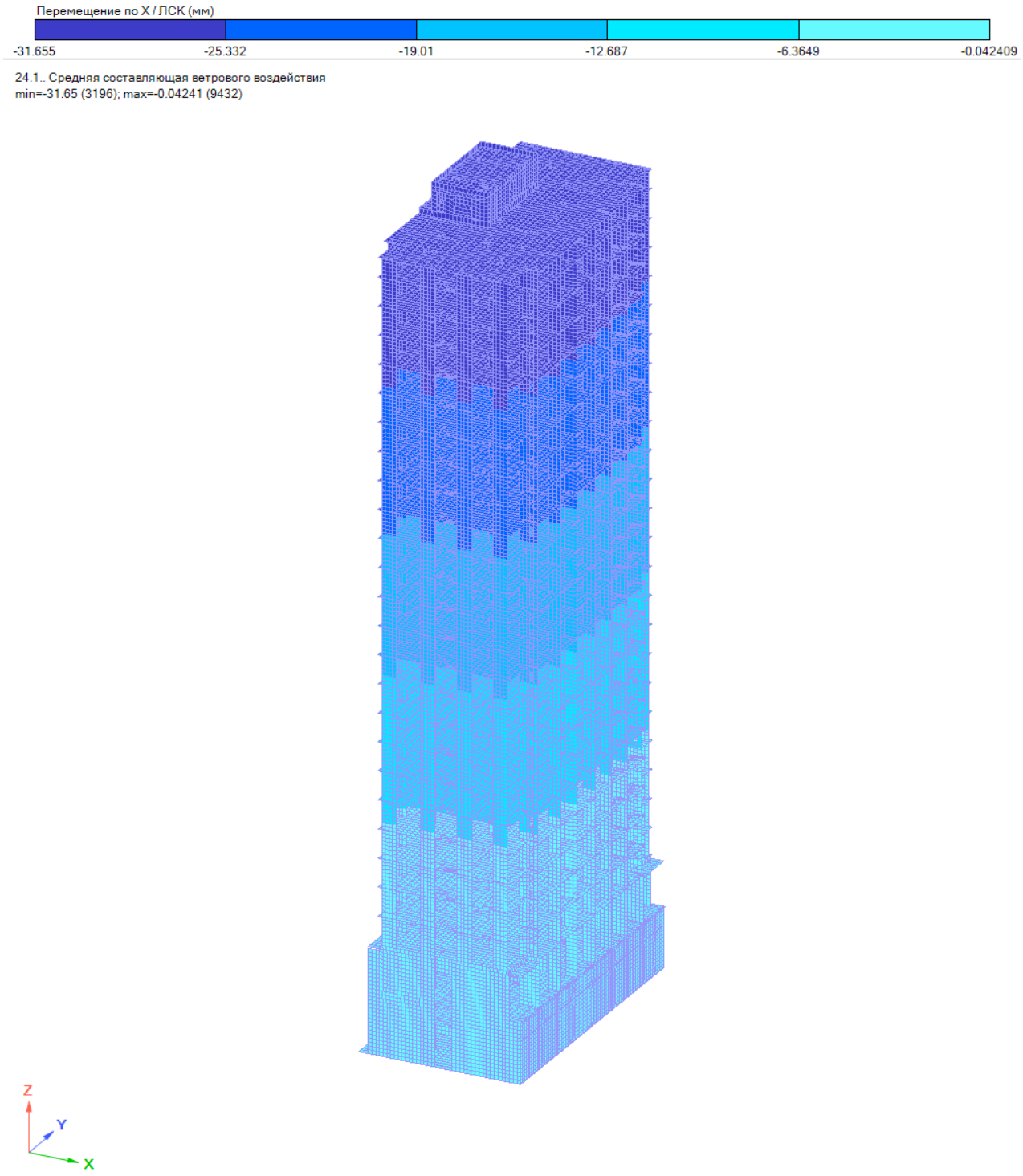
Перемещения по Y от вертикальных нагрузок, мм



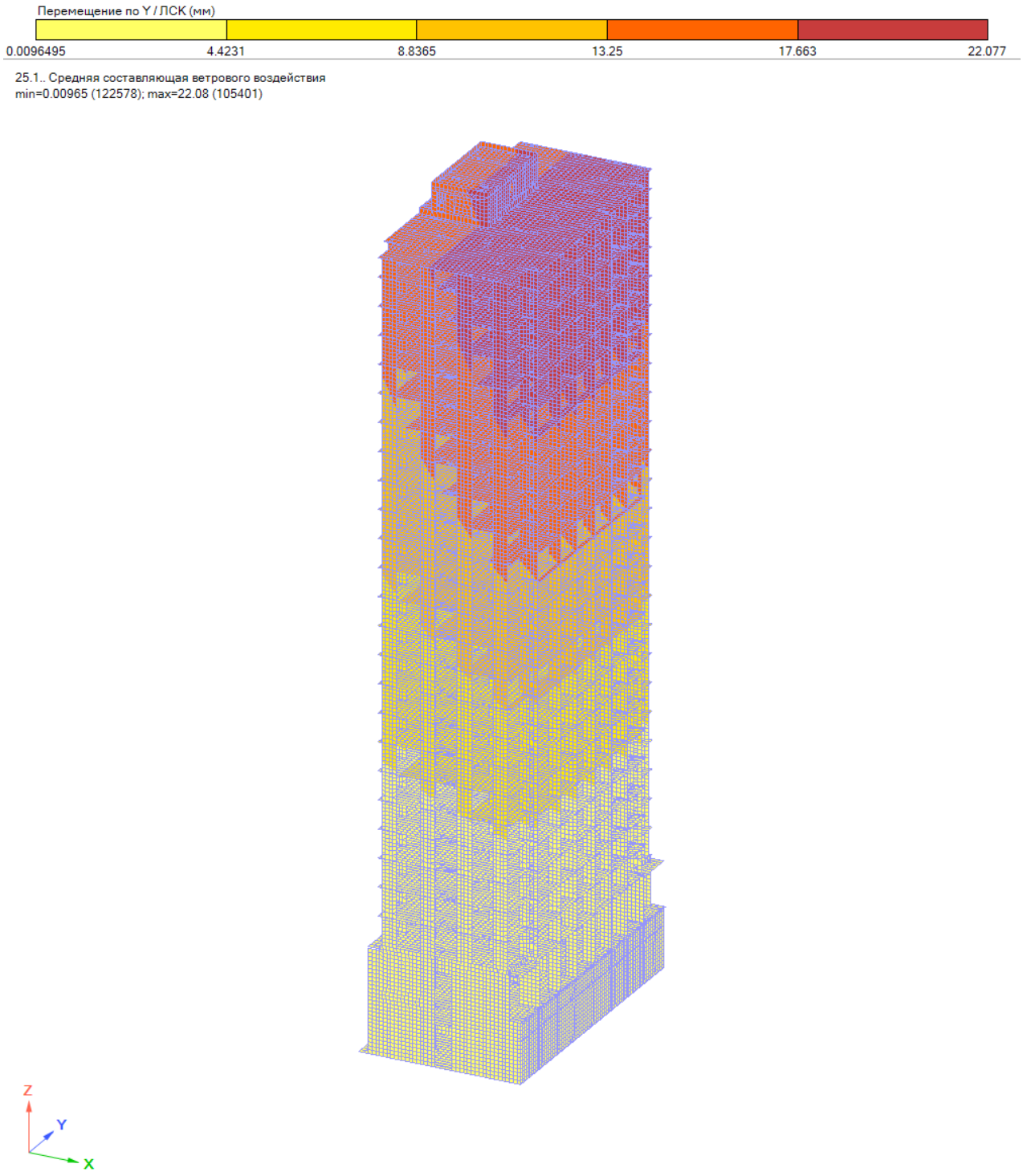
Перемещения по Z от вертикальных нагрузок, мм



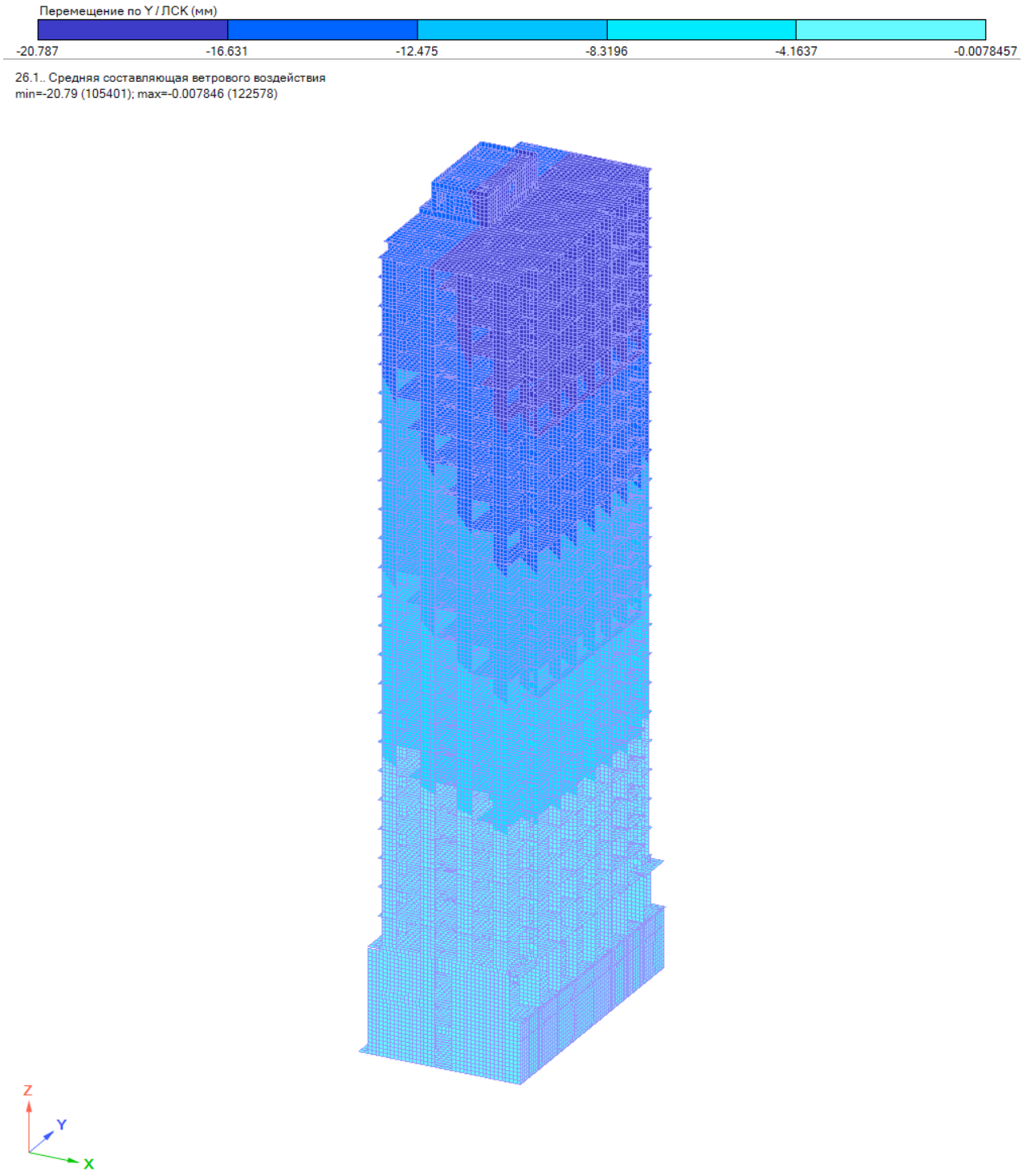
Перемещения по X+ от ветровых нагрузок, мм



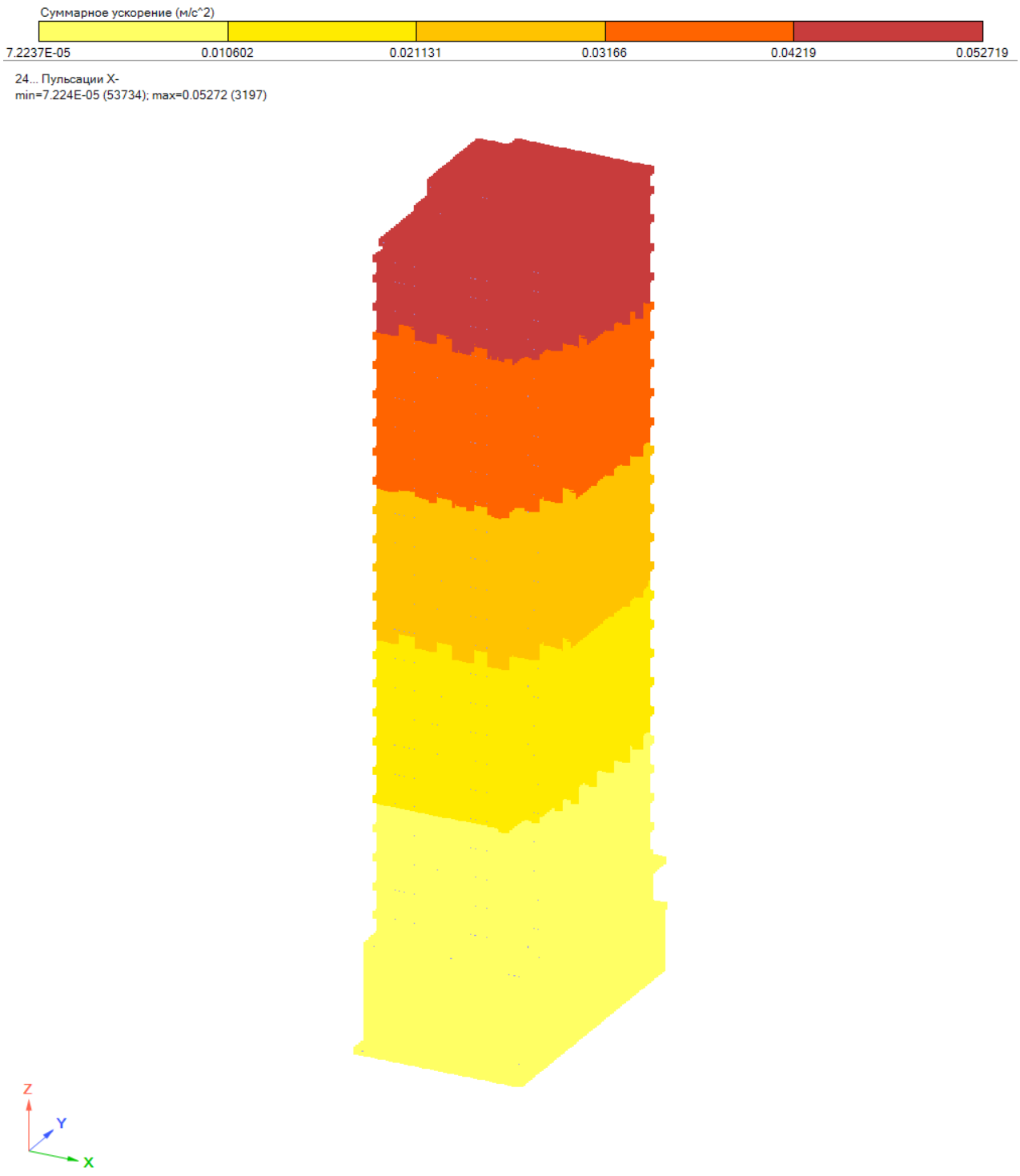
Перемещения по X- от ветровых нагрузок, мм



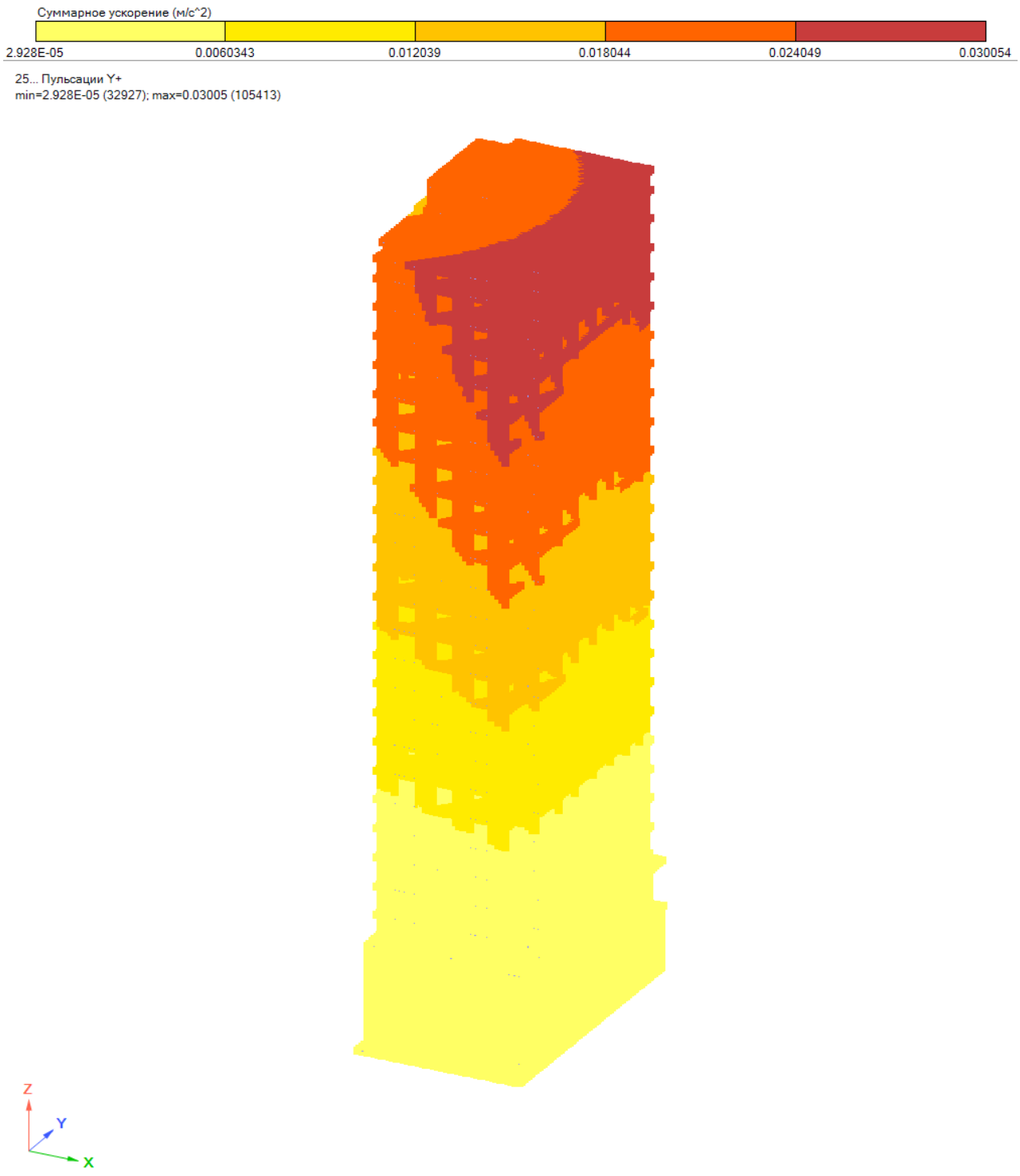
Перемещения по Y+ от ветровых нагрузок, мм



Перемещения по Y- от ветровых нагрузок, мм

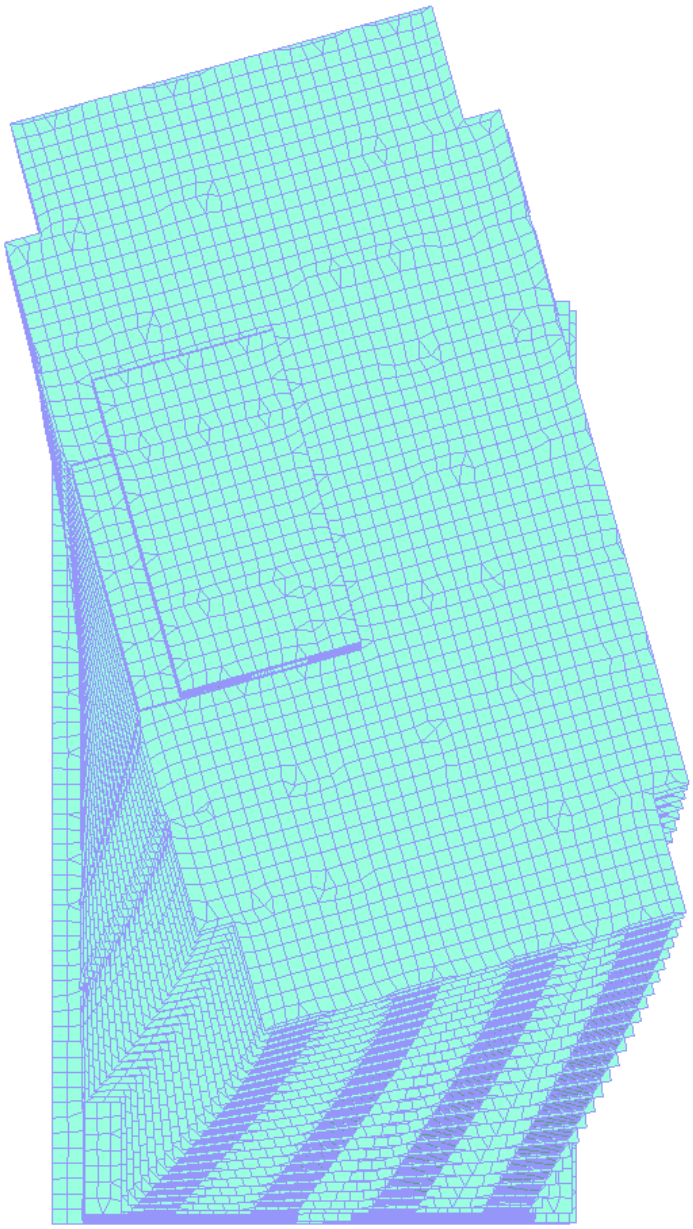


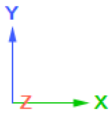
Ускорения ветер вдоль X (м/с2)



Ускорения ветер вдоль Y (м/с2)

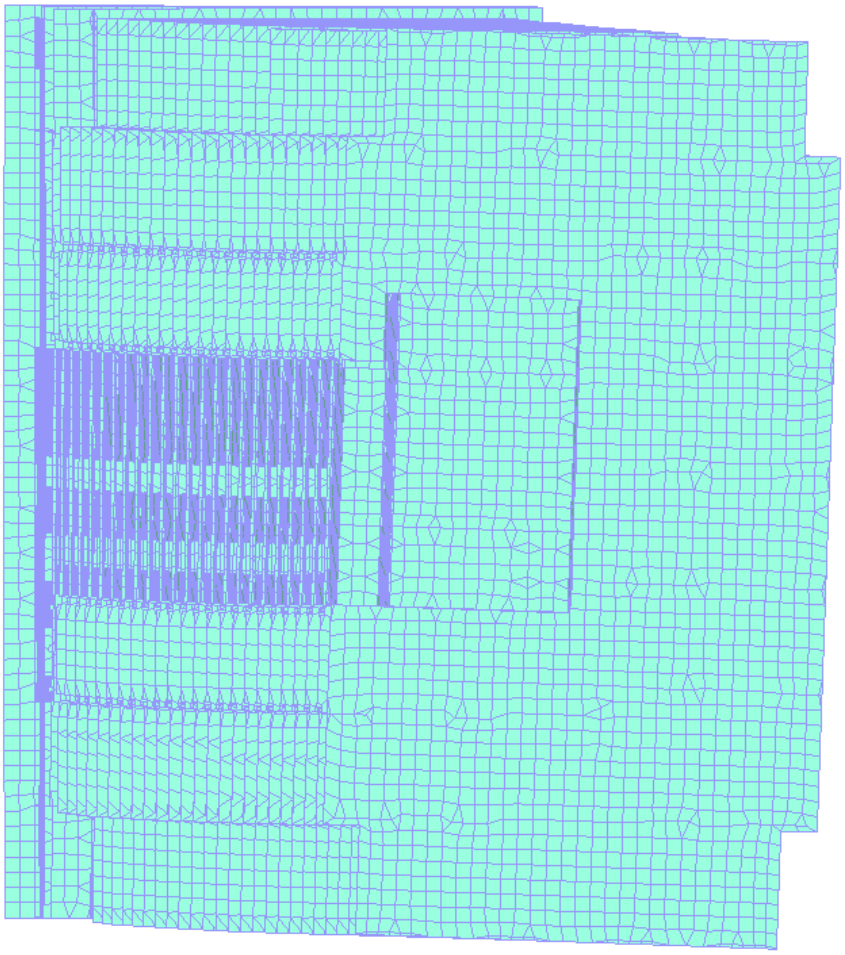
23..1. Форма 1
Частота: 0.21546 (Гц)

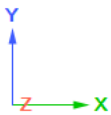




1 форма колебаний, 0.215 Гц

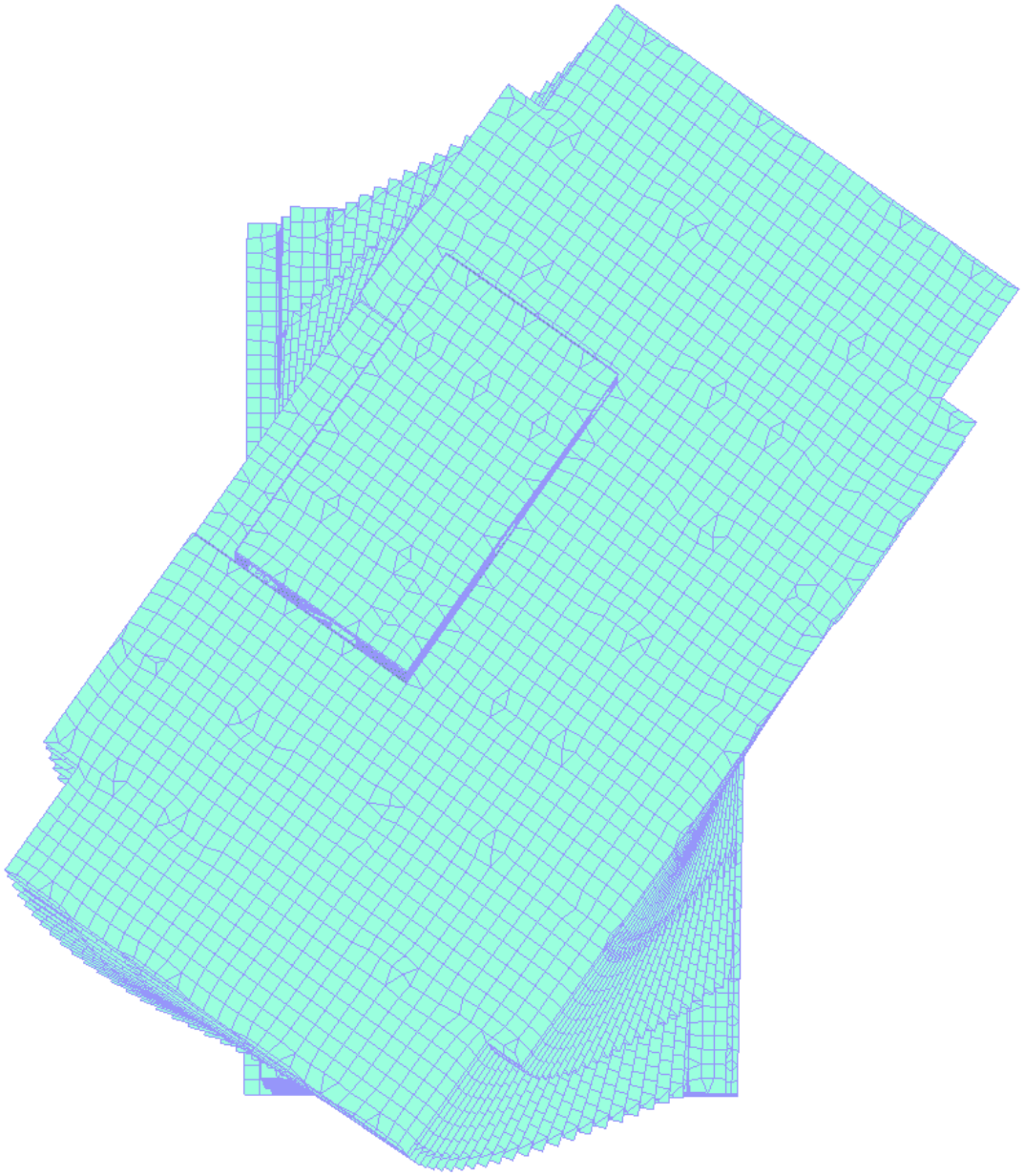
23..2. Форма 2
Частота: 0.2597 (Гц)





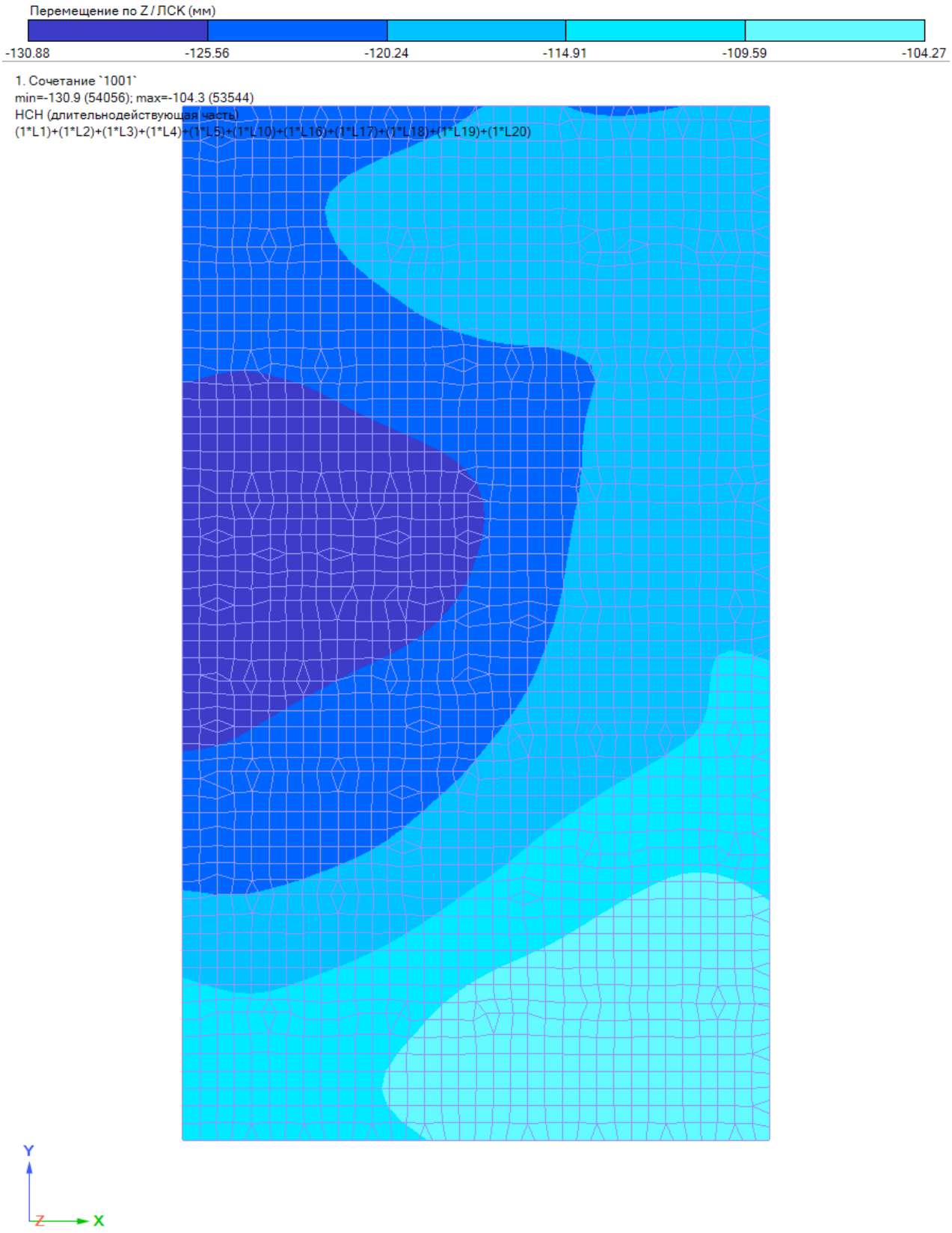
2 форма колебаний, 0.259 Гц

23..3. Форма 3
Частота: 0.41276 (Гц)

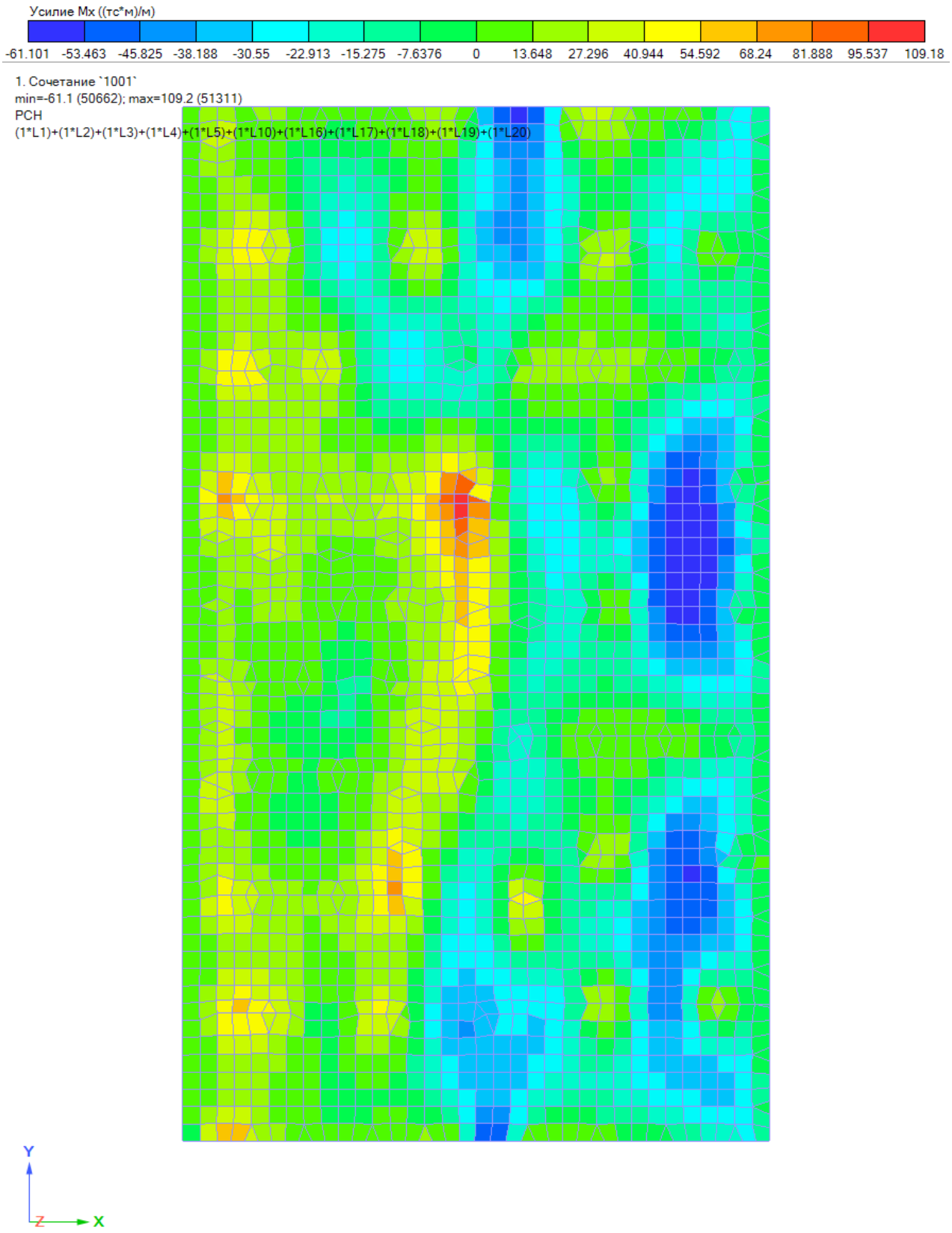


3 форма колебаний, 0.412 Гц

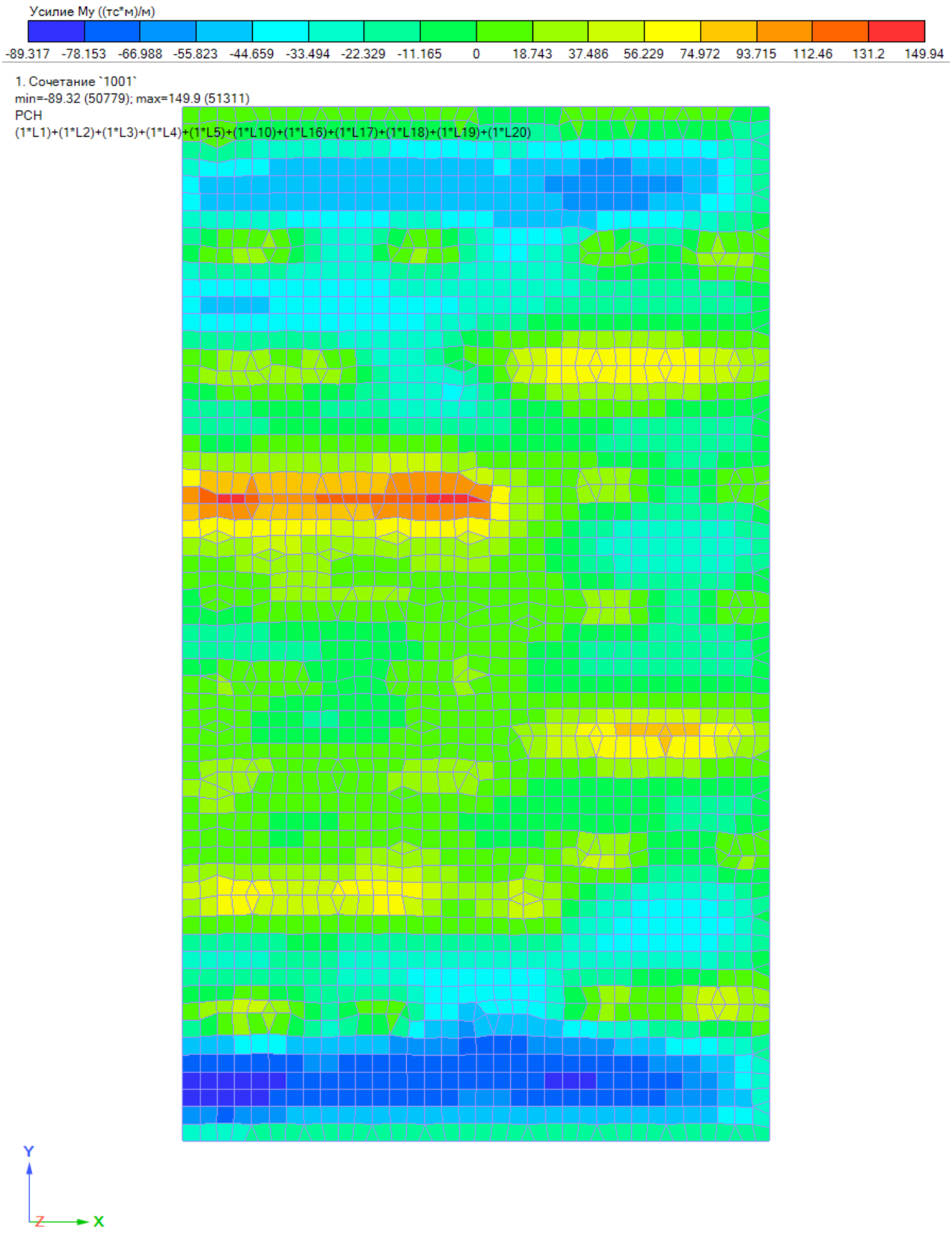
2. РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТНЫХ ПЛИТ ОТМ. -7.200 (ФУНДАМЕНТНАЯ ПЛИТА)



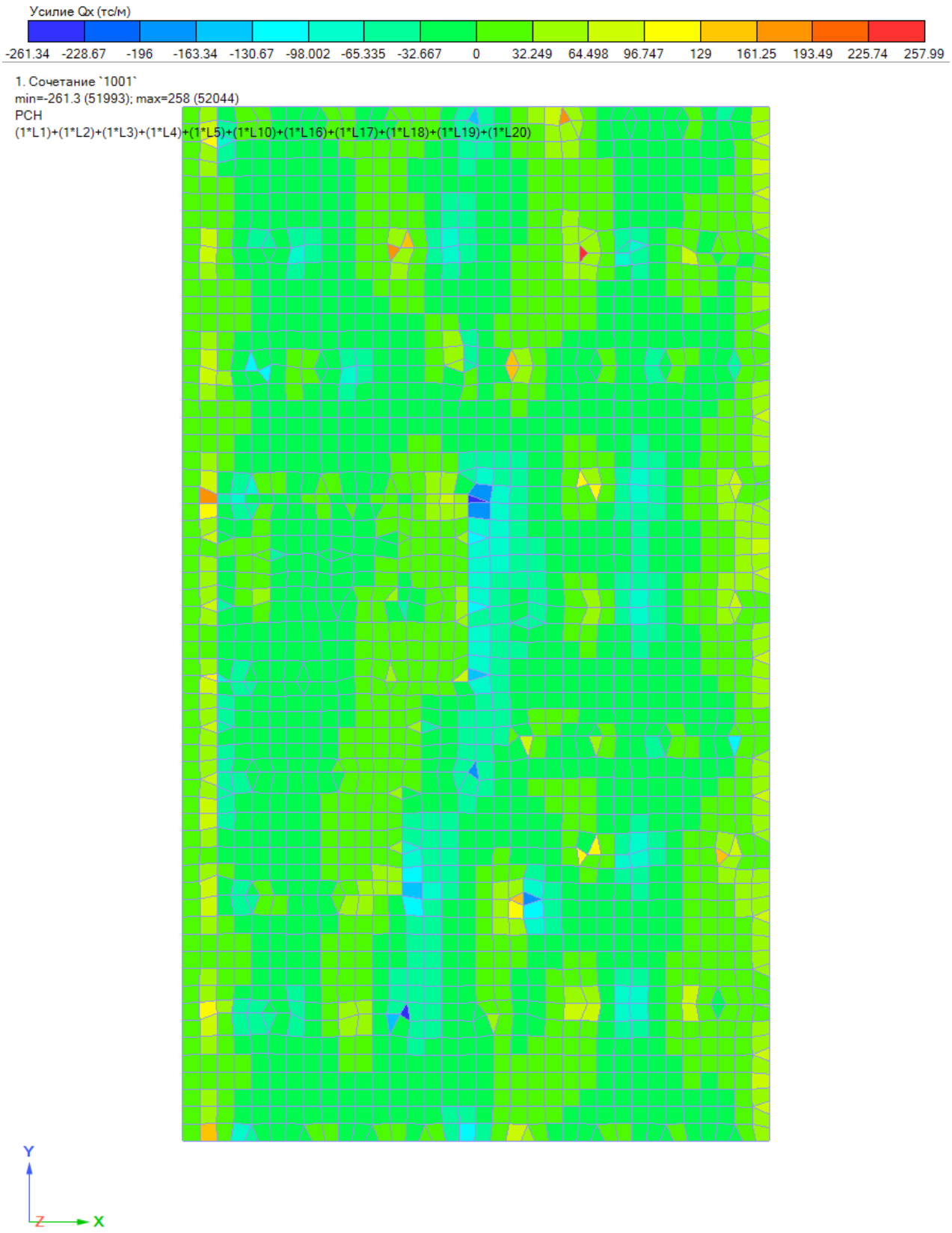
Изополя перемещения по Z, мм



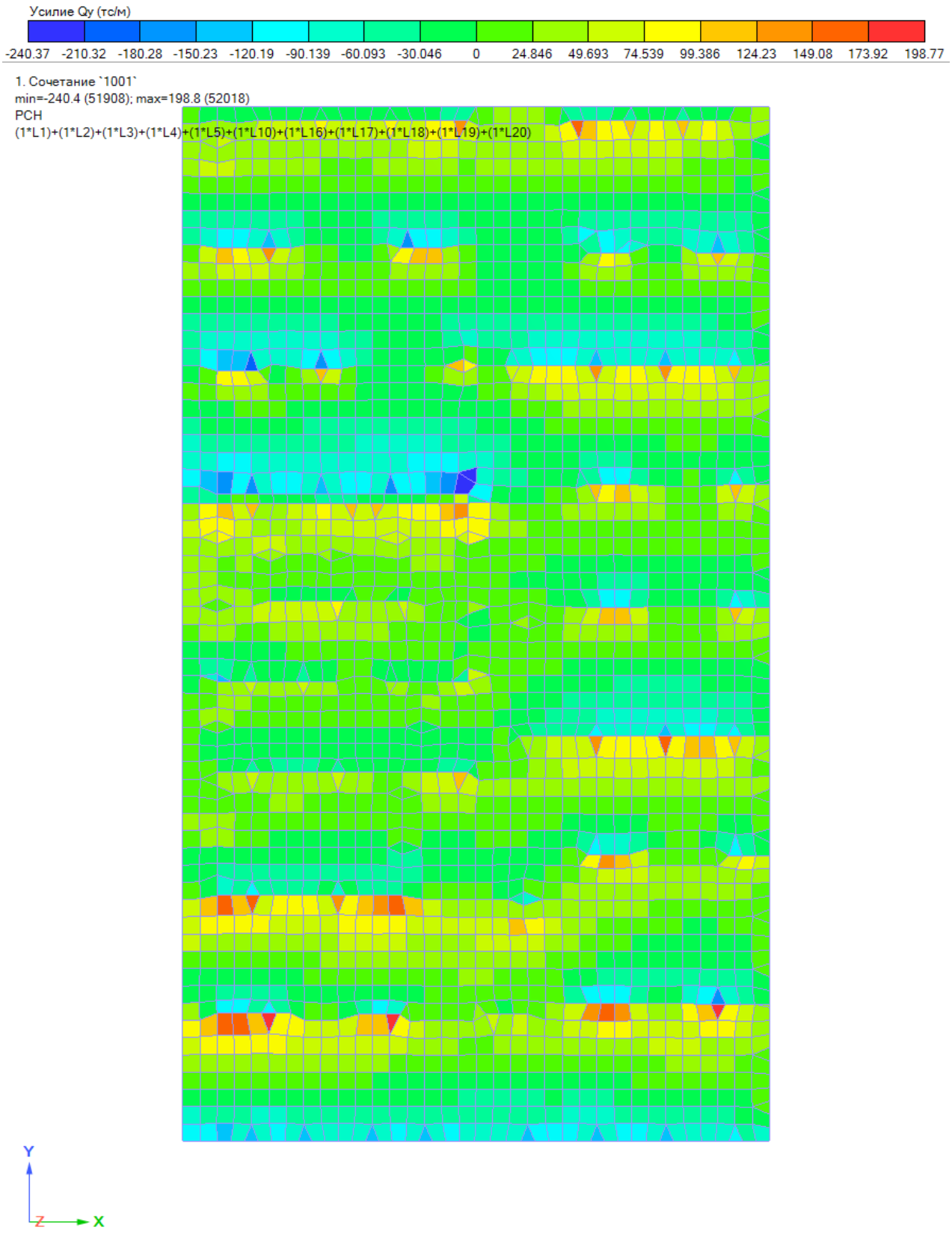
Изополя усилия Mx, тс*м/м



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qx, тс/м



Изополя усилия Qy, тс/м

Проверка сечения фундаментной плиты в/о 3.1-3.2/3.У 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 $M = 945\text{кНм}$
- Изгибающий момент от постоянной и длительной нагрузки $M_l = 897.75\text{кНм}$
- Продольная сила от полной нагрузки $N = 21\text{кН}$
- Продольная сила от постоянной и длительной нагрузки $N_l = 19.95\text{кН}$

ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЯ

- Ширина сечения $b = 100\text{см} = 1\text{м}$
- Высота сечения $h = 90\text{см} = 0.9\text{м}$
- Расстояние от грани до центра растянутой арматуры $a = 4\text{см} = 0.04\text{м}$
- Расстояние от грани до центра сжатой арматуры $a' = 3\text{см} = 0.03\text{м}$
- Площадь растянутой арматуры $A_s = 44.2\text{см}^2 = 4.42 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- Площадь сжатой арматуры $A'_s = 30.8\text{см}^2 = 3.08 \cdot 10^{-3}\text{м}^2$
- Диаметр арматуры $d_s = 25\text{мм} = 0.025\text{м}$
- 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 B30
- Начальный модуль упругости $E_b = 32500000\text{кПа}$
- Нормативное сопротивление сжатию $R_{bn} = 22000\text{кПа}$
- Нормативное сопротивление растяжению $R_{bt,ser} = 1750\text{кПа}$
- Относительные деформации бетона $\varepsilon_{b1,red} = 0.0015$

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

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

РАСЧЕТ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ

$$h_0 = 0.9 - 0.04 = 0.86\text{м}$$

$$h_0' = 0.9 - 0.03 = 0.87\text{м}$$

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

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

$$A_{red} = A + \alpha(A_s + A_s') = 0.9 + 6.15(4.42 \cdot 10^{-3} + 3.08 \cdot 10^{-3}) = 0.9461\text{м}^2$$

$$S_{t,red} = \frac{Ah}{2} + \alpha(A_{sa} + A_s'h_0') = \frac{0.9 \cdot 0.9}{2} + 6.15(4.42 \cdot 10^{-3} \cdot 0.04 + 3.08 \cdot 10^{-3} \cdot 0.87) = 0.4226\text{м}^3$$

$$y_t = \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = \frac{0.4226}{0.9461} = 0.447\text{м}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} + A\left(\frac{h}{2} - y_t\right)^2 = 1 \cdot \frac{0.9^3}{12} + 0.9\left(\frac{0.9}{2} - 0.447\right)^2 = 60.76 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_s = \alpha A_s(y_t - a)^2 = 6.15 \cdot (4.42 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.447 - 0.04)^2 = 4.5 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_s' = \alpha A_s'(h_0' - y_t)^2 = 6.15 \cdot (3.08 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.87 - 0.447)^2 = 3.4 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$I_{red} = I + I_s + I_s' = 60.76 \cdot 10^{-3} + 4.5 \cdot 10^{-3} + 3.4 \cdot 10^{-3} = 68.65 \cdot 10^{-3}\text{м}^4$$

$$W_{red} = \frac{I_{red}}{y_t} = \frac{68.65 \cdot 10^{-3}}{0.447} = 0.1537\text{м}^3$$

$$W_{pl} = 1.3W_{red} = 1.3 \cdot 0.1537 = 0.1998\text{м}^3$$

$$e_x = \frac{W_{red}}{A_{red}} = \frac{0.1537}{0.9461} = 0.162\text{м}$$

$$M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} - Ne_x = 1750 \cdot 0.1998 - 21 \cdot 0.162 = 346.28\text{кНм}$$

$$M = 945\text{кНм} > M_{crc} = 346.28\text{кНм, трещины образуются}$$

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

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

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

$$\mu_s = \frac{A_s}{bh_0} = \frac{4.42 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0.86} = 0.0051$$

$$\mu_s' = \frac{A_s'}{bh_0} = \frac{3.08 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0.86} = 0.0036$$

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

$$= 0.86\left(\sqrt{(0.0051\cdot 13.636+0.0036\cdot 13.636)^2+2(0.0051\cdot 13.636+0.0036\cdot 13.636\cdot 0.03/0.86)}\right.$$

$$\left.-(0.0051\cdot 13.636+0.0036\cdot 13.636)\right) = 0.239\text{м}$$

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N_l}{A_{red}M_l} = 0.239 + \frac{6.865E-002\cdot 19.95}{0.946\cdot 897.75} = 0.238\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.238\cdot 1 = 0.2376\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.2376 + 13.636\cdot 3.08\cdot 10^{-3} + 13.636\cdot 4.42\cdot 10^{-3} = 0.3398\text{м}^2$$

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

$$= 0.2376\left(0.9-\frac{0.238}{2}\right) + (3.08\cdot 10^{-3})\cdot 0.87\cdot 13.636 + (4.42\cdot 10^{-3})\cdot 0.86$$

$$\cdot 13.636 = 0.2246\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.9 - \frac{0.2246}{0.3398} = 0.239\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0-y_c)^2 = (4.42\cdot 10^{-3})\cdot(0.86-0.239)^2 = 1.703E-003\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c-a')^2 = (3.08\cdot 10^{-3})\cdot(0.239-0.03)^2 = 1.348E-004\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1\cdot\frac{0.239^3}{12} + 0.239\cdot 1\left(\frac{0.239}{2}\right) = 4.564E-003\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 4.564E-003 + 1.703E-003\cdot 13.636 + 1.348E-004\cdot 13.636$$

$$= 2.962E-002\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.9 - 0.238 = 0.662\text{м}$$

x_t принимается в пределах не менее $2a = 2\cdot 0.04 = 0.08$м и не более $0.5h = 0.5\cdot 0.9 = 0.45$м

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

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

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.45}{4.42\cdot 10^{-3}}\,0.025 = 1.273\text{м}$$

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

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M_l(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{897.75(0.86 - 0.239)}{2.962E-002} + \frac{19.95}{0.3398}\right)13.636 = 257387\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{346.28(0.86 - 0.239)}{2.962E-002} + \frac{19.95}{0.3398}\right)13.636 = 99771\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\ \frac{99771.2}{257386.87} = 0.69$$

$$a_{crc1} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.69\ \frac{257387}{200000000}\ 0.4 = 0.000298\text{м} = 0.298\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$a_{crc3} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.69\ \frac{257387}{200000000}\ 0.4 = 0.000213\text{м} = 0.213\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N}{A_{red}M} = 0.239 + \frac{6.865E-002 \cdot 21}{0.946 \cdot 945} = 0.238\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.238 \cdot 1 = 0.2376\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.2376 + 13.636 \cdot 3.08 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 4.42 \cdot 10^{-3} = 0.3398\text{м}^2$$

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

$$= 0.2376\left(0.9 - \frac{0.238}{2}\right) + 3.08 \cdot 10^{-3} \cdot 0.87 \cdot 13.636 + (4.42 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.86 \cdot 13.636$$

$$= 0.2246\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.9 - \frac{0.2246}{0.3398} = 0.239\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c) = (4.42 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.86 - 0.239) = 1.703E-003\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a') = (3.08 \cdot 10^{-3})(0.239 - 0.03) = 1.348E-004\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.239^3}{12} + 0.239 \cdot 1\left(\frac{0.239}{2}\right) = 4.564E-003\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 4.564E-003 + 1.703E-003 \cdot 13.636 + 1.348E-004 \cdot 13.636$$
$$= 2.962E-002\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.9 - 0.238 = 0.662\text{м}$$

x_t принимается в пределах не менее $2a = 2 \cdot 0.04 = 0.08$м и не более $0.5h = 0.5 \cdot 0.9 = 0.45$м

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

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

$$l_s = 0.5\frac{A_{bt}}{A_s}d_s = 0.5\frac{0.45}{4.42 \cdot 10^{-3}}\,0.025 = 1.273\text{м}$$

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{945(0.86 - 0.239)}{2.962E-002} + \frac{21}{0.3398}\right)13.636 = 270934\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{346.28(0.86 - 0.239)}{2.962E-002} + \frac{21}{0.3398}\right)13.636 = 99813\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\,\frac{99813.33}{270933.54} = 0.705$$

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

$$a_{crc2} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.705\,\frac{270934}{200000000}\,0.4 = 0.000213\text{м} = 0.213\text{мм}$$

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

$$a_{crc1} = 0.298\text{мм} \le a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм}$$

Ширина продолжительного раскрытия трещин не превышает предельной

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.000298 + 0.000229 - 0.000213 = 0.000315\text{м} = 0.315\ \text{мм}$$

$$a_{crc} = 0.315\text{мм} \le a_{crc,ult} = 0.4\text{мм}$$

Ширина непродолжительного раскрытия трещин не превышает предельной.

ПРОВЕРКА ПО ПЕРВОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

$$R_s = 435000\text{кПа}$$

$$R_{sc} = 435000\text{кПа}$$

$$R_b = 17000\text{кПа}$$

$$\varepsilon_{b2} = 0.0042$$

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

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

$$x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b} = \frac{435000 \cdot 0.004418 - 435000 \cdot 0.003079}{17000 \cdot 1} = 0.034\text{м}$$

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{0.034}{0.86} = 0.04$$

$$\xi = 0.04 < \xi_R = 0.493$$

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0.5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a')$$
$$= 17000 \cdot 1 \cdot 0.034(0.86 - 0.5 \cdot 0.034) + 435000 \cdot 0.003079(0.86 - 0.03)$$
$$= 1603\text{кНм}$$

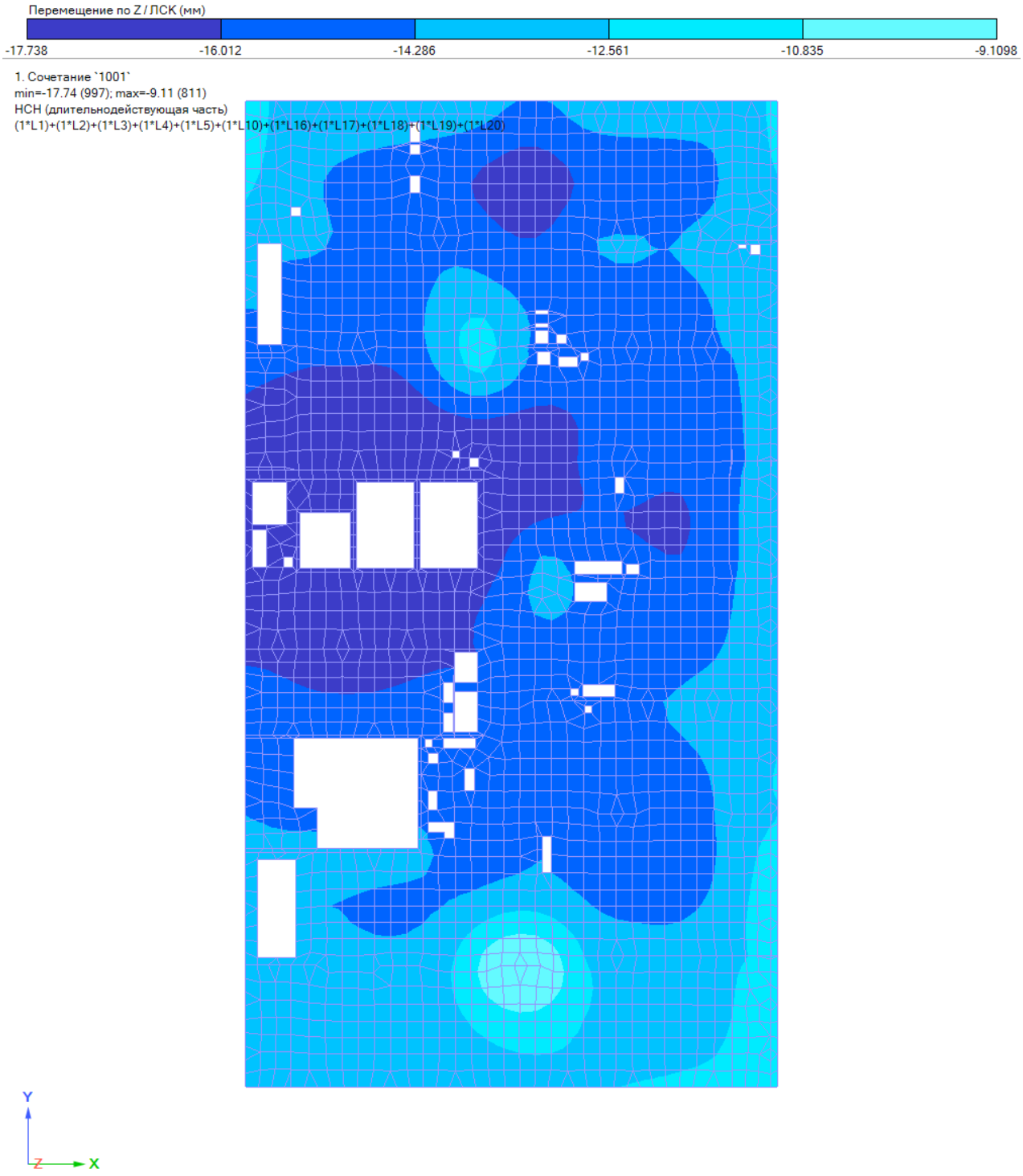
$$M = 1229\text{кНм} < M_{ult} = 1603\text{кНм}$$

Условие прочности выполняется

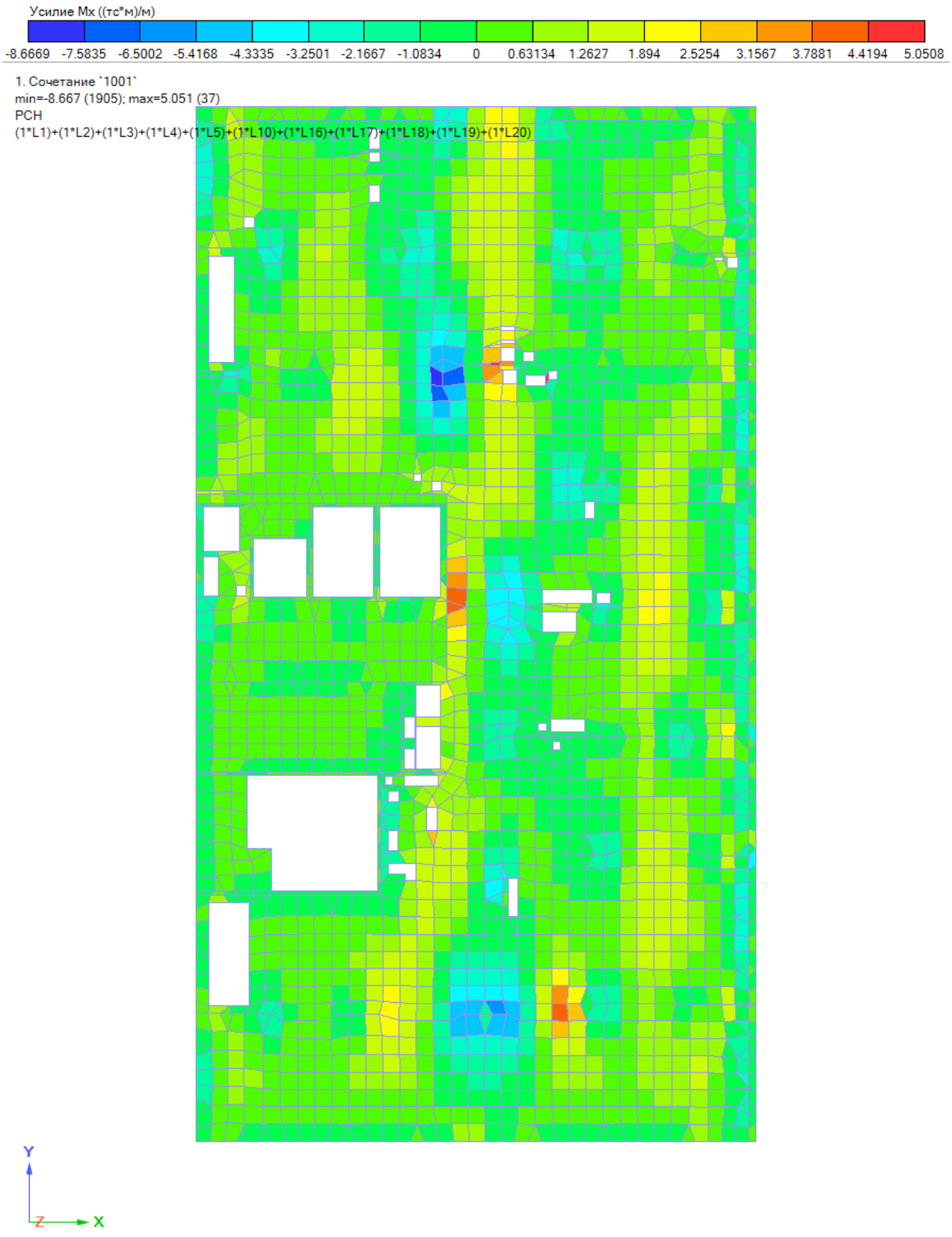
Коэффициент использования 0.7667



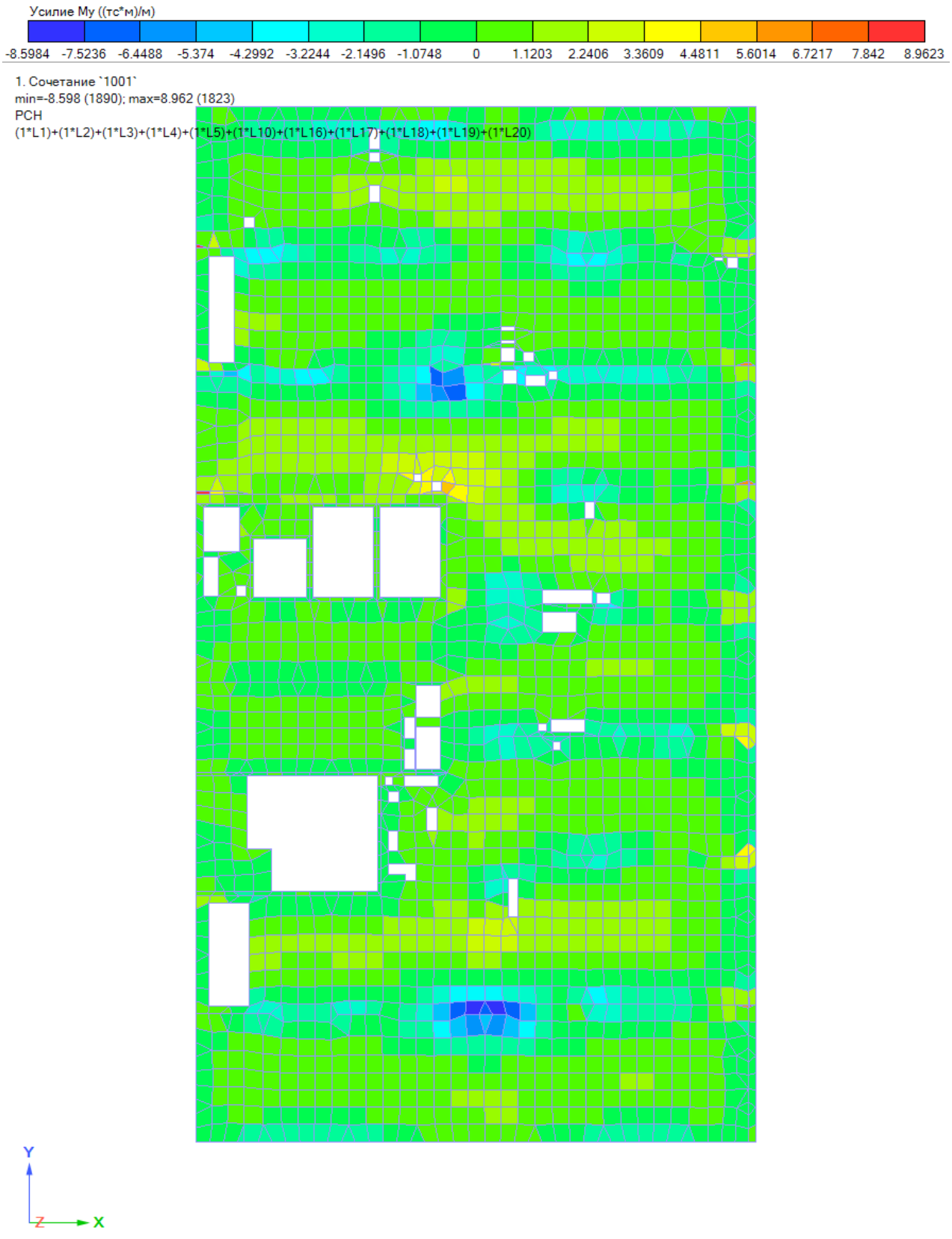
2.1. РАСЧЕТ ПЛИТ НА ОТМ. -0.850 (ПЛИТА НАД ПОДВАЛОМ)



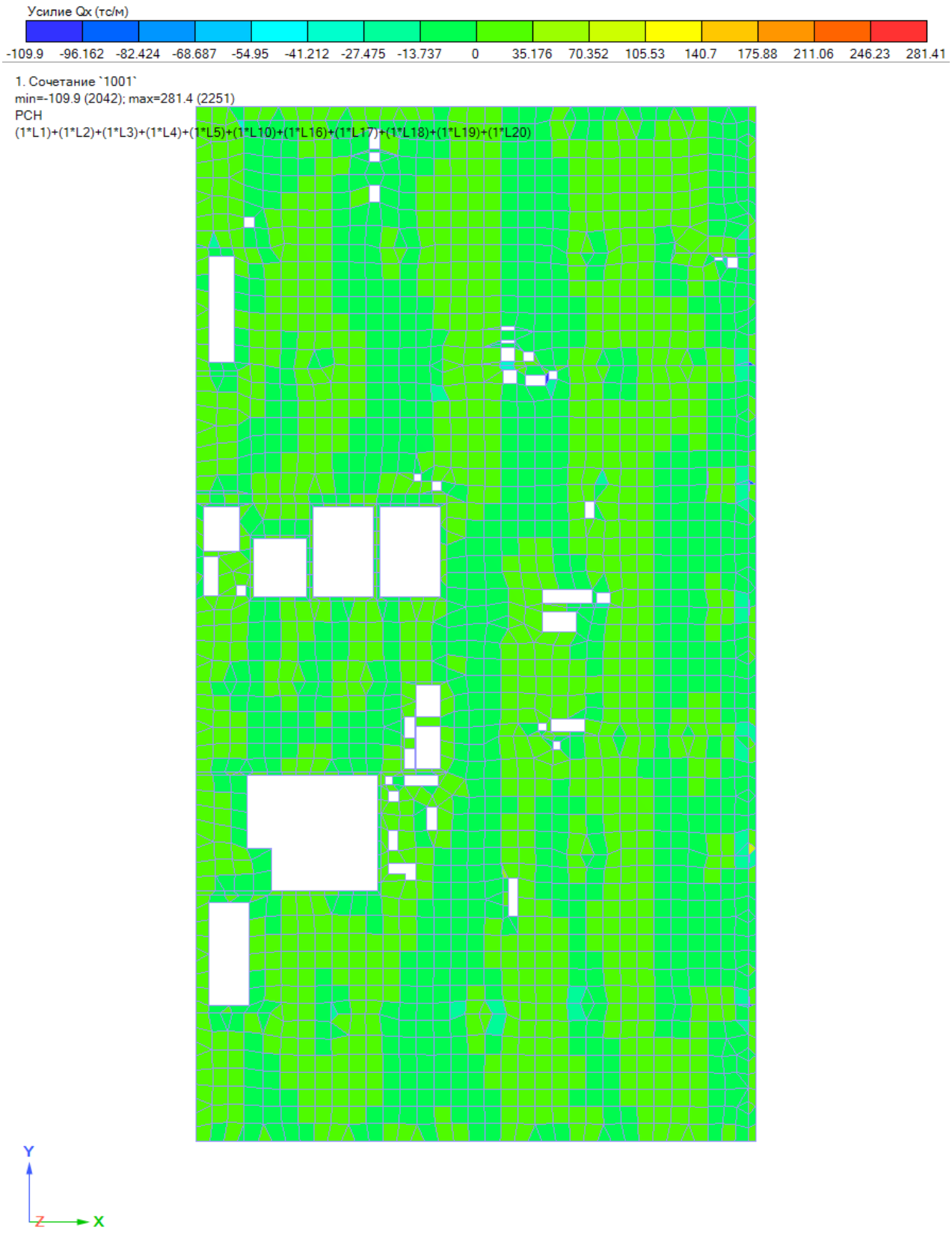
Изополя перемещения по Z, мм



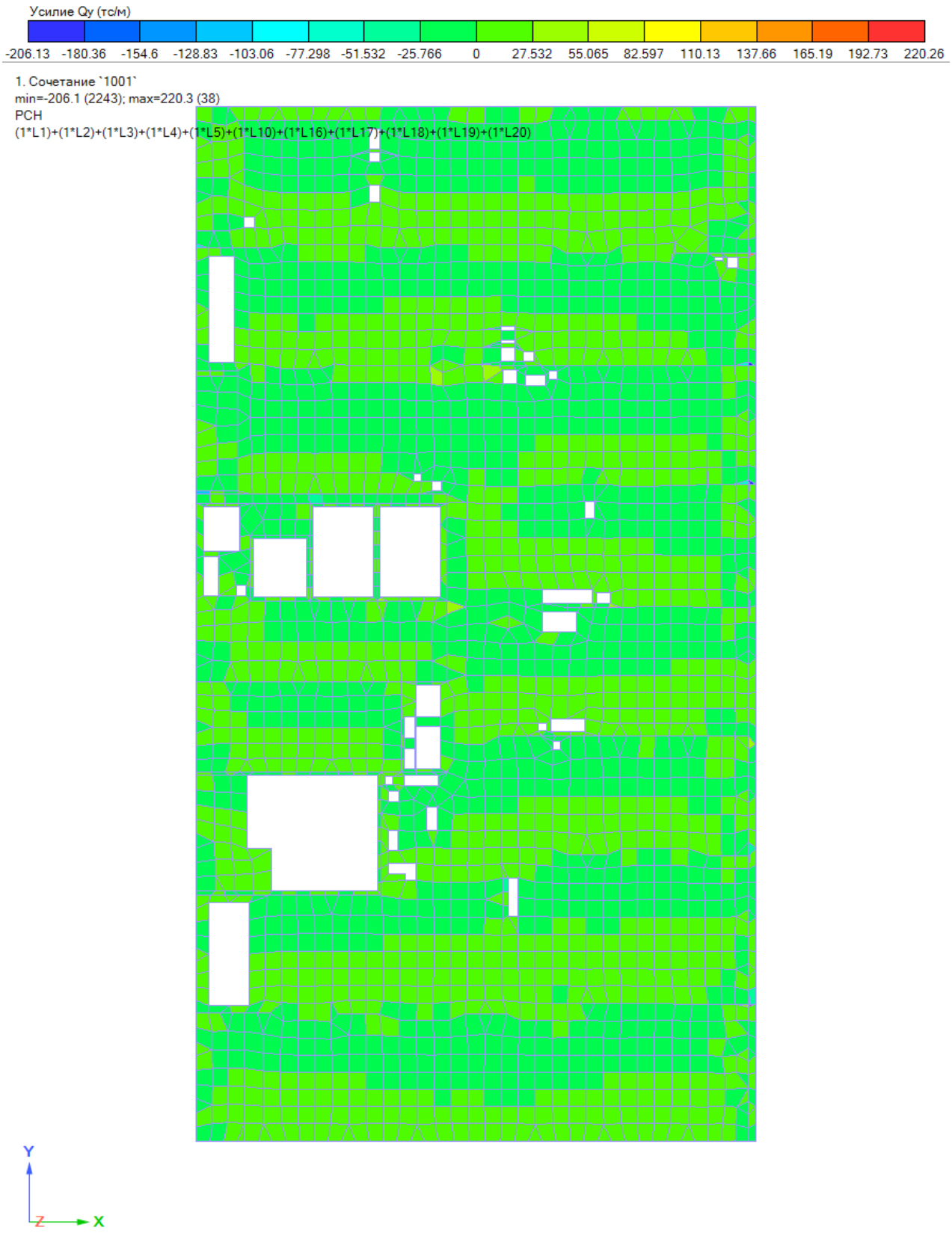
Изополя усилия Mx, тс*м/м



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qx, тс/м



Изополя усилия Qy, тс/м

Проверка сечения плиты в/о 3.Т/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 $M = 18.2\text{кНм}$
- Изгибающий момент от постоянной и длительной нагрузки $M_l = 17.29\text{кНм}$
- Продольная сила от полной нагрузки $N = 11.7\text{кН}$
- Продольная сила от постоянной и длительной нагрузки $N_l = 11.12\text{кН}$

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

$$h_0 = 0.2 - 0.04 = 0.16\text{м}$$

$$h_0' = 0.2 - 0.03 = 0.17\text{м}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} - Ne_x = 1750 \cdot 0.0089 - 11.7 \cdot 0.034 = 15.22\text{кНм}$$

$$M = 18.2\text{кНм} > M_{crc} = 15.22\text{кНм, трещины образуются}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N_l}{A_{red}M_l} = 0.036 + \frac{6.872E-004\cdot 11.12}{0.205\cdot 17.29} = 0.034\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.034\cdot 1 = 0.0335\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0335 + 13.636\cdot 0.39\cdot 10^{-3} + 13.636\cdot 0.39\cdot 10^{-3} = 0.0442\text{м}^2$$

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

$$= 0.0335\left(0.2-\frac{0.034}{2}\right) + (0.39\cdot 10^{-3})\cdot 0.17\cdot 13.636 + (0.39\cdot 10^{-3})\cdot 0.16$$

$$\cdot 13.636 = 0.0073\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.2 - \frac{0.0073}{0.0442} = 0.036\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0-y_c)^2 = (0.39\cdot 10^{-3})\cdot(0.16-0.036)^2 = 6.070E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c-a')^2 = (0.39\cdot 10^{-3})\cdot(0.036-0.03)^2 = 1.284E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1\cdot\frac{0.036^3}{12} + 0.036\cdot 1\left(\frac{0.036}{2}\right) = 1.519E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 1.519E-005 + 6.070E-006\cdot 13.636 + 1.284E-008\cdot 13.636$$

$$= 9.814E-005\text{м}^4$$

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

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

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M_l(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{17.29(0.16 - 0.036)}{9.814E-005} + \frac{11.12}{0.0442}\right)13.636 = 302003\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{15.22(0.16 - 0.036)}{9.814E-005} + \frac{11.12}{0.0442}\right)13.636 = 266322\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\ \frac{266321.63}{302002.78} = 0.295$$

$$a_{crc1} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.295\ \frac{302003}{200000000}\ 0.4 = 0.000149\text{м} = 0.149\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$a_{crc3} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.295\ \frac{302003}{200000000}\ 0.4 = 0.000107\text{м} = 0.107\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N}{A_{red}M} = 0.036\ + \frac{6.872E-004 \cdot 11.7}{0.205 \cdot 18.2} = 0.034\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.034 \cdot 1 = 0.0335\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0335 + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} = 0.0442\text{м}^2$$

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

$$= 0.0335\left(0.2 - \frac{0.034}{2}\right) + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.17 \cdot 13.636 + (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.16 \cdot 13.636$$

$$= 0.0073\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.2 - \frac{0.0073}{0.0442} = 0.036\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c) = (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.16 - 0.036) = 6.070E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a') = (0.39 \cdot 10^{-3})(0.036 - 0.03) = 1.284E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.036^3}{12} + 0.036 \cdot 1\left(\frac{0.036}{2}\right) = 1.519E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 1.519E-005 + 6.070E-006 \cdot 13.636 + 1.284E-008 \cdot 13.636 = 9.814E-005\text{м}^4$$

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

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{18.2(0.16 - 0.036)}{9.814E-005} + \frac{11.7}{0.0442}\right)13.636 = 317898\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{15.22(0.16 - 0.036)}{9.814E-005} + \frac{11.7}{0.0442}\right)13.636 = 266502\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\frac{266502.01}{317897.66} = 0.329$$

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

$$a_{crc2} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.329\frac{317898}{200000000}0.4 = 0.000107\text{м} = 0.107\text{мм}$$

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

$$a_{crc1} = 0.149\text{мм} \le a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм}$$

Ширина продолжительного раскрытия трещин не превышает предельной

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.000149 + 0.000126 - 0.000107 = 0.000168\text{м} = 0.168\ \text{мм}$$

$$a_{crc} = 0.168\text{мм} \le a_{crc,ult} = 0.4\text{мм}$$

Ширина непродолжительного раскрытия трещин не превышает предельной.

ПРОВЕРКА ПО ПЕРВОМУ ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

$$R_s = 435000\text{кПа}$$

$$R_{sc} = 435000\text{кПа}$$

$$R_b = 17000\text{кПа}$$

$$\varepsilon_{b2} = 0.0042$$

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

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

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

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

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

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

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

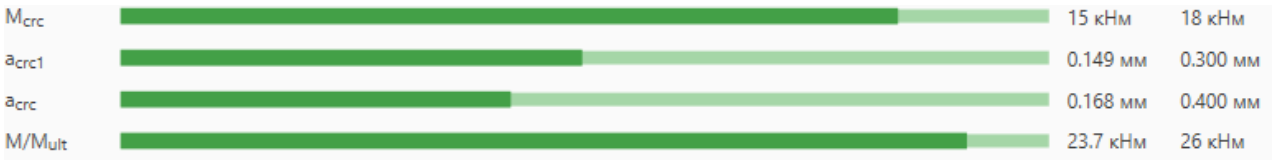
Так как $x = 0.01\text{м} < 2a' = 2 \cdot 0.03 = 0.08\text{м}$, то подставляется вместо a' значение x/2

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

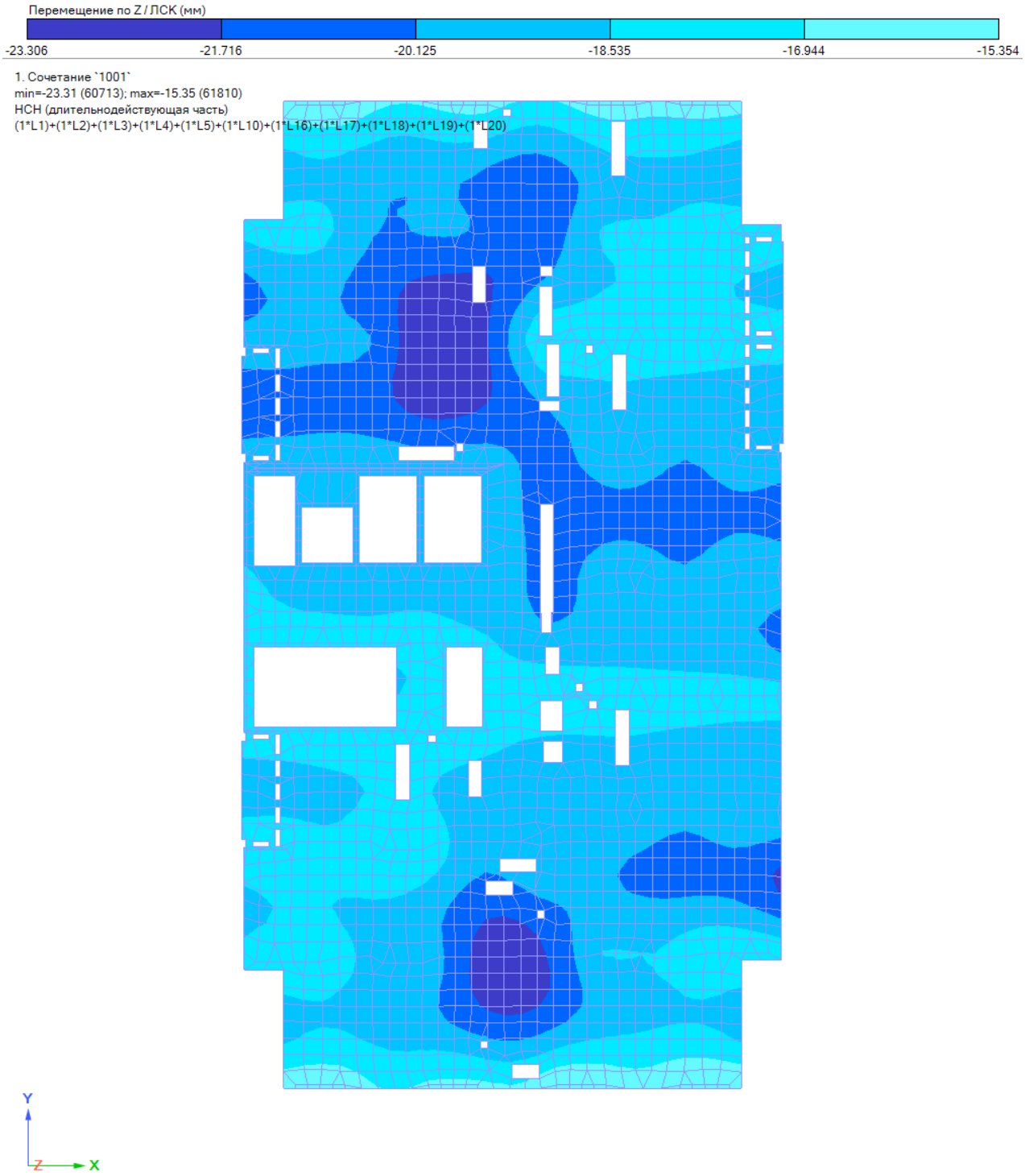
$$M = 24\text{кНм} < M_{ult} = 26\text{кНм}$$

Условие прочности выполняется

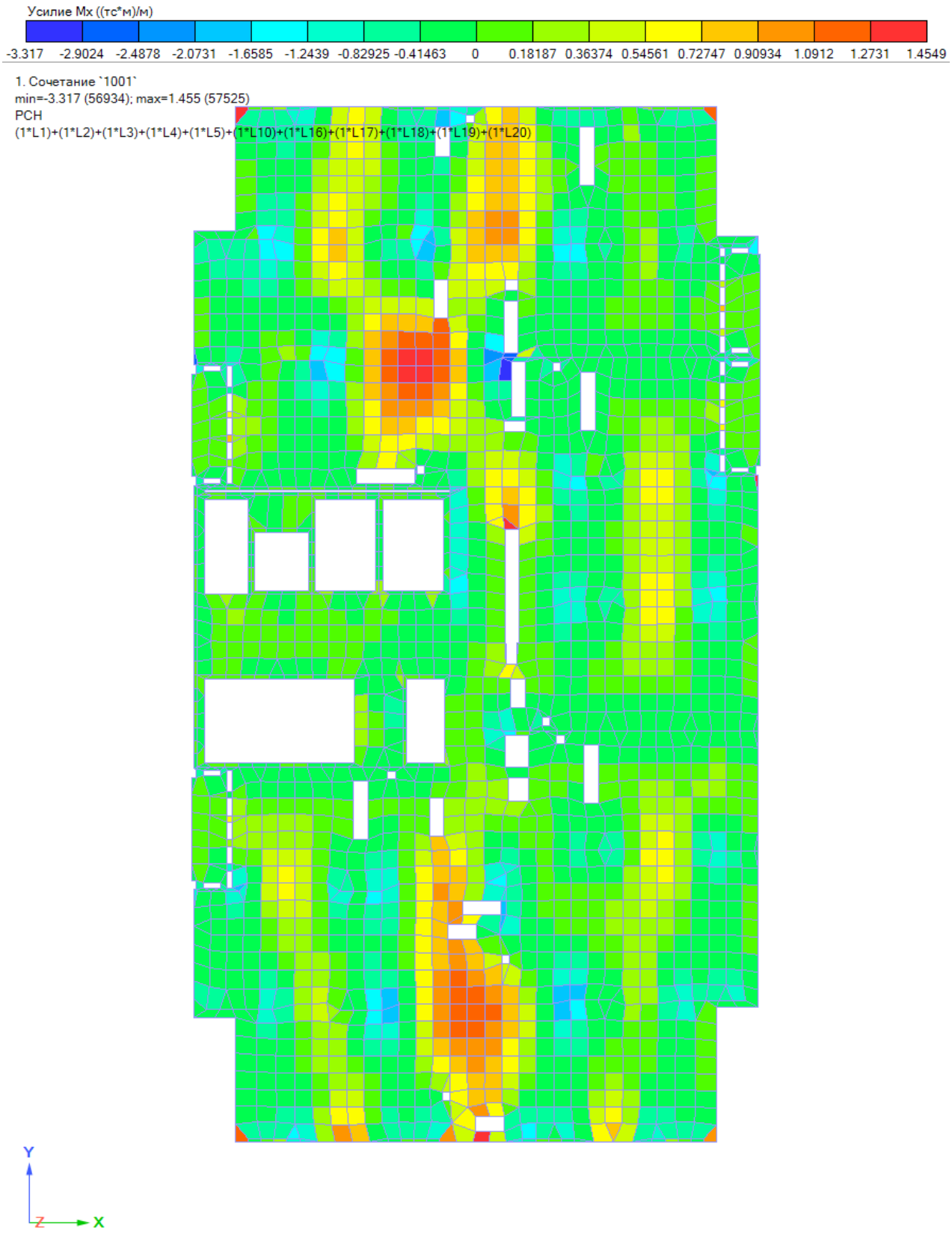
Коэффициент использования 0.8931



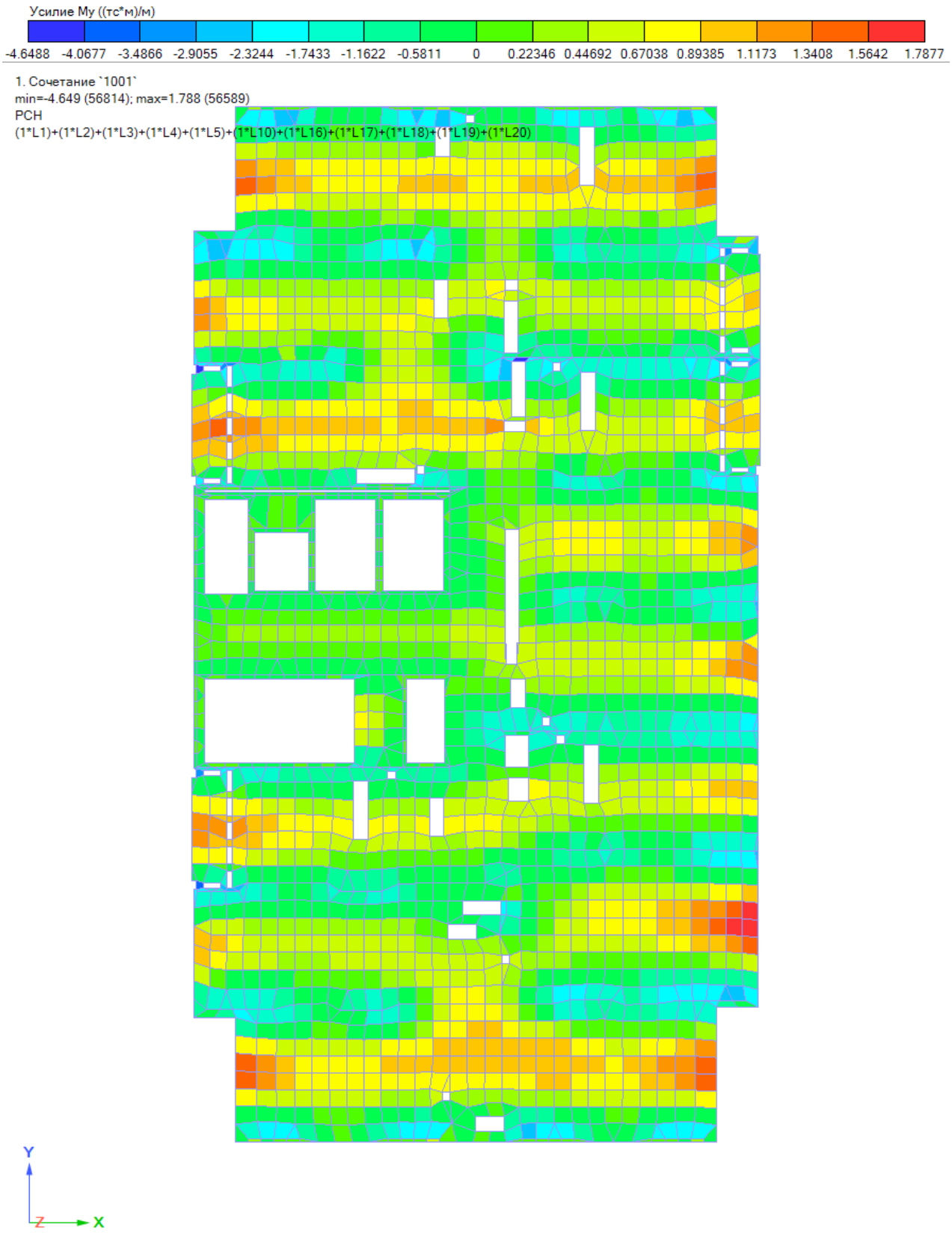
2.2. РАСЧЕТ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ НА ОТМ. +4.250, +7.250, +10.250, +13.250, +16.250, +19.250, +22.250, +25.250, +26.900, +28.250, +31.250, +34.250, +37.250, +40.250, +43.250, +46.250, +49.250, +52.250, +55.250, +58.250, +61.250, +64.250, +67.250, +70.250, +73.250 (ТИПОВОЙ ЭТАЖ)



Изополя перемещения по Z, мм

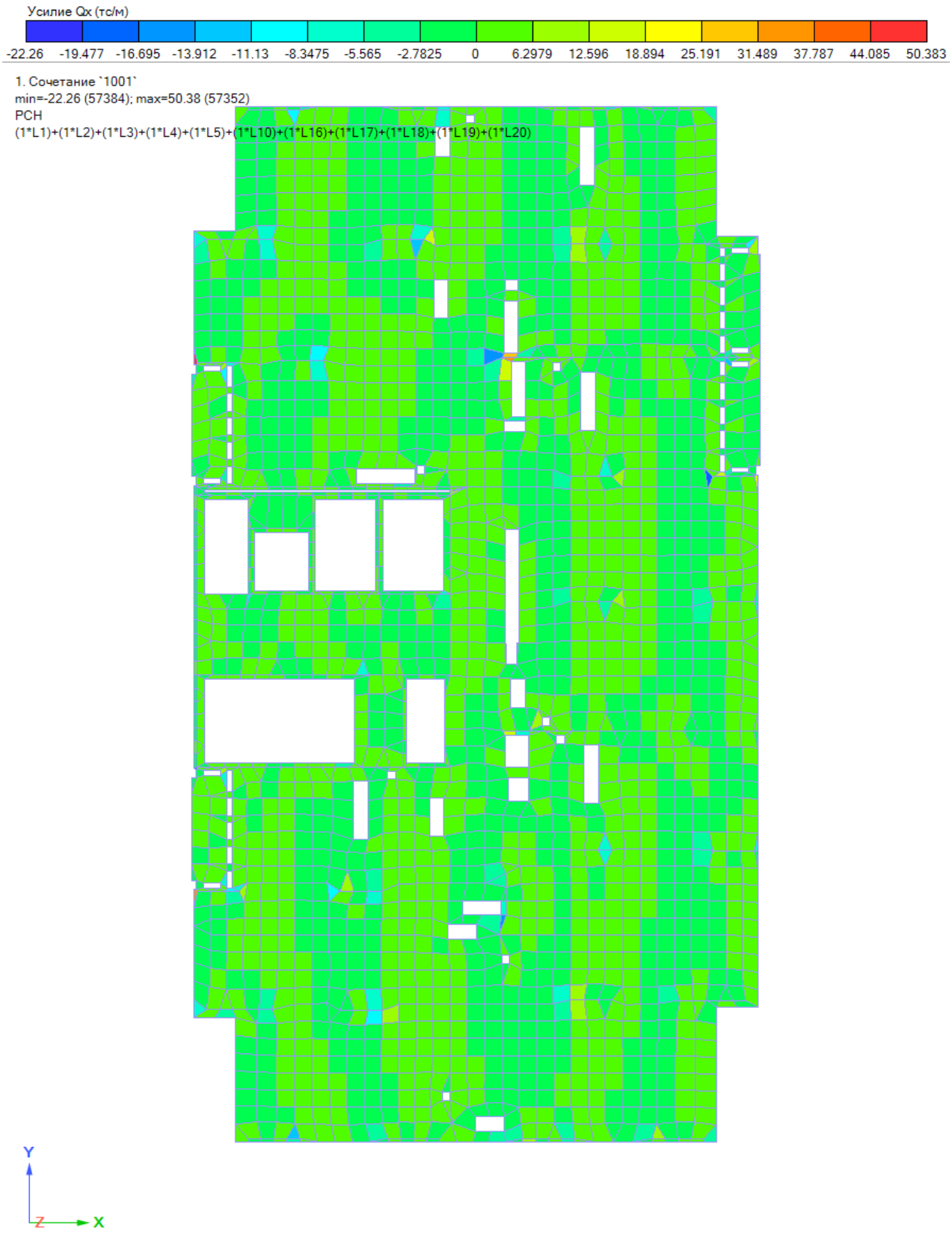


Изополя усилия Mx, тс*м/м

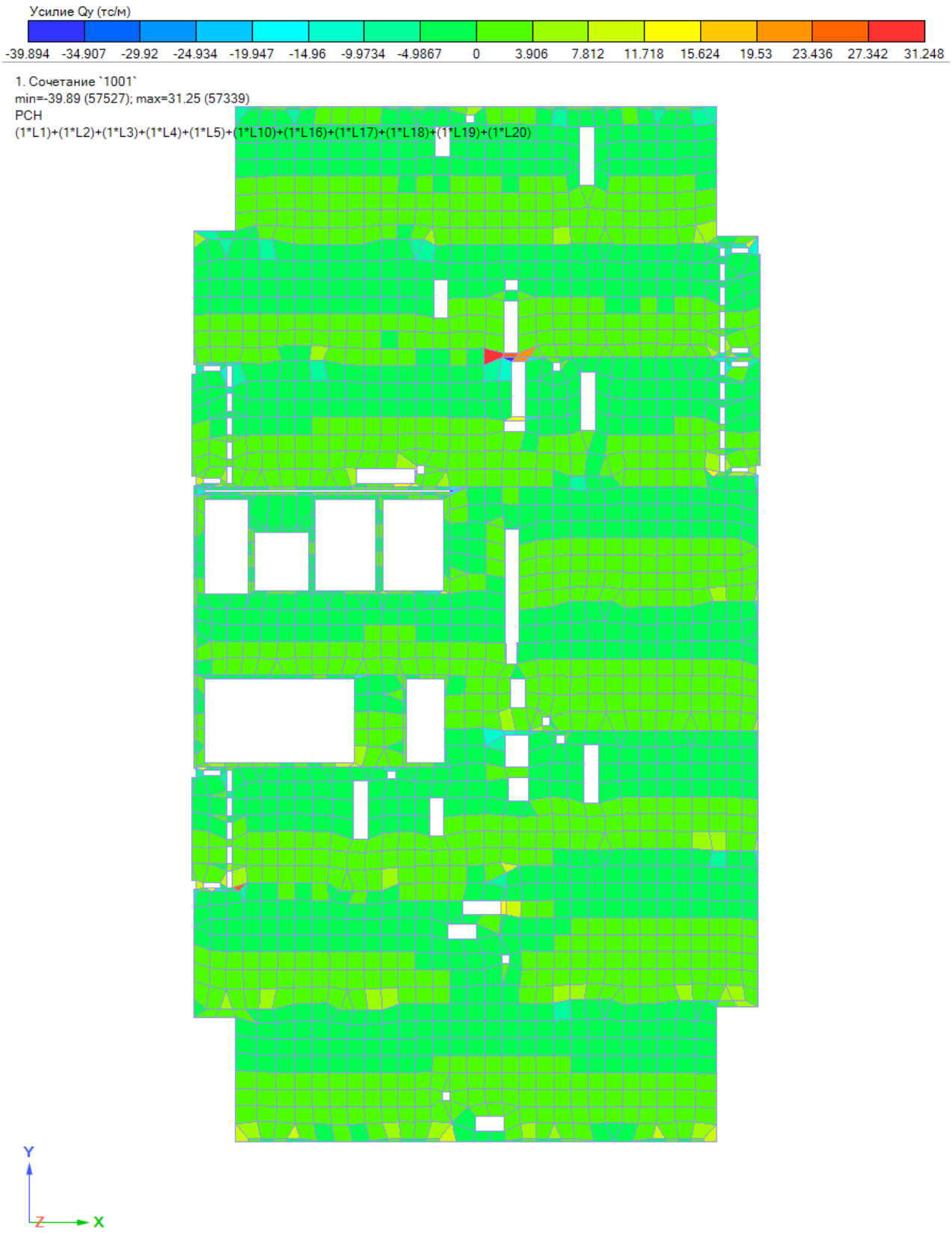


Изополя усилия My, тс*м/м

						17-0121-ОК-1-П-КР4.7	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		68



Изополя усилия Qx, тс/м



Изополя усилия Qy, тс/м

Проверка сечения плиты в/о 3.Т/3.2-3.3 на отм. +4.250...+73.250 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж. 0.4мм)

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

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Изгибающий момент от полной нагрузки $M = 12.7\text{кНм}$
- Изгибающий момент от постоянной и длительной нагрузки $M_l = 12.07\text{кНм}$
- Продольная сила от полной нагрузки $N = 8.7\text{кН}$
- Продольная сила от постоянной и длительной нагрузки $N_l = 8.27\text{кН}$

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

$$h_0 = 0.18 - 0.04 = 0.14\text{м}$$

$$h_0' = 0.18 - 0.03 = 0.15\text{м}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} - Ne_x = 1750 \cdot 0.0072 - 8.7 \cdot 0.03 = 12.38\text{кНм}$$

$$M = 12.7\text{кНм} > M_{crc} = 12.38\text{кНм}, \text{трещины образуются}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N_l}{A_{red}M_l} = 0.033 + \frac{5.007E-004\cdot 8.27}{0.185\cdot 12.07} = 0.031\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.031\cdot 1 = 0.0314\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0314 + 13.636\cdot 0.39\cdot 10^{-3} + 13.636\cdot 0.39\cdot 10^{-3} = 0.0422\text{м}^2$$

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

$$= 0.0314\left(0.18-\frac{0.031}{2}\right) + (0.39\cdot 10^{-3})\cdot 0.15\cdot 13.636 + (0.39\cdot 10^{-3})\cdot 0.14$$

$$\cdot 13.636 = 0.0062\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.18 - \frac{0.0062}{0.0422} = 0.033\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0-y_c)^2 = (0.39\cdot 10^{-3})\cdot(0.14-0.033)^2 = 4.471E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c-a')^2 = (0.39\cdot 10^{-3})\cdot(0.033-0.03)^2 = 4.368E-009\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1\cdot\frac{0.033^3}{12} + 0.033\cdot 1\left(\frac{0.033}{2}\right) = 1.235E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 1.235E-005 + 4.471E-006\cdot 13.636 + 4.368E-009\cdot 13.636$$

$$= 7.338E-005\text{м}^4$$

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

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

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

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

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

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

Принимаем $l_s = 0.4$м

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M_l(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{12.07(0.14 - 0.033)}{7.338E - 005} + \frac{8.27}{0.0422}\right)13.636 = 241827\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{12.38(0.14 - 0.033)}{7.338E - 005} + \frac{8.27}{0.0422}\right)13.636 = 248031\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\ \frac{248030.51}{241827.1} = 0.179$$

$$a_{crc1} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.179\ \frac{241827}{200000000}\ 0.4 = 0.000073\text{м} = 0.073\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$a_{crc3} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.179\ \frac{241827}{200000000}\ 0.4 = 0.000052\text{м} = 0.052\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N}{A_{red}M} = 0.033 + \frac{5.007E - 004 \cdot 8.7}{0.185 \cdot 12.7} = 0.031\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.031 \cdot 1 = 0.0314\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0314 + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} = 0.0422\text{м}^2$$

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

$$= 0.0314\left(0.18 - \frac{0.031}{2}\right) + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.15 \cdot 13.636 + (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.14$$

$$\cdot 13.636 = 0.0062\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.18 - \frac{0.0062}{0.0422} = 0.033\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c) = (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.14 - 0.033) = 4.471E - 006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a') = (0.39 \cdot 10^{-3})(0.033 - 0.03) = 4.368E - 009\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.033^3}{12} + 0.033 \cdot 1\left(\frac{0.033}{2}\right) = 1.235E - 005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 1.235E-005 + 4.471E-006 \cdot 13.636 + 4.368E-009 \cdot 13.636 = 7.338E-005\text{м}^4$$

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

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

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

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

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

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

Принимаем $l_s = 0.4$м

$$\sigma_s = \left(\frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{12.7(0.14 - 0.033)}{7.338E-005} + \frac{8.7}{0.0422}\right)13.636 = 254555\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{12.38(0.14 - 0.033)}{7.338E-005} + \frac{8.7}{0.0422}\right)13.636 = 248171\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\frac{248171.22}{254554.84} = 0.22$$

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

$$a_{crc2} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.22\frac{254555}{200000000}0.4 = 0.000052\text{м} = 0.052\text{мм}$$

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

$$a_{crc1} = 0.073\text{мм} \le a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм}$$

Ширина продолжительного раскрытия трещин не превышает предельной

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.000073 + 0.000067 - 0.000052 = 0.000088\text{м} = 0.088\ \text{мм}$$

$$a_{crc} = 0.088\text{мм} \le a_{crc,ult} = 0.4\text{мм}$$

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

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

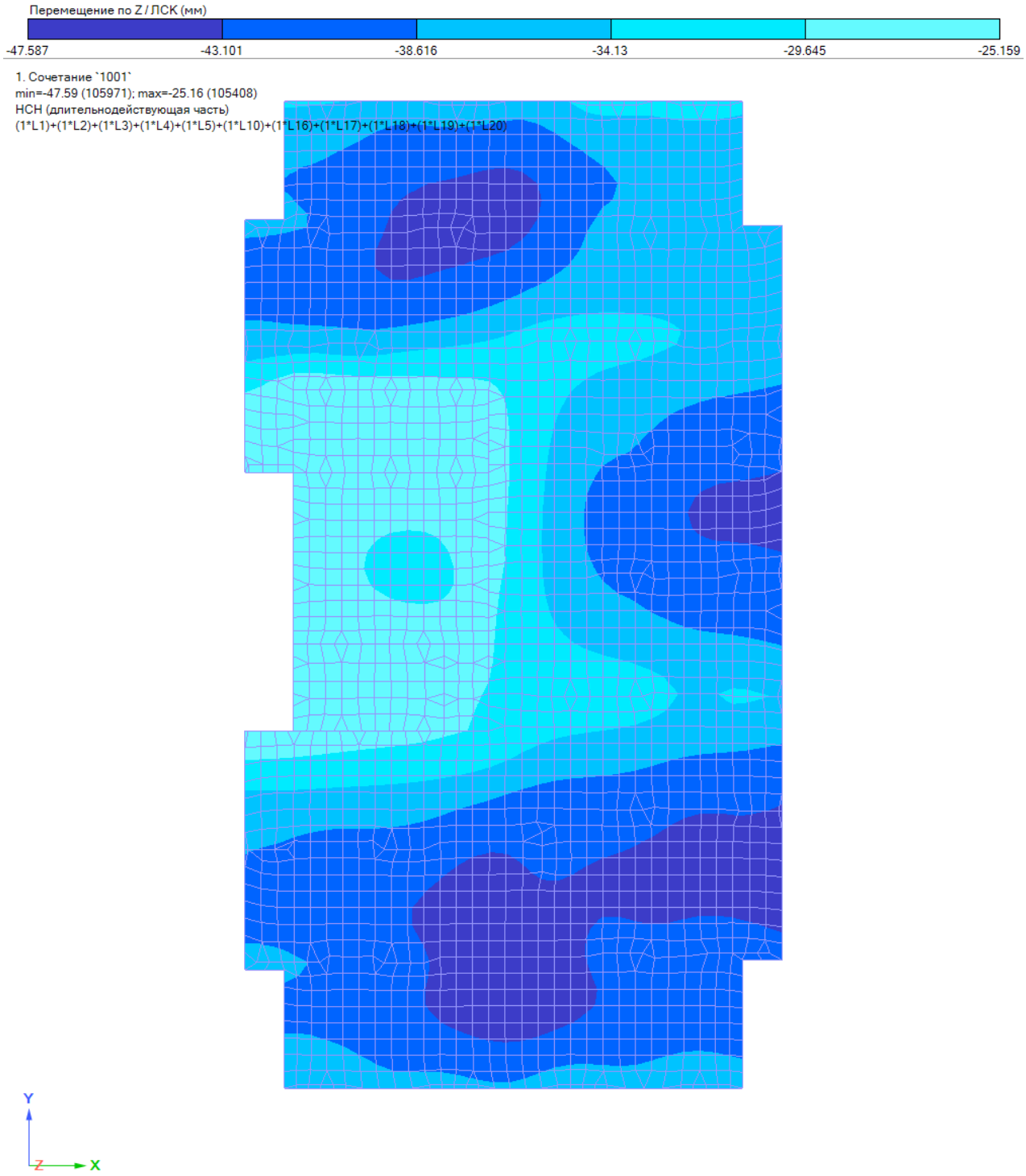
$$M = 17\text{кНм} < M_{ult} = 23\text{кНм}$$

Условие прочности выполняется

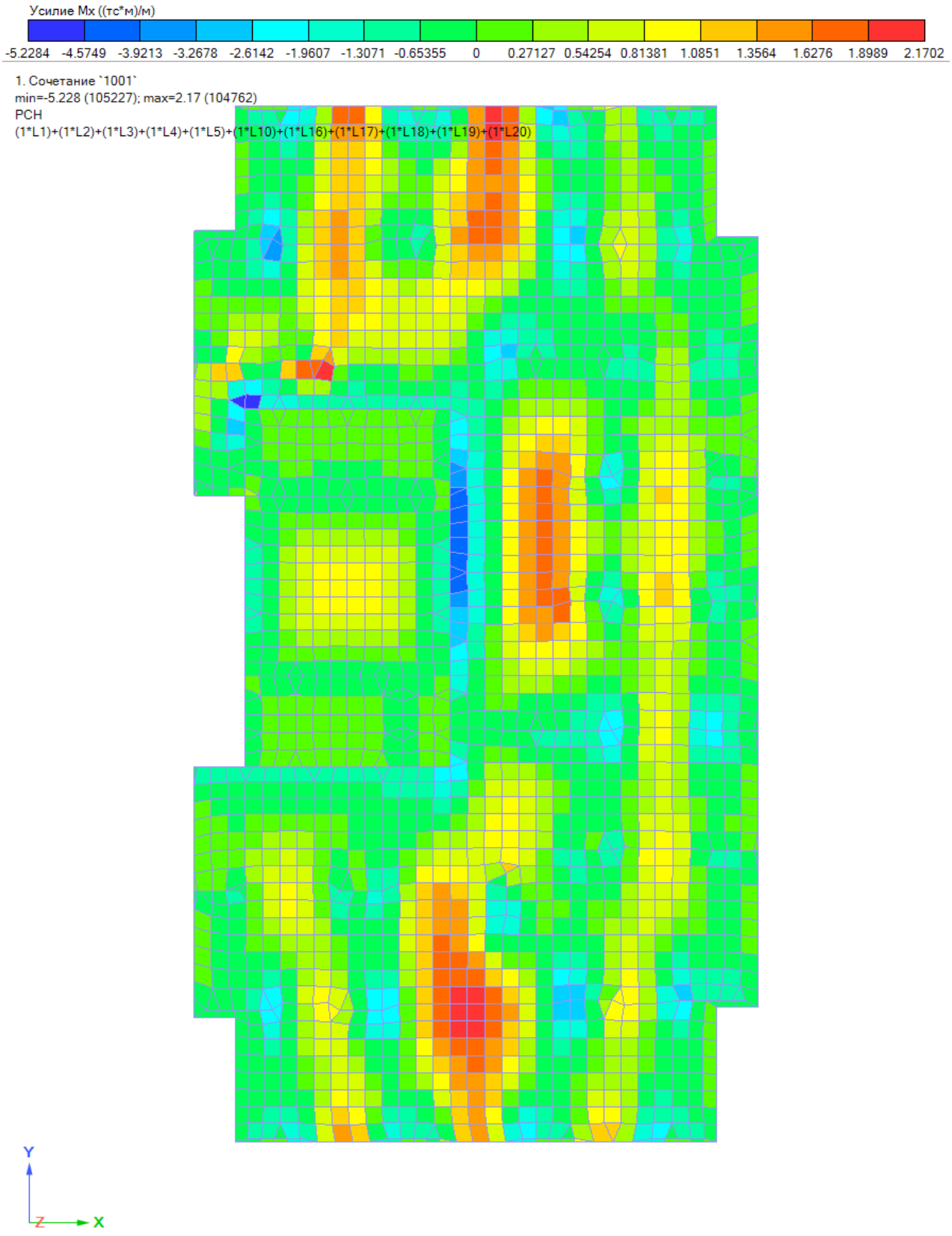
Коэффициент использования 0.7155



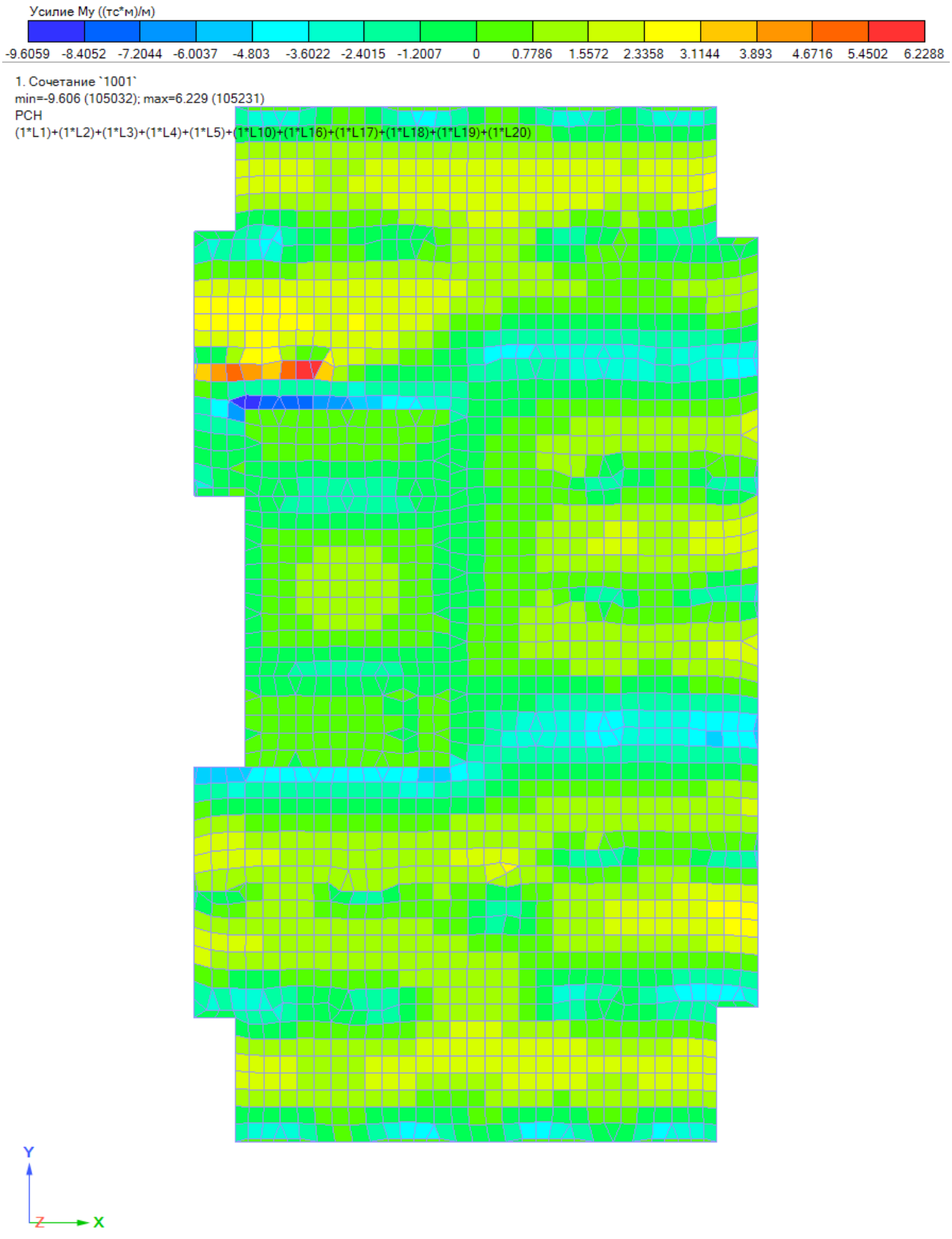
2.3. РАСЧЕТ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ НА ОТМ. +75.250



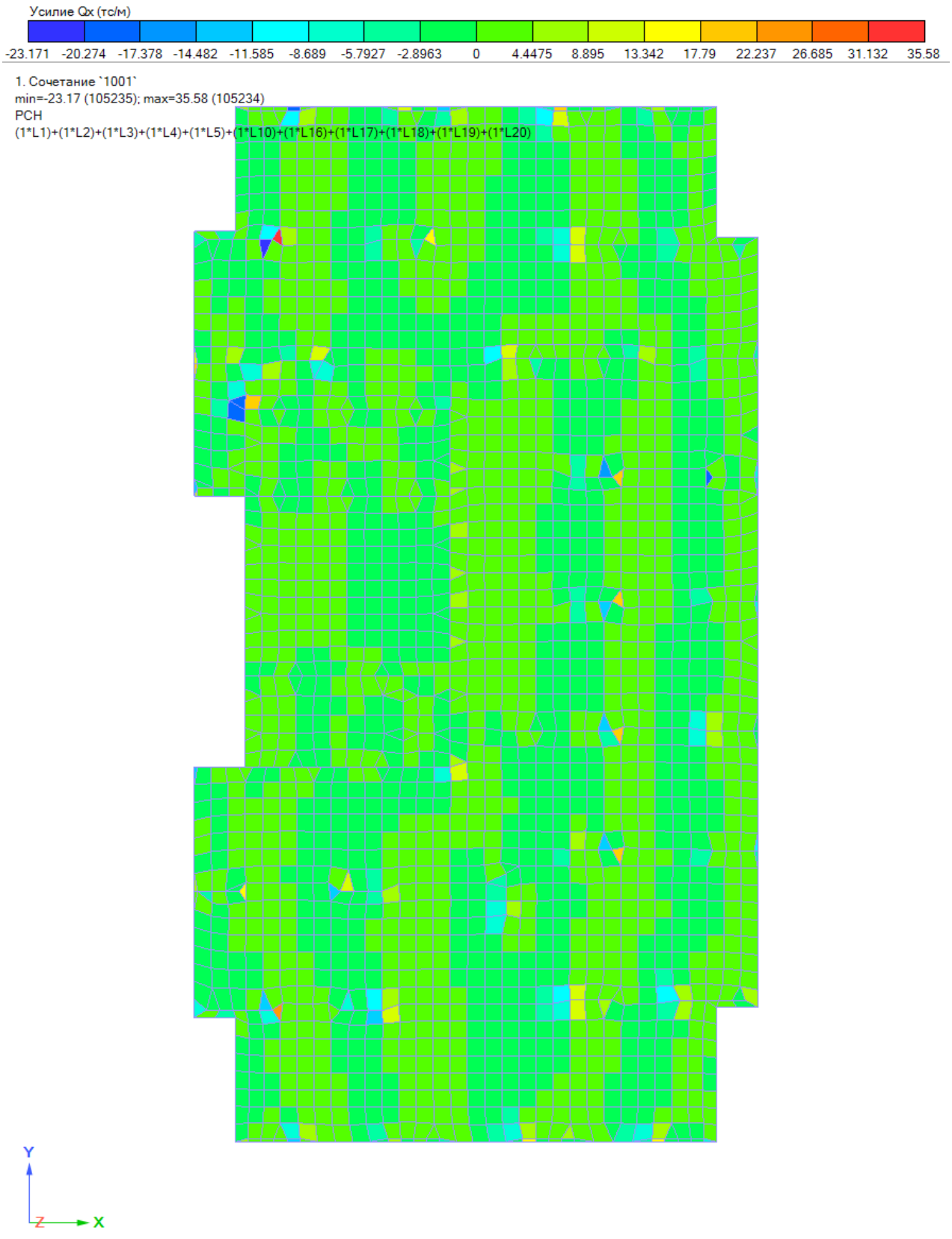
Изополя перемещения по Z, мм



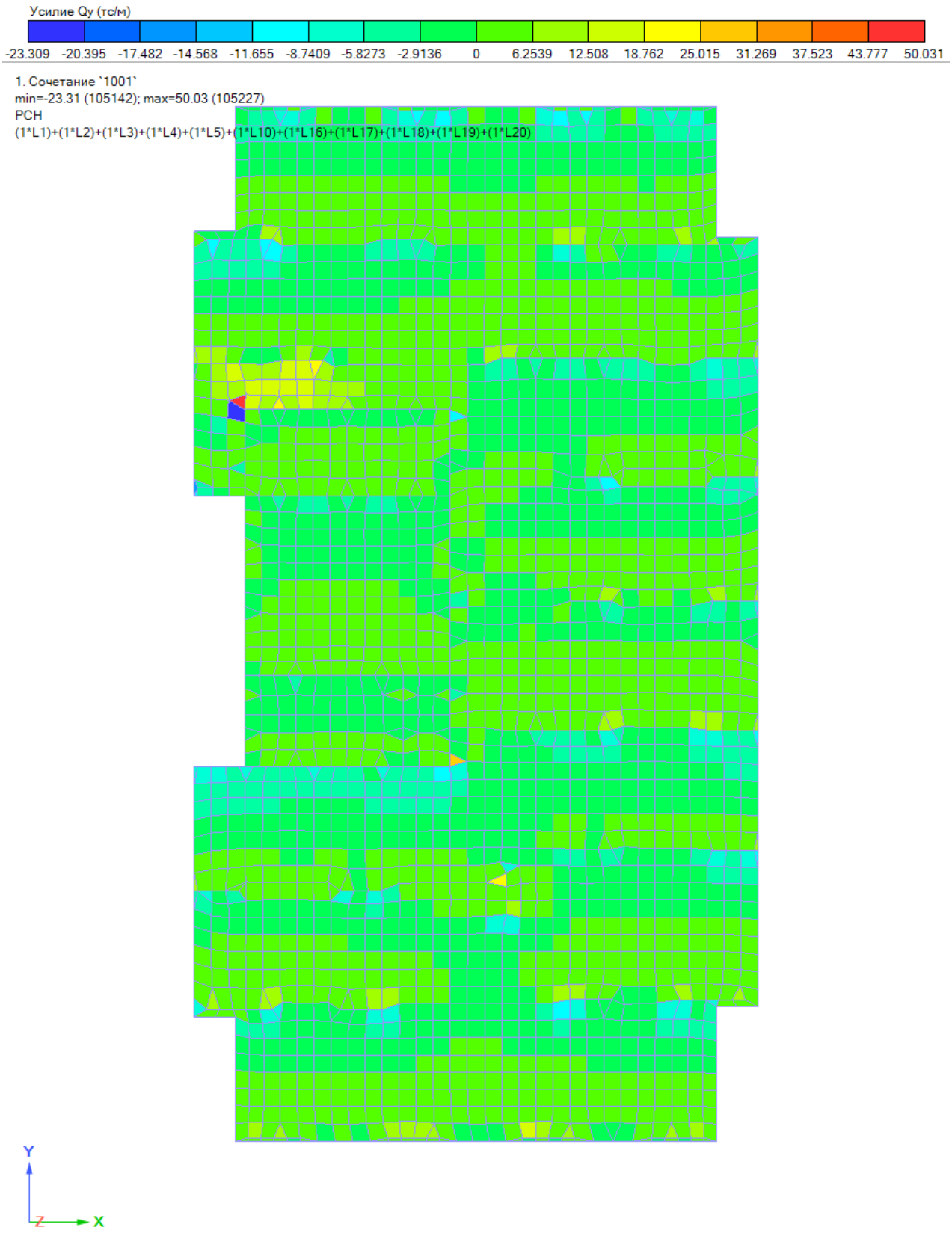
Изополя усилия Mx, тс*м/м



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qx, тс/м



Изополя усилия Qy, тс/м

Проверка сечения плиты в/о 3.3-3.4/3.Ю на отм. +75.250 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)

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

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Изгибающий момент от полной нагрузки $M = 17.4\text{кНм}$
- Изгибающий момент от постоянной и длительной нагрузки $M_l = 16.53\text{кНм}$
- Продольная сила от полной нагрузки $N = 12.7\text{кН}$
- Продольная сила от постоянной и длительной нагрузки $N_l = 12.07\text{кН}$

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

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

РАСЧЕТ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЯ

$$h_0 = 0.2 - 0.04 = 0.16\text{м}$$

$$h_0' = 0.2 - 0.03 = 0.17\text{м}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$M_{crc} = R_{bt,ser}W_{pl} - Ne_x = 1750 \cdot 0.0089 - 12.7 \cdot 0.034 = 15.19\text{кНм}$$

$$M = 17.4\text{кНм} > M_{crc} = 15.19\text{кНм, трещины образуются}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N_l}{A_{red}M_l} = 0.036 + \frac{6.872E-004\cdot 12.07}{0.205\cdot 16.53} = 0.033\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.033\cdot 1 = 0.0332\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0332 + 13.636\cdot 0.39\cdot 10^{-3} + 13.636\cdot 0.39\cdot 10^{-3} = 0.0439\text{м}^2$$

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

$$= 0.0332\left(0.2 - \frac{0.033}{2}\right) + (0.39\cdot 10^{-3})\cdot 0.17\cdot 13.636 + (0.39\cdot 10^{-3})\cdot 0.16$$

$$\cdot 13.636 = 0.0072\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.2 - \frac{0.0072}{0.0439} = 0.036\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c)^2 = (0.39\cdot 10^{-3})\cdot(0.16 - 0.036)^2 = 6.069E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a')^2 = (0.39\cdot 10^{-3})\cdot(0.036 - 0.03)^2 = 1.291E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1\cdot\frac{0.036^3}{12} + 0.036\cdot 1\left(\frac{0.036}{2}\right) = 1.521E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 1.521E-005 + 6.069E-006\cdot 13.636 + 1.291E-008\cdot 13.636$$

$$= 9.814E-005\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.2 - 0.033 = 0.167\text{м}$$

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

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M_l(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{16.53(0.16 - 0.036)}{9.814E-005} + \frac{12.07}{0.0439}\right)13.636 = 289160\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N_l}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{15.19(0.16 - 0.036)}{9.814E-005} + \frac{12.07}{0.0439}\right)13.636 = 266027\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\ \frac{266027.33}{289160.01} = 0.264$$

$$a_{crc1} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1.4 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.264\ \frac{289160}{200000000}\ 0.4 = 0.000128\text{м} = 0.128\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК

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

$$a_{crc3} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.264\ \frac{289160}{200000000}\ 0.4 = 0.000092\text{м} = 0.092\text{мм}$$

ШИРИНА РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ОТ НЕПРОДОЛЖИТЕЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И ВРЕМЕННЫХ ПОЛНЫХ НАГРУЗОК

$$x_m = x_M - \frac{I_{red}N}{A_{red}M} = 0.036\ + \frac{6.872E-004 \cdot 12.7}{0.205 \cdot 17.4} = 0.033\text{м}$$

$$A_b = x_m b = 0.033 \cdot 1 = 0.0332\text{м}^2$$

$$A_{red} = A_b + \alpha_{s,1}A'_s + \alpha_{s,2}A_s = 0.0332 + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} + 13.636 \cdot 0.39 \cdot 10^{-3} = 0.0439\text{м}^2$$

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

$$= 0.0332\left(0.2 - \frac{0.033}{2}\right) + 0.39 \cdot 10^{-3} \cdot 0.17 \cdot 13.636 + (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.16 \cdot 13.636$$

$$= 0.0072\text{м}^3$$

$$y_c = h - \frac{S_{t,red}}{A_{red}} = 0.2 - \frac{0.0072}{0.0439} = 0.036\text{м}$$

$$I_s = A_s(h_0 - y_c) = (0.39 \cdot 10^{-3}) \cdot (0.16 - 0.036) = 6.069E-006\text{м}^4$$

$$I'_s = A'_s(y_c - a') = (0.39 \cdot 10^{-3})(0.036 - 0.03) = 1.291E-008\text{м}^4$$

$$I_b = \frac{by_c^3}{12} + y_{cb}\left(\frac{y_c}{2}\right) = 1 \cdot \frac{0.036^3}{12} + 0.036 \cdot 1\left(\frac{0.036}{2}\right) = 1.521E-005\text{м}^4$$

$$I_{red} = I_b + I_s\alpha_{s,2} + I'_s\alpha_{s,1} = 1.521E-005 + 6.069E-006 \cdot 13.636 + 1.291E-008 \cdot 13.636 = 9.814E-005\text{м}^4$$

$$x_t = h - x_m = 0.2 - 0.033 = 0.167\text{м}$$

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

$$\sigma_s = \left(\frac{M(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{17.4(0.16 - 0.036)}{9.814E-005} + \frac{12.7}{0.0439}\right)13.636 = 304379\text{кПа}$$

$$\sigma_{s,crc} = \left(\frac{M_{crc}(h_0 - y_c)}{I_{red}} + \frac{N}{A_{red}}\right)\alpha_{s,1} = \left(\frac{15.19(0.16 - 0.036)}{9.814E-005} + \frac{12.7}{0.0439}\right)13.636 = 266224\text{кПа}$$

$$\psi_s = 1 - 0.8\frac{\sigma_{s,crc}}{\sigma_s} = 1 - 0.8\frac{266224.42}{304378.96} = 0.3$$

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

$$a_{crc2} = \varphi_1\varphi_2\varphi_3\psi_s\frac{\sigma_s}{E_s}l_s = 1 \cdot 0.5 \cdot 1.2 \cdot 0.3\frac{304379}{200000000}0.4 = 0.000092\text{м} = 0.092\text{мм}$$

ПРОВЕРКА УСЛОВИЙ

$$a_{crc1} = 0.128\text{мм} \le a_{crc,ult,l} = 0.3\text{мм}$$

Ширина продолжительного раскрытия трещин не превышает предельной

$$a_{crc} = a_{crc1} + a_{crc2} - a_{crc3} = 0.000128 + 0.00011 - 0.000092 = 0.000146\text{м} = 0.146\ \text{мм}$$

$$a_{crc} = 0.146\text{мм} \le a_{crc,ult} = 0.4\text{мм}$$

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

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

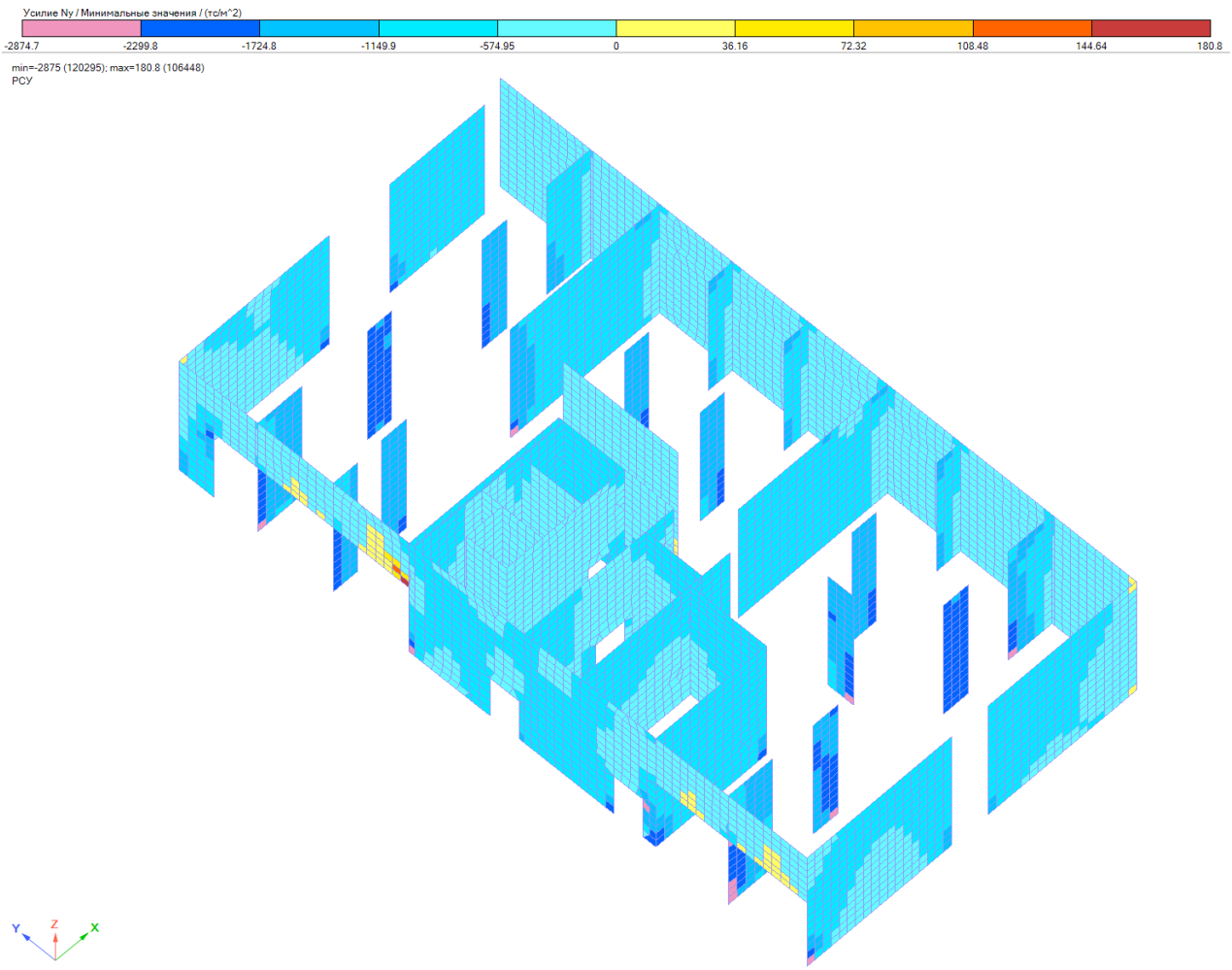
$$M = 23\text{кНм} < M_{ult} = 26\text{кНм}$$

Условие прочности выполняется

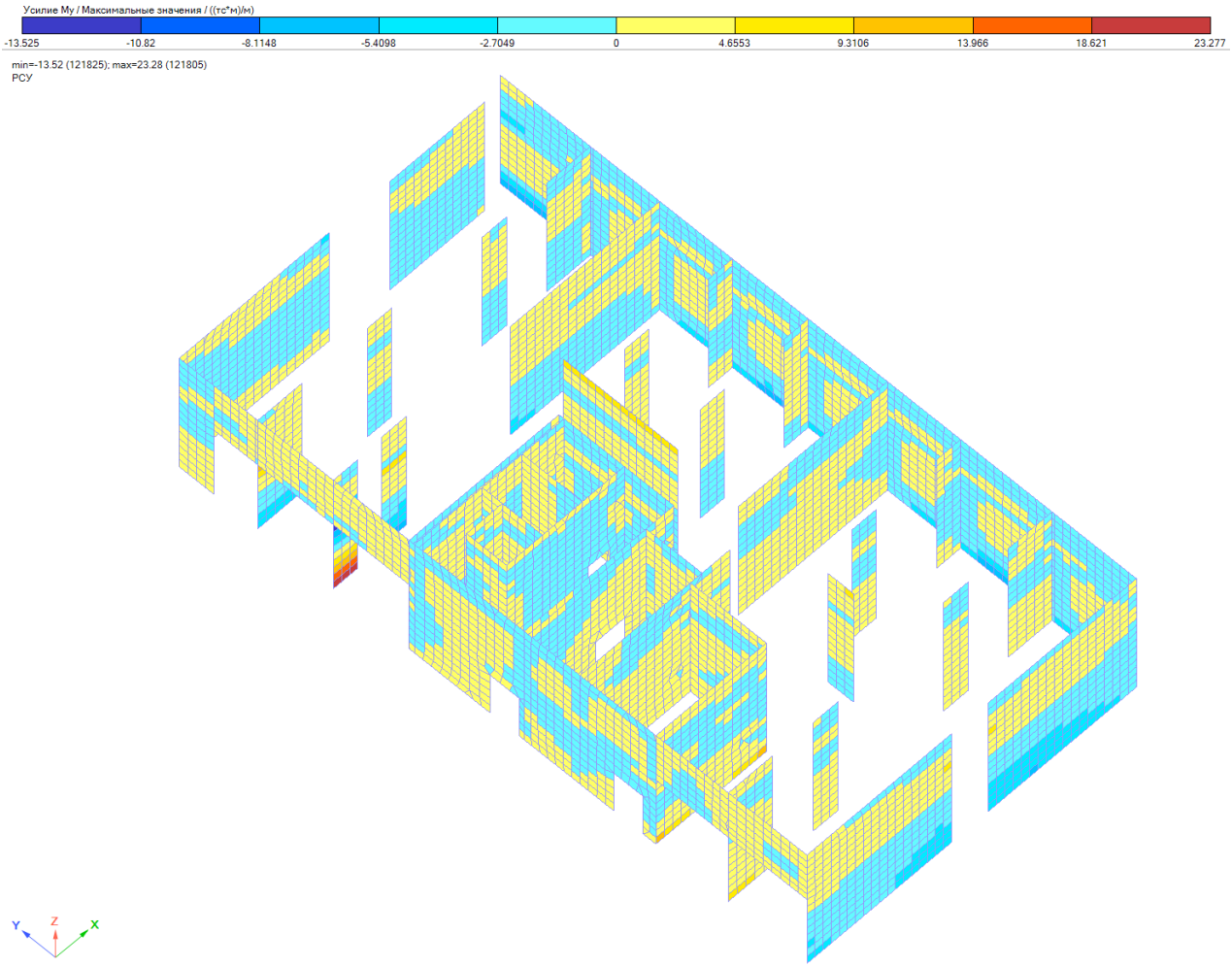
Коэффициент использования 0.8538



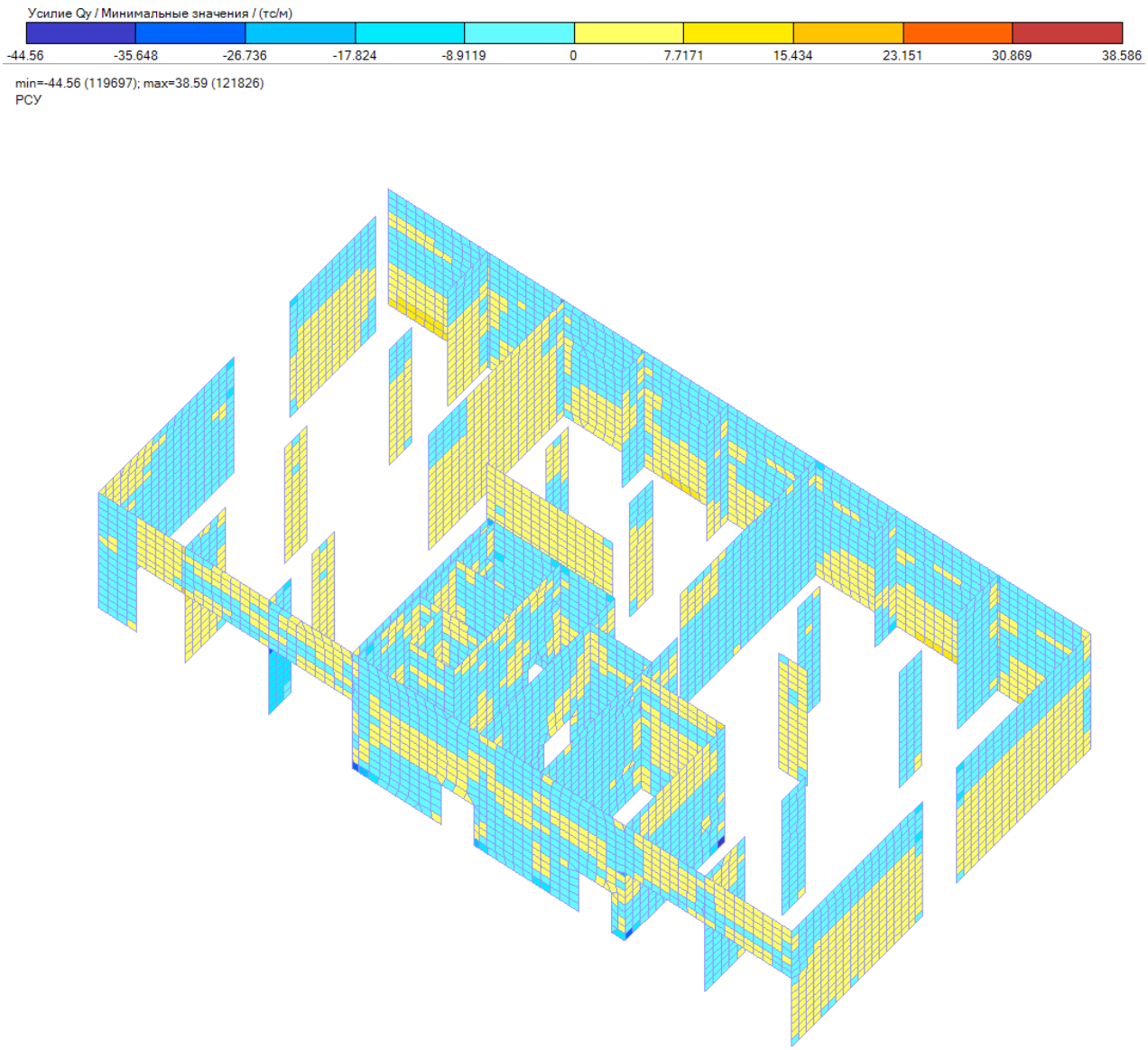
3. РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ОТМ. -7.200



Изополя усилия Ny, тс*/м2



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qy, тс/м

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 300ММ В/О 3.1-3.2/3.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 $N = -4957{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 198{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}2$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}3$ м
- Высота сечения $h = 0{,}9$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}8$, $\mu_y = 0{,}8$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}2 = 3{,}36 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}2 = 3{,}36 \text{ м}$$

Радиусы инерции сечения:

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

Гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}36}{0{,}260} = 12{,}9 \leq 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}36}{0{,}087} = 38{,}8 \leq 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \geq \frac{L}{600} = \frac{4{,}2}{600} = 0{,}007 \text{ м}$$

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

$$e_{a(x,y)} \geq 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-4957{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{198{,}0}{-4957{,}0}\right| = 0{,}040 \text{ м}$$

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

$$e_{0,x} = 0{,}030 \text{ м};\ e_{0,y} = 0{,}040 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

$$0{,}15 \leq \delta_{e,y} = \frac{e_{0,y}}{b} = \frac{0{,}040}{0{,}3} = 0{,}133 \leq 1{,}5$$

Окончательно принимается:

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

Коэффициенты k_b:

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

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

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

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

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

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 198805{,}5}{3{,}36^2} = 173799{,}9 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 23945{,}3}{3{,}36^2} = 20933{,}4 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{4957{,}0}{173799{,}9}} = 1{,}029$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{4957{,}0}{20933{,}4}} = 1{,}310$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1{,}029 \cdot 0{,}0 = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1{,}310 \cdot 198{,}0 = 259{,}4 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 392875{,}3\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 41579{,}6\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

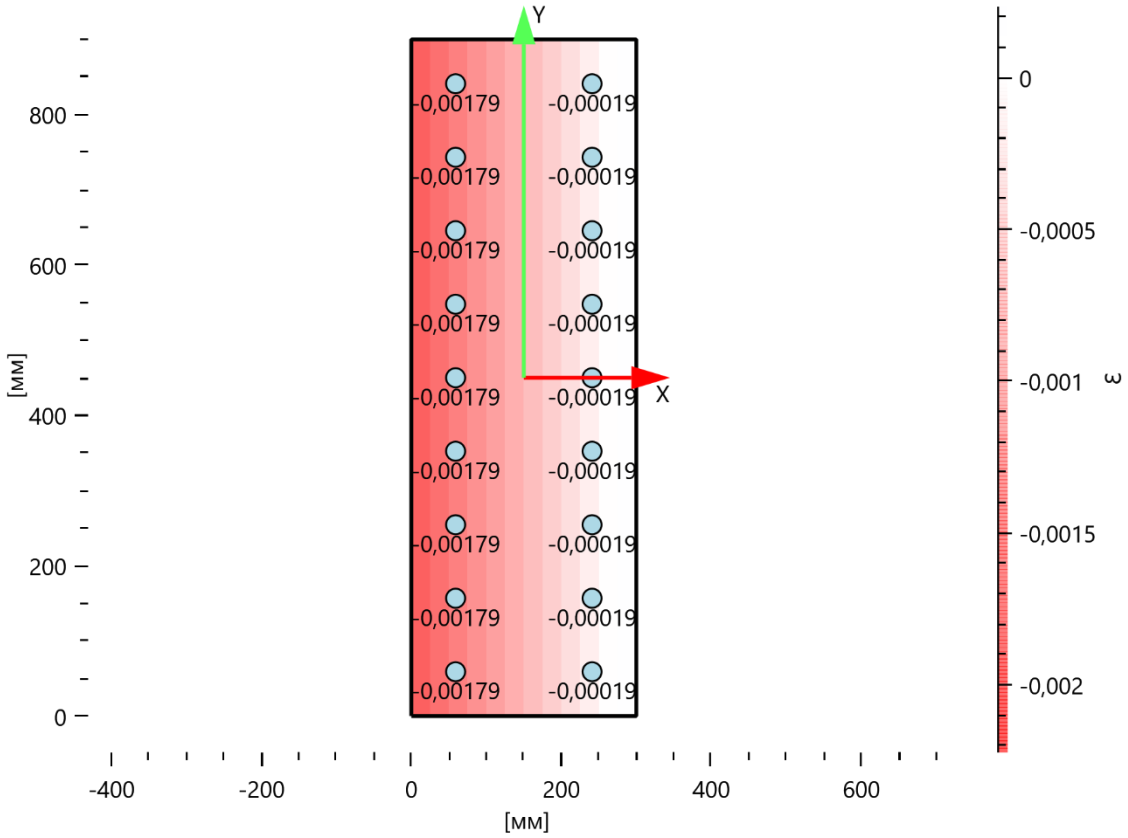
$$D_{12} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 105927{,}2\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 5935539{,}7\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

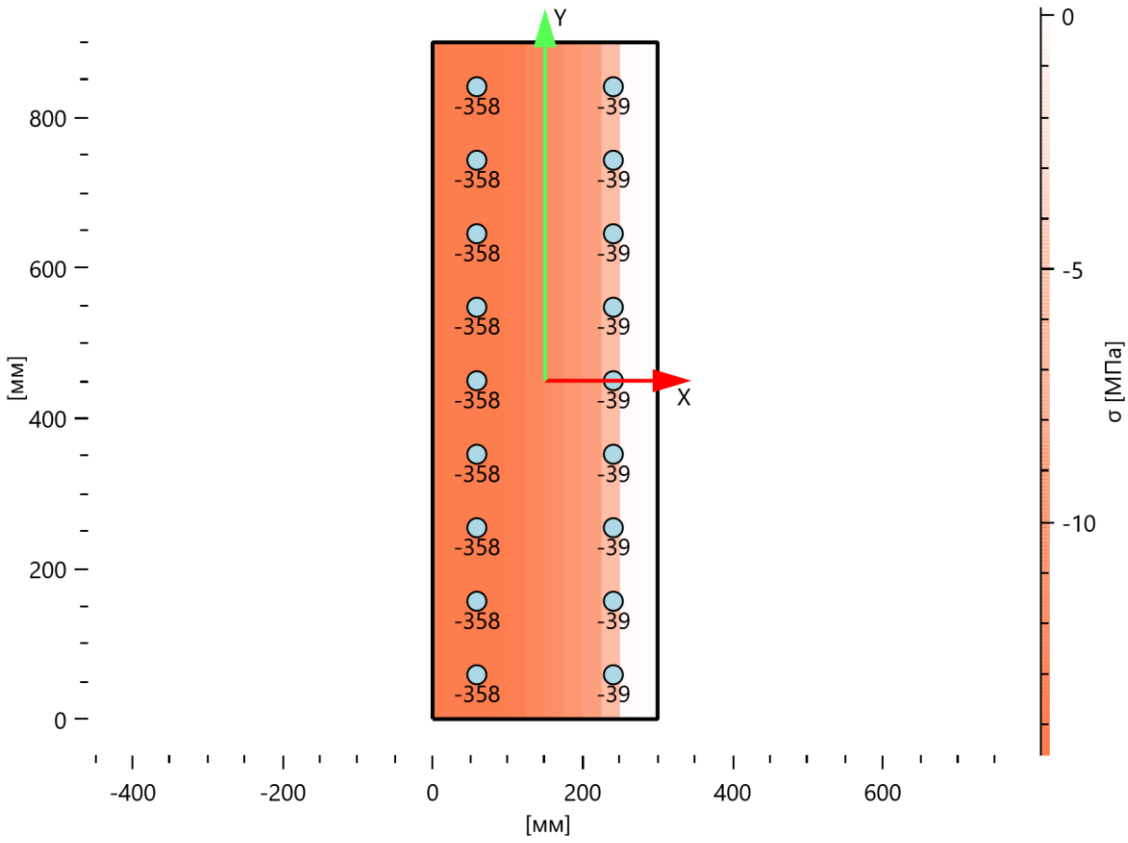
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00876556;\ \varepsilon_0 = -0{,}00099157$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}002197$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

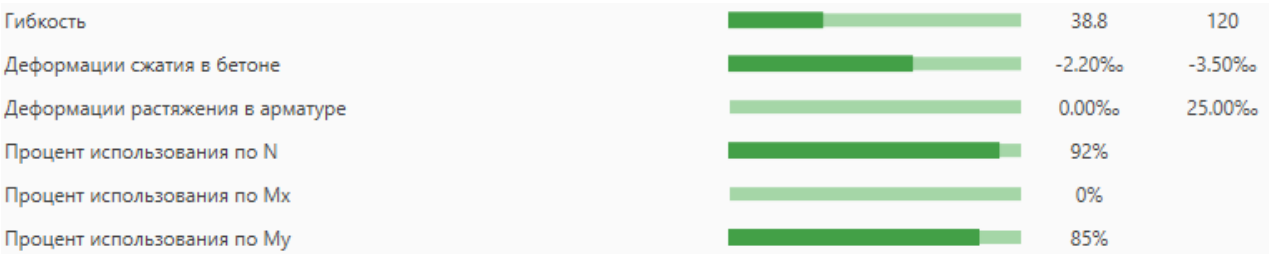
Т.к. условия:

$$|\varepsilon_{b,max}| = |-0{,}002197| = 0{,}002197 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003500$$

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

выполняются, то прочность сечения колонны обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА



Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 250ММ В/О 3.1-3.2/3.Ю НА ОТМ. -7.200 НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

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

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Продольная сила $N = -4304{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 34{,}0$ 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 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 - 2xØ25, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 6xØ25, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}2$ 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:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}2 = 3{,}36 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}2 = 3{,}36 \text{ м}$$

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:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}36}{0{,}217} = 15{,}5 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}36}{0{,}072} = 46{,}6 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}2}{600} = 0{,}007 \text{ м}$$

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-4304{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{34{,}0}{-4304{,}0}\right| = 0{,}008 \text{ м}$$

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:

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

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:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 95723{,}9}{3{,}36^2} = 83683{,}8 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 10415{,}1}{3{,}36^2} = 9105{,}1 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{4304{,}0}{83683{,}8}} = 1{,}054$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{4304,0}{9105,1}} = 1,896$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

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

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1,896 \cdot 34,0 = 64,5 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 175093,8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 20224,1 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

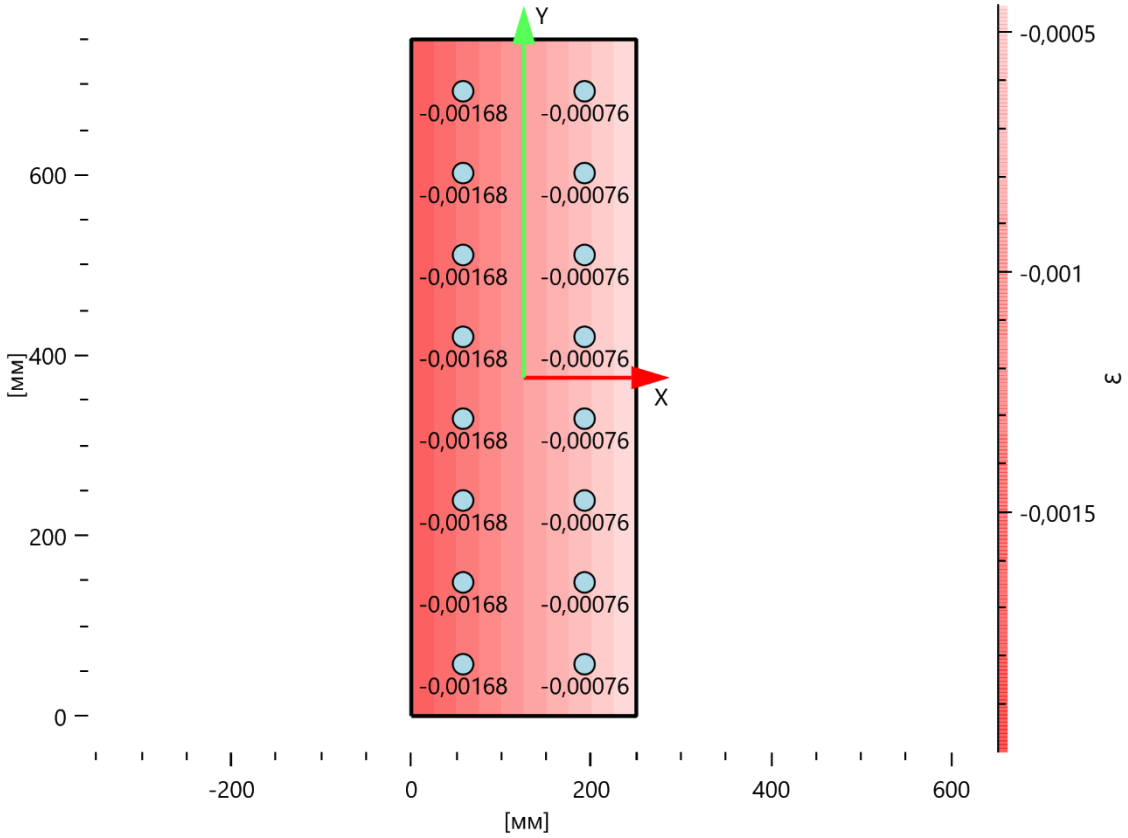
$$D_{12} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 59445,1 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 3853537,8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

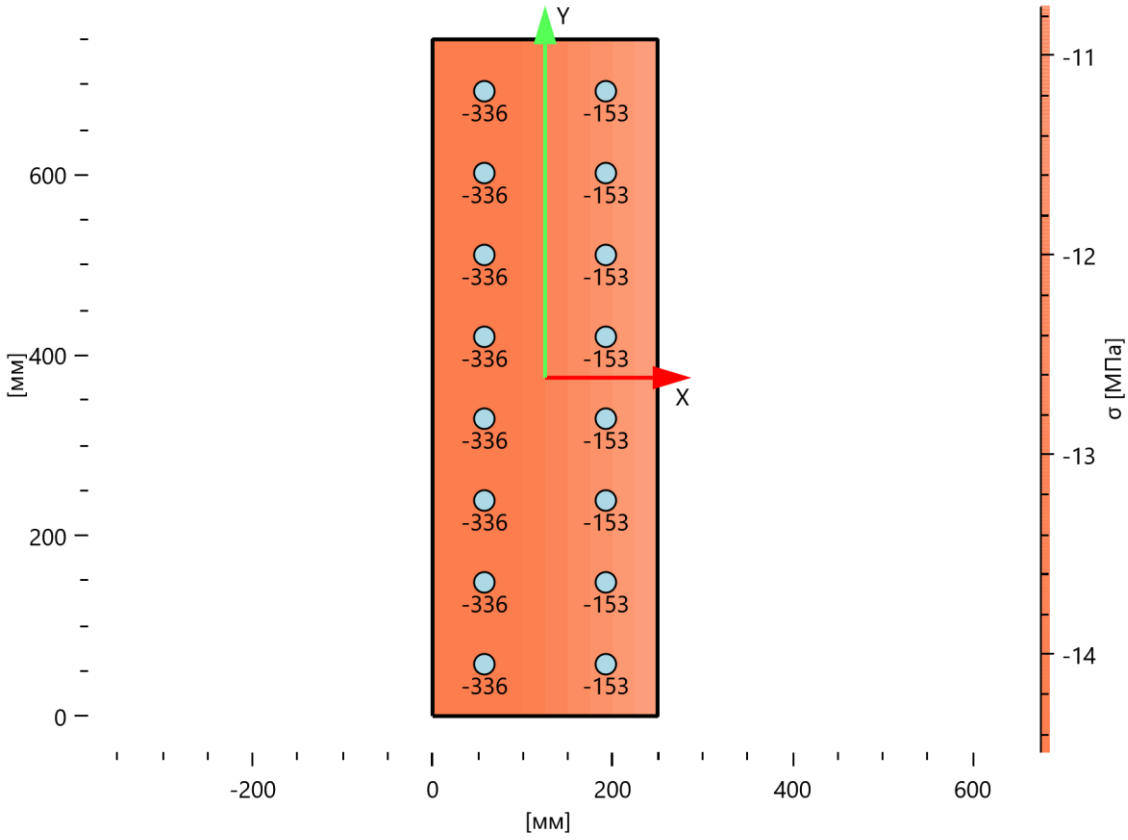
$$\frac{1}{r_x} = 0,00000000; \frac{1}{r_y} = 0,00677854;\ \varepsilon_0 = -0,00122146$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0,001984$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



						17-0121-ОК-1-П-КР4.7	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		100

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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000459}{-0{,}001984} = 0{,}003153$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001984| = 0{,}001984 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003153$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость		46.6	120
Деформации сжатия в бетоне		-1.98‰	-3.15‰
Деформации растяжения в арматуре		0.00‰	25.00‰
Процент использования по N		91%	
Процент использования по Mx		0%	
Процент использования по My		62%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ НАРУЖНОЙ СТЕНЫ ПОДВАЛА ТОЛЩ. 250ММ В/О 3.Р-3.С/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 $N = -1292{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 84{,}0$ 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 $L = 4{,}2$ 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:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}2 = 3{,}36 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}2 = 3{,}36 \text{ м}$$

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:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}36}{0{,}289} = 11{,}6 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}36}{0{,}072} = 46{,}6 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}2}{600} = 0{,}007 \text{ м}$$

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-1292{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{84{,}0}{-1292{,}0}\right| = 0{,}065 \text{ м}$$

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:

$$e_{0,x} = 0{,}033 \text{ м};\ e_{0,y} = \ 0{,}065 \text{ м}$$

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

$$0{,}15 \le \delta_{e,y} = \frac{e_{0,y}}{b} = \frac{0{,}065}{0{,}25} = 0{,}260 \le 1{,}5$$

Окончательно принимается:

$$\delta_{e,x} = 0{,}150;\ \delta_{e,y} = 0{,}260$$

Коэффициенты k_b:

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

$$k_{b,y} = \frac{0{,}15}{\varphi_l(0{,}3 + \delta_{e,y})} = \frac{0{,}15}{1{,}9(0{,}3 + 0{,}260)} = 0{,}141$$

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

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

$$D_y = k_{b,y}E_bI_y + k_{s,y}E_sI_{s,y} = 0{,}141 \cdot 32500000 \cdot 0{,}001302 + 0{,}7 \cdot 200000000 \cdot 0{,}000010 = 7381{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 145767{,}3}{3{,}36^2} = 127432{,}9 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 7381{,}0}{3{,}36^2} = 6452{,}6 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{1292{,}0}{127432{,}9}} = 1{,}010$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{1292{,}0}{6452{,}6}} = 1{,}250$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1{,}010 \cdot 0{,}0 = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1{,}250 \cdot 84{,}0 = 105{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 273550{,}4 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 12668{,}7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

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

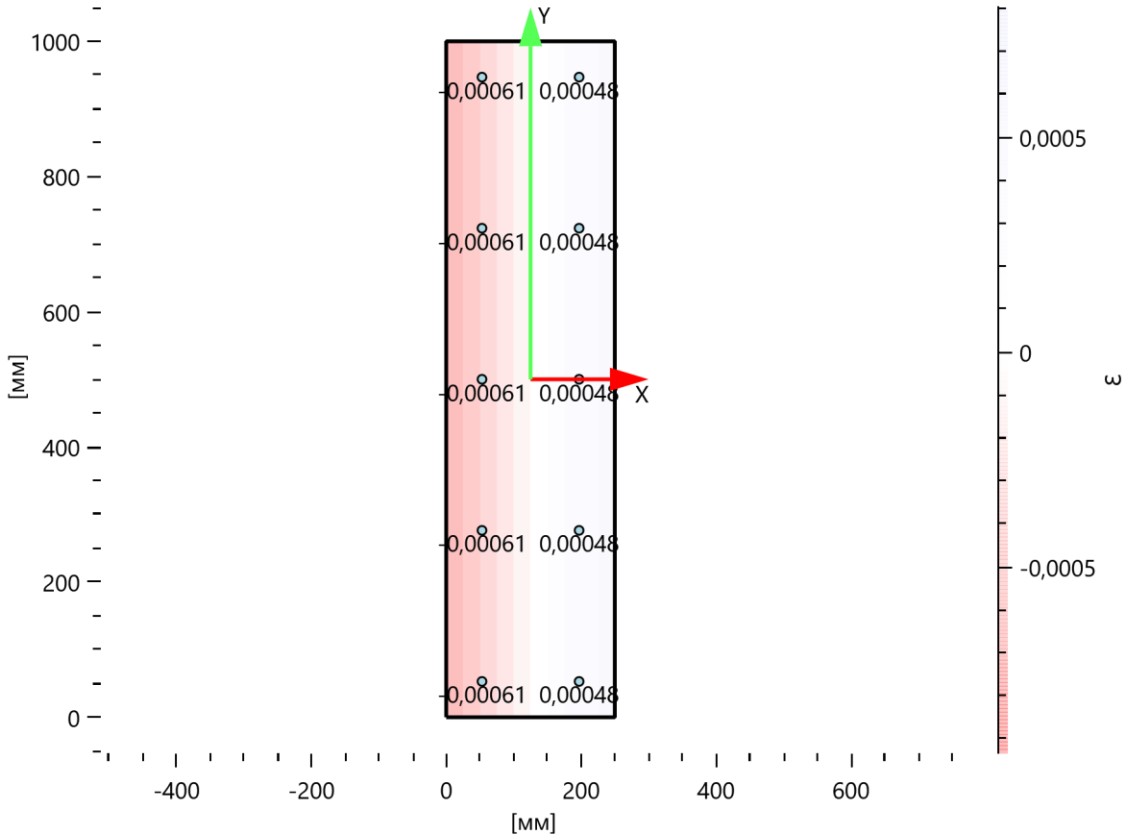
$$D_{23} = -143472{,}6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 3208146{,}1 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00755763;\ \varepsilon_0 = -0{,}00006478$$

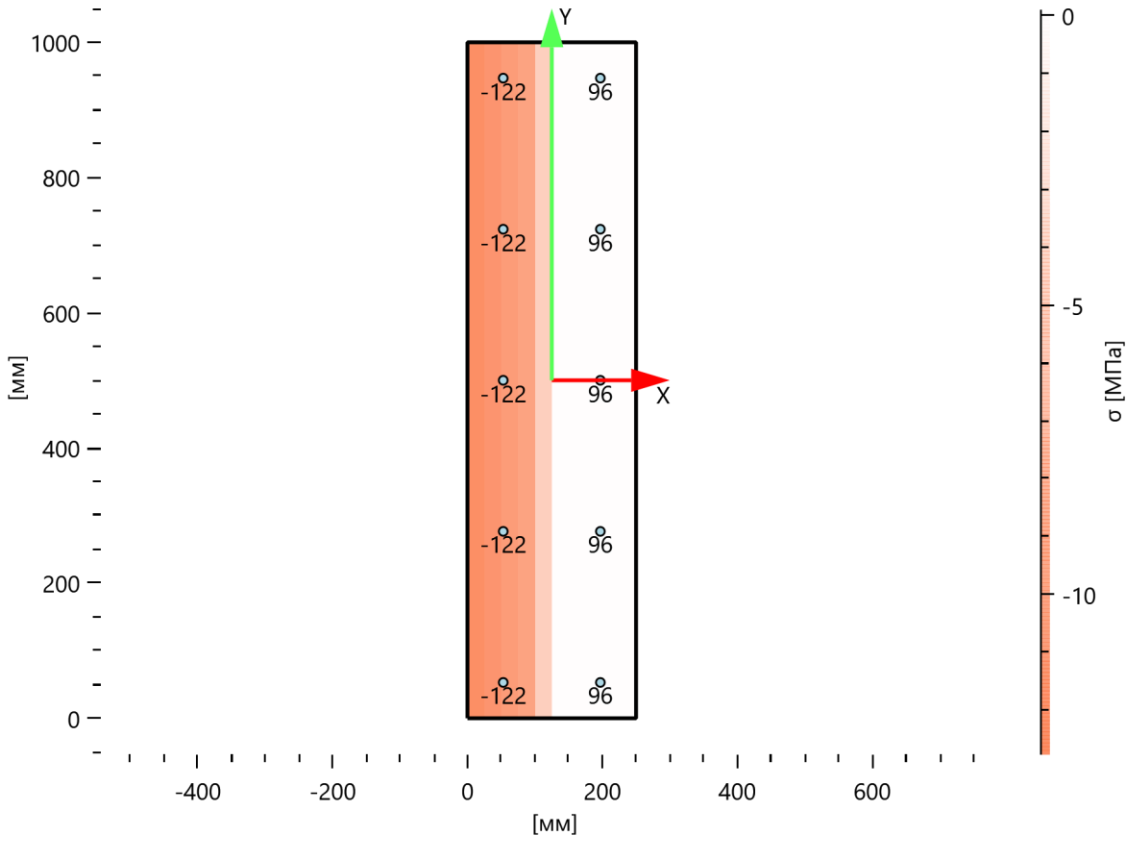
Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}000915$

Максимальная отн. деформация наиболее растянутого стержня арматуры $\varepsilon_{s,max} = 0{,}000479$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

Т.к. условия:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}000915| = 0{,}000915 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003500$$

$$\varepsilon_{s,max} = 0{,}000479 \leq \varepsilon_{s,ult} = 0{,}025$$

выполняются, то прочность сечения колонны обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость		46.6	120
Деформации сжатия в бетоне		-0.92‰	-3.50‰
Деформации растяжения в арматуре		0.48‰	25.00‰
Процент использования по N		47%	
Процент использования по Mx		0%	
Процент использования по My		67%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 200ММ В/О 3.1/3.Э 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 $N = -2340{,}0$ 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 А500
- Расчетное сопротивление растяжению $R_s = 435$ МПа
- Расчетное сопротивление сжатию $R_{sc} = 400$ МПа
- Модуль упругости $E_s = 200000$ МПа
- Предельное значение отн. деформации удлинения арматуры $\varepsilon_{s,ult} = 0{,}025$
- Арматура у верхней и нижней грани - 2хØ20, защитный слой 45 мм
- Арматура у боковой грани - 4хØ20, защитный слой 45 мм

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}2$ 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:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}7 \cdot 4{,}2 = 2{,}94 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}7 \cdot 4{,}2 = 2{,}94 \text{ м}$$

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:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{2{,}94}{0{,}173} = 17{,}0 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{2{,}94}{0{,}058} = 50{,}9 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}2}{600} = 0{,}007 \text{ м}$$

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-2340{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{8{,}0}{-2340{,}0}\right| = 0{,}003 \text{ м}$$

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

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

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

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

Окончательно принимается:

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

Коэффициенты k_b:

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

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

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

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

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

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 34721{,}1}{2{,}94^2} = 39645{,}9 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 3318{,}6}{2{,}94^2} = 3789{,}3 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{2340{,}0}{39645{,}9}} = 1{,}063$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{2340{,}0}{3789{,}3}} = 2{,}615$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

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

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 2{,}615 \cdot 8{,}0 = 20{,}9 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 69163{,}8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 7020{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

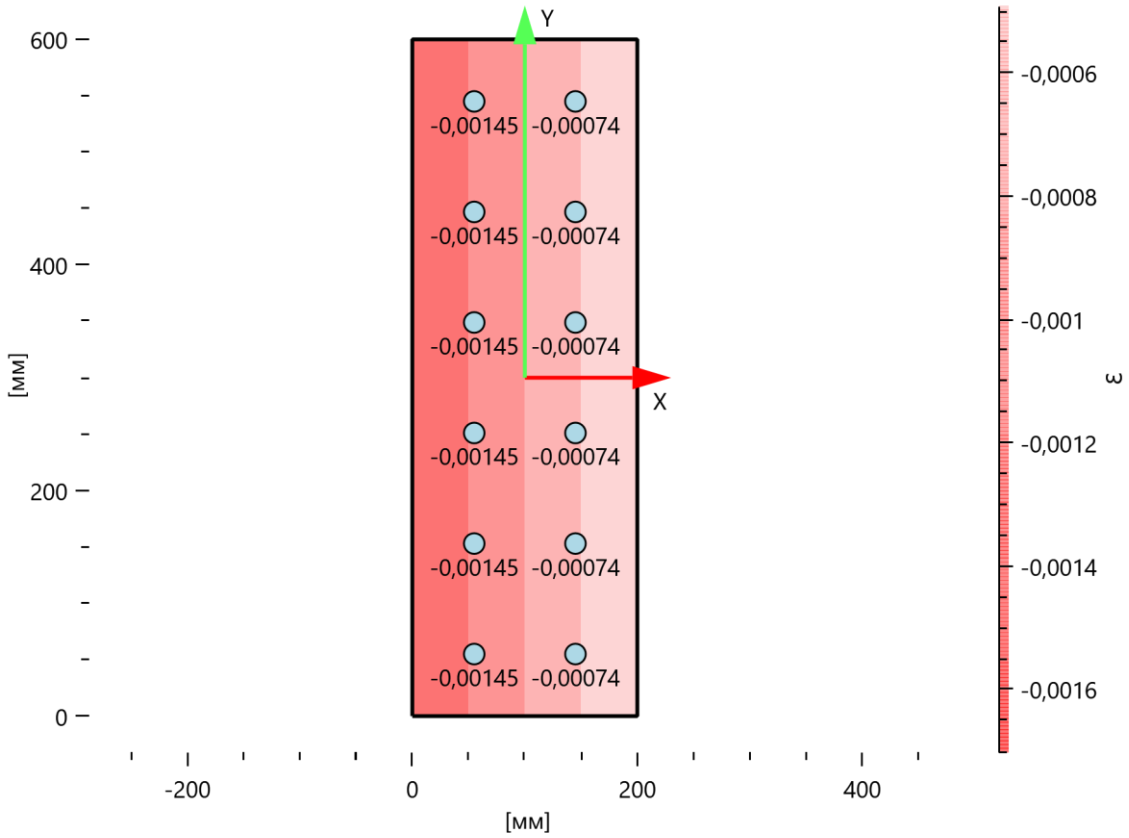
$$D_{12} = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 31601{,}4 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 2363695{,}7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

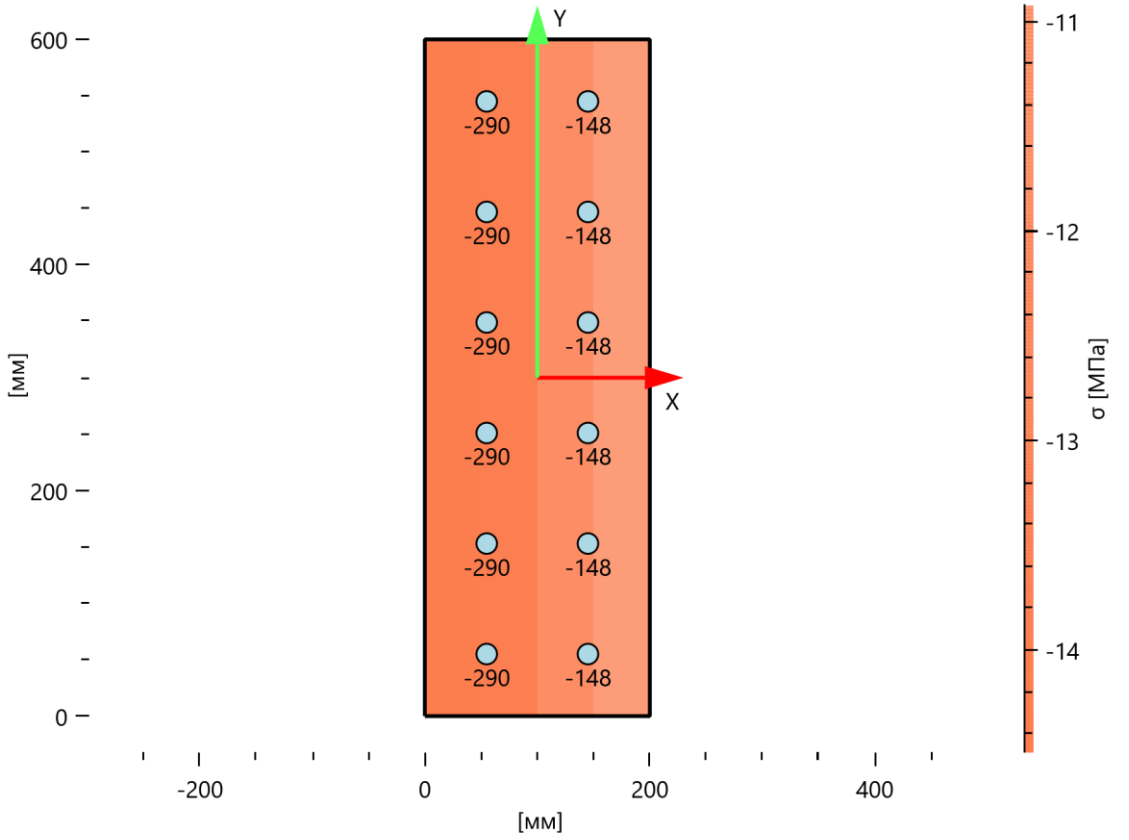
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00791177;\ \varepsilon_0 = -0{,}00109574$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}001689$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000502}{-0{,}001689} = 0{,}003054$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001689| = 0{,}001689 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003054$$

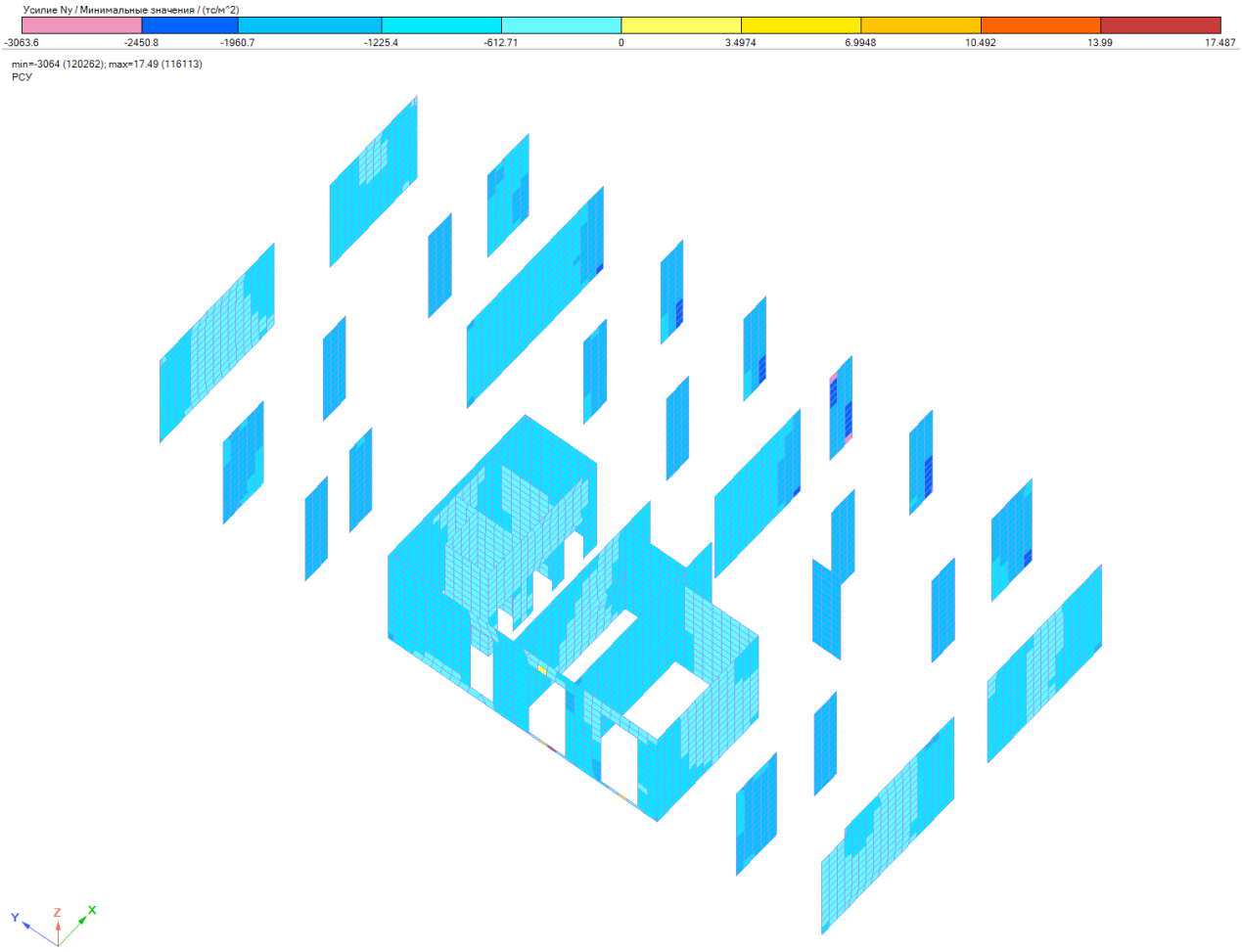
выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

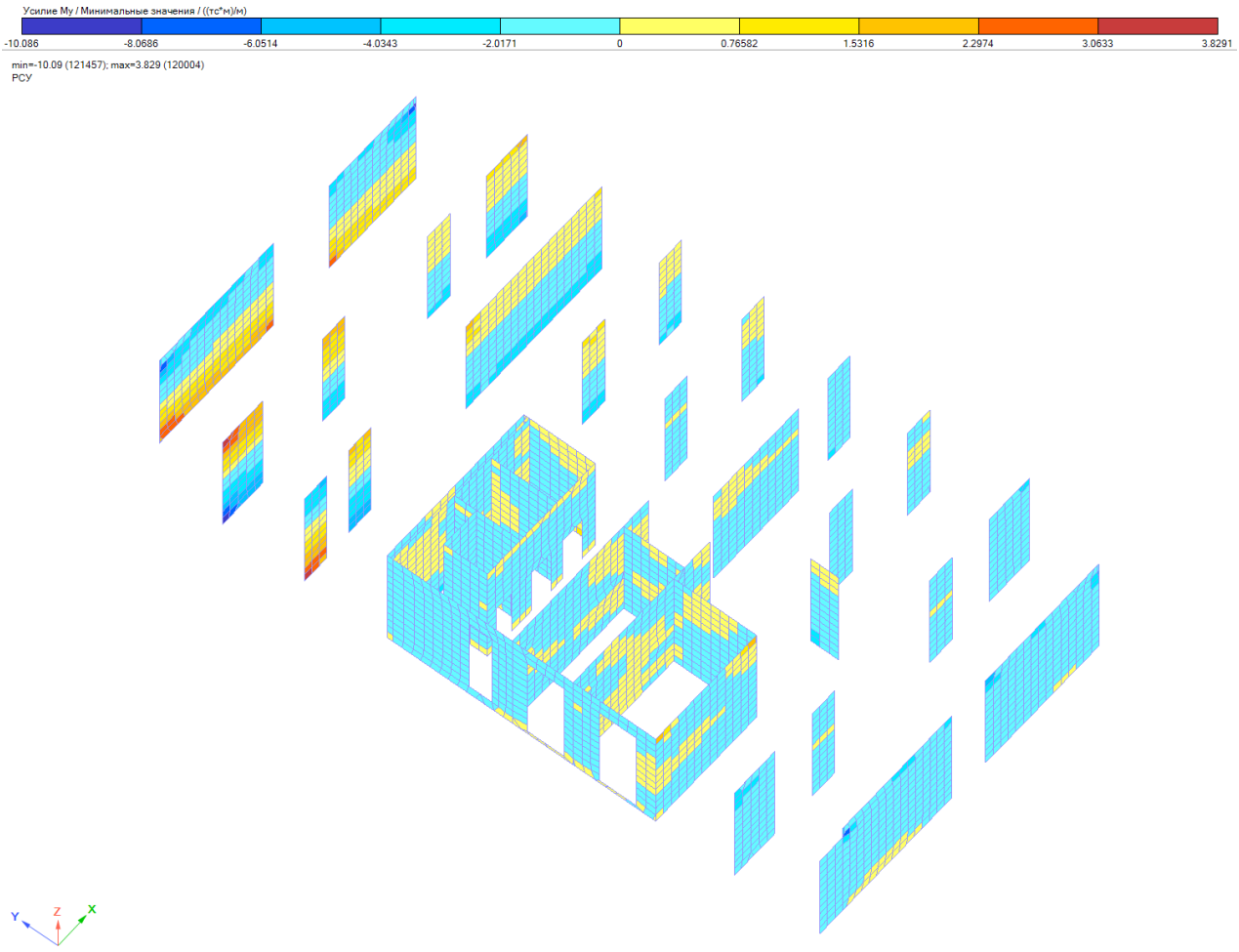
Гибкость	50.9	120
Деформации сжатия в бетоне	-1.69‰	-3.05‰
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰
Процент использования по N	88%	
Процент использования по Mx	0%	
Процент использования по My	42%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

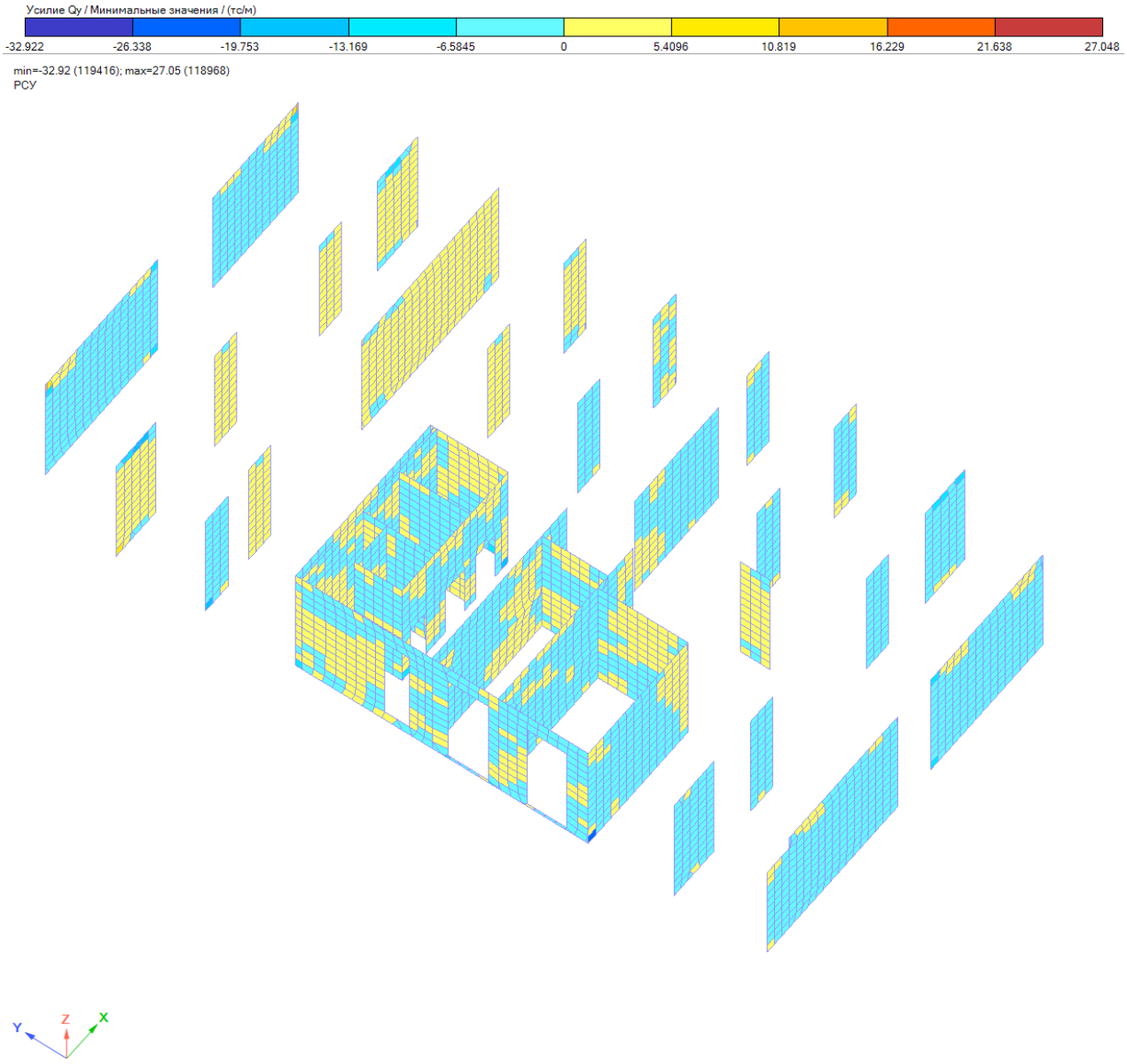
3.1. РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ОТМ. -0.850



Изополя усилия Ny, тс*/м2



Изополя усилия Mx, тс*м/м



Изополя усилия Qy, тс/м

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 300ММ В/О 3.5-3.6/3.Ш НА ОТМ. -0.850 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 $N = -6291{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 12{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}92$ м
- Ширина сечения $b = 0{,}3$ м
- Высота сечения $h = 0{,}9$ м
- Коэффициенты расчетной длины $\mu_x = 0{,}8$, $\mu_y = 0{,}8$

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}92 = 3{,}936 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}92 = 3{,}936 \text{ м}$$

Радиусы инерции сечения:

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

Гибкости колонны:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}936}{0{,}260} = 15{,}1 \leq 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}936}{0{,}087} = 45{,}4 \leq 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \geq \frac{L}{600} = \frac{4{,}92}{600} = 0{,}008 \text{ м}$$

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

$$e_{a(x,y)} \geq 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-6291{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{12{,}0}{-6291{,}0}\right| = 0{,}002 \text{ м}$$

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

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

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

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

Окончательно принимается:

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

Коэффициенты k_b:

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

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

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

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

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

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 198805{,}5}{3{,}936^2} = 126653{,}7 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 23945{,}3}{3{,}936^2} = 15254{,}9 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{6291{,}0}{126653{,}7}} = 1{,}052$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{6291{,}0}{15254{,}9}} = 1{,}702$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1{,}052 \cdot 0{,}0 = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1{,}702 \cdot 12{,}0 = 20{,}4 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 340401{,}7\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 40231{,}1\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

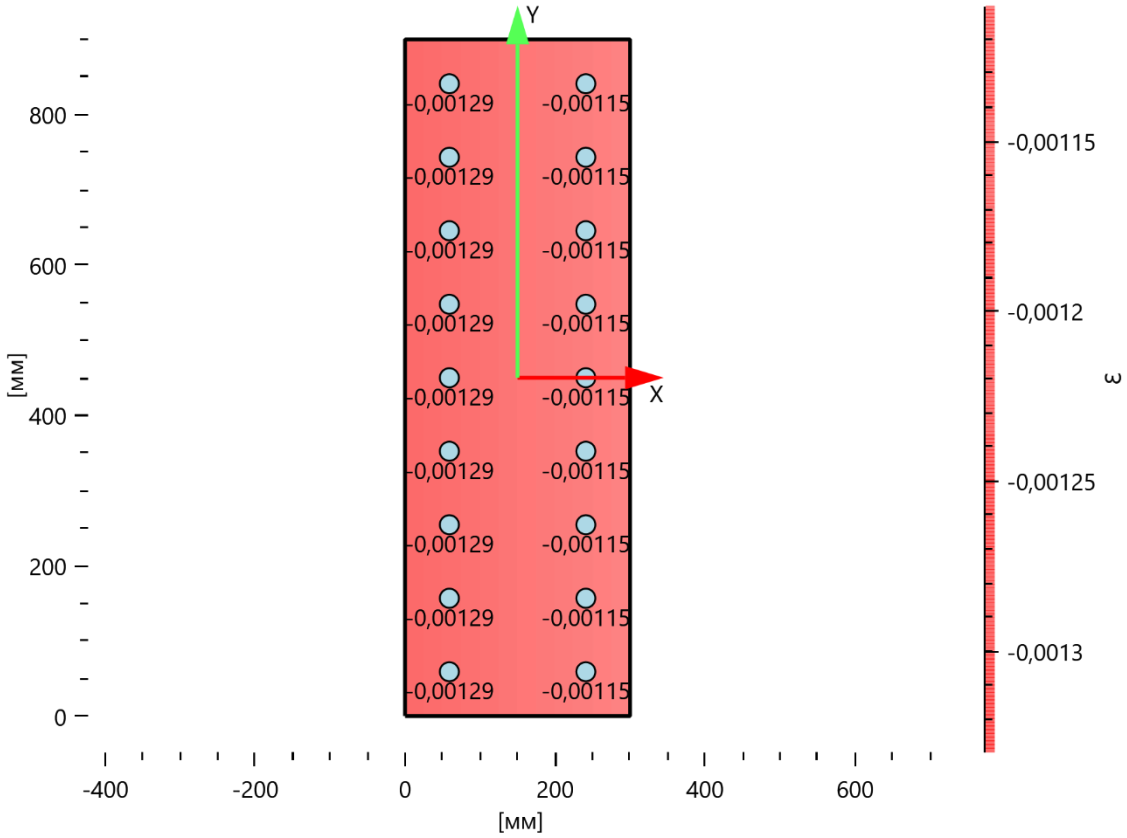
$$D_{12} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 9067{,}9\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 5163036{,}6\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

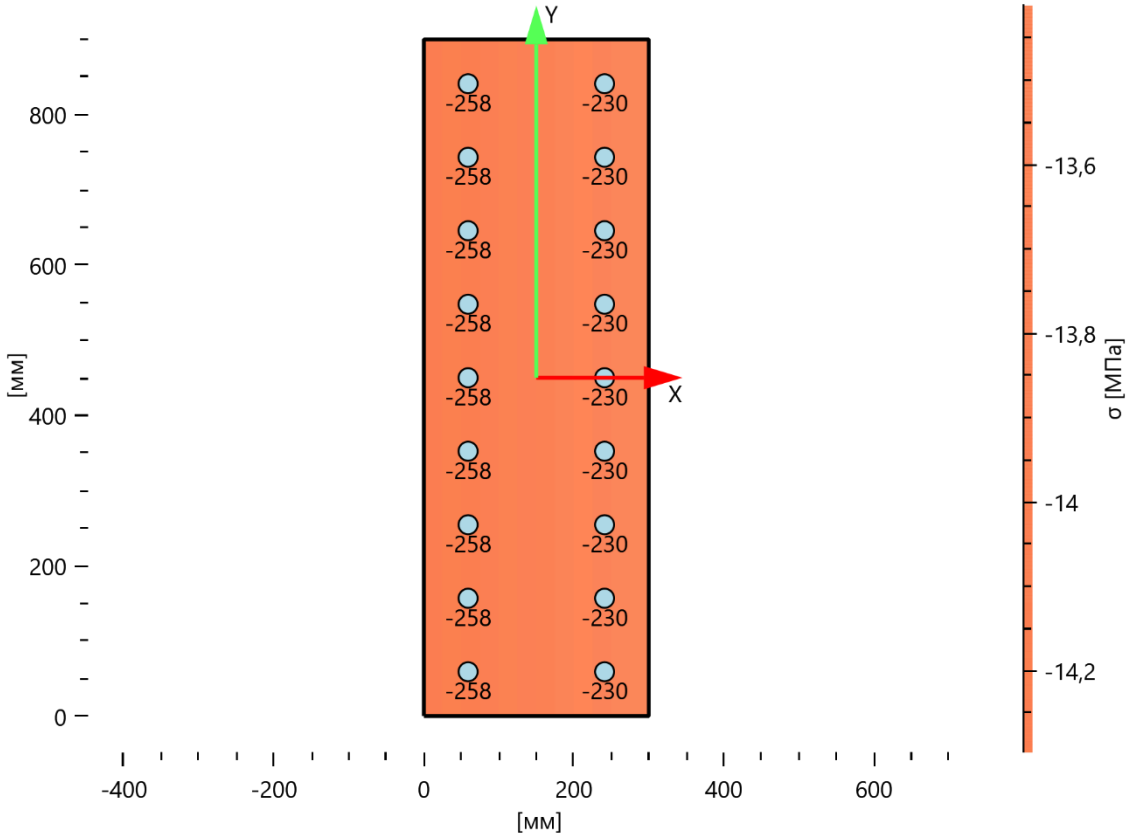
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00078256;\ \varepsilon_0 = -0{,}00121984$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}001327$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



						17-0121-ОК-1-П-КР4.7	Лист
Изм.	Кол.уч	Лист	№док.	Подп.	Дата		119

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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}001112}{-0{,}001327} = 0{,}002243$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001327| = 0{,}001327 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}002243$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость		45.4	120
Деформации сжатия в бетоне		-1.33‰	-2.24‰
Деформации растяжения в арматуре		0.00‰	25.00‰
Процент использования по N		80%	
Процент использования по Mx		0%	
Процент использования по My		12%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 250ММ В/О 3.5-3.6/3.Э НА ОТМ. -0.850 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 $N = -4124{,}0$ 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 B30
- Суммарный коэффициент работы $\gamma_b = 0{,}85$
- Расчетное сопротивление сжатию $R_b = 17 \cdot 0{,}85 = 14{,}45$ МПа

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}92$ 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:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}8 \cdot 4{,}92 = 3{,}936 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}8 \cdot 4{,}92 = 3{,}936 \text{ м}$$

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:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}936}{0{,}217} = 18{,}2 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}936}{0{,}072} = 54{,}5 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}92}{600} = 0{,}008 \text{ м}$$

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-4124{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{14{,}0}{-4124{,}0}\right| = 0{,}003 \text{ м}$$

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:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 95723{,}9}{3{,}936^2} = 60983{,}2 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 10415{,}1}{3{,}936^2} = 6635{,}2 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{4124{,}0}{60983{,}2}} = 1{,}073$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{4124{,}0}{6635{,}2}} = 2{,}642$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1{,}073 \cdot 0{,}0 = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 2{,}642 \cdot 14{,}0 = 37{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 173816{,}9 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 19155{,}1 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

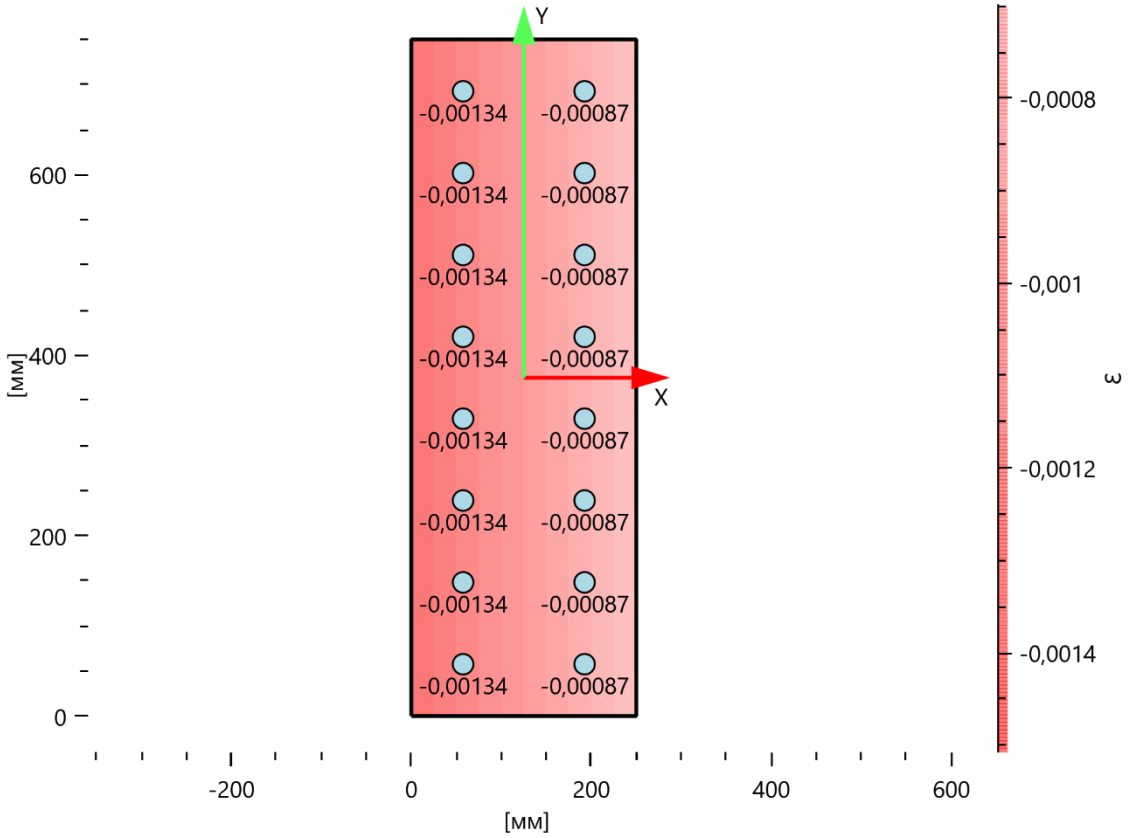
$$D_{12} = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 27566{,}2 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 3826048{,}7 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

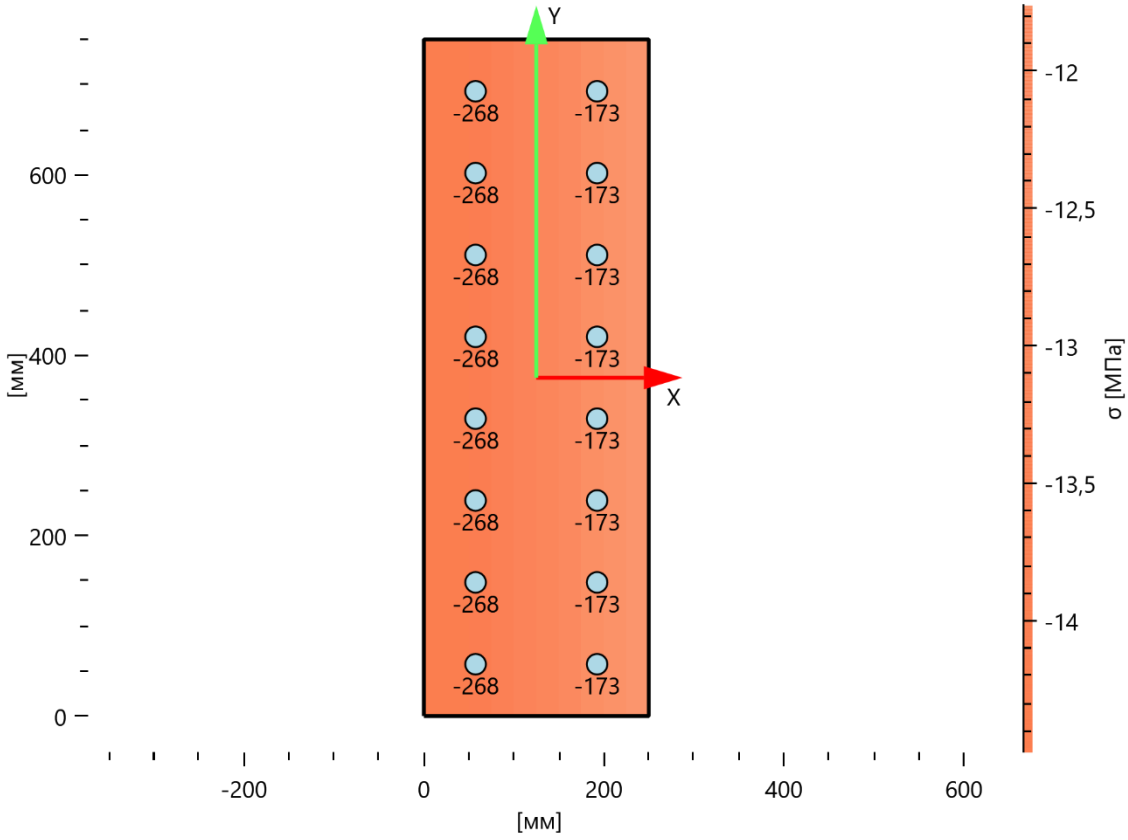
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00351873;\ \varepsilon_0 = -0{,}00110323$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}001499$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000707}{-0{,}001499} = 0{,}002792$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001499| = 0{,}001499 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}002792$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	54.5	120	
Деформации сжатия в бетоне	-1.50‰	-2.79‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	83%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	31%		

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 200ММ В/О 3.1/3.Э-3.Ш НА ОТМ. -0.850 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 $N = -1981{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 8{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

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

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

- Высота колонны $L = 4{,}92$ 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:

$$l_{0,x} = \mu_x L = 0{,}7 \cdot 4{,}92 = 3{,}444 \text{ м}$$

$$l_{0,y} = \mu_y L = 0{,}7 \cdot 4{,}92 = 3{,}444 \text{ м}$$

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:

$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_x} = \frac{3{,}444}{0{,}173} = 19{,}9 \le 120;\ \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = \frac{3{,}444}{0{,}058} = 59{,}7 \le 120$$

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

$$e_{a(x,y)} \ge \frac{L}{600} = \frac{4{,}92}{600} = 0{,}008 \text{ м}$$

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-1981{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{8{,}0}{-1981{,}0}\right| = 0{,}004 \text{ м}$$

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:

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

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

Условная критическая сила:

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 D_x}{l_{0,x}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 34721{,}1}{3{,}444^2} = 28891{,}3 \text{ кН}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 D_y}{l_{0,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 3318{,}6}{3{,}444^2} = 2761{,}4 \text{ кН}$$

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{1981,0}{28891,3}} = 1,074$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{1981,0}{2761,4}} = 3,538$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1,074 \cdot 0,0 = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 3,538 \cdot 8,0 = 28,3 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 84997,4 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 9169,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

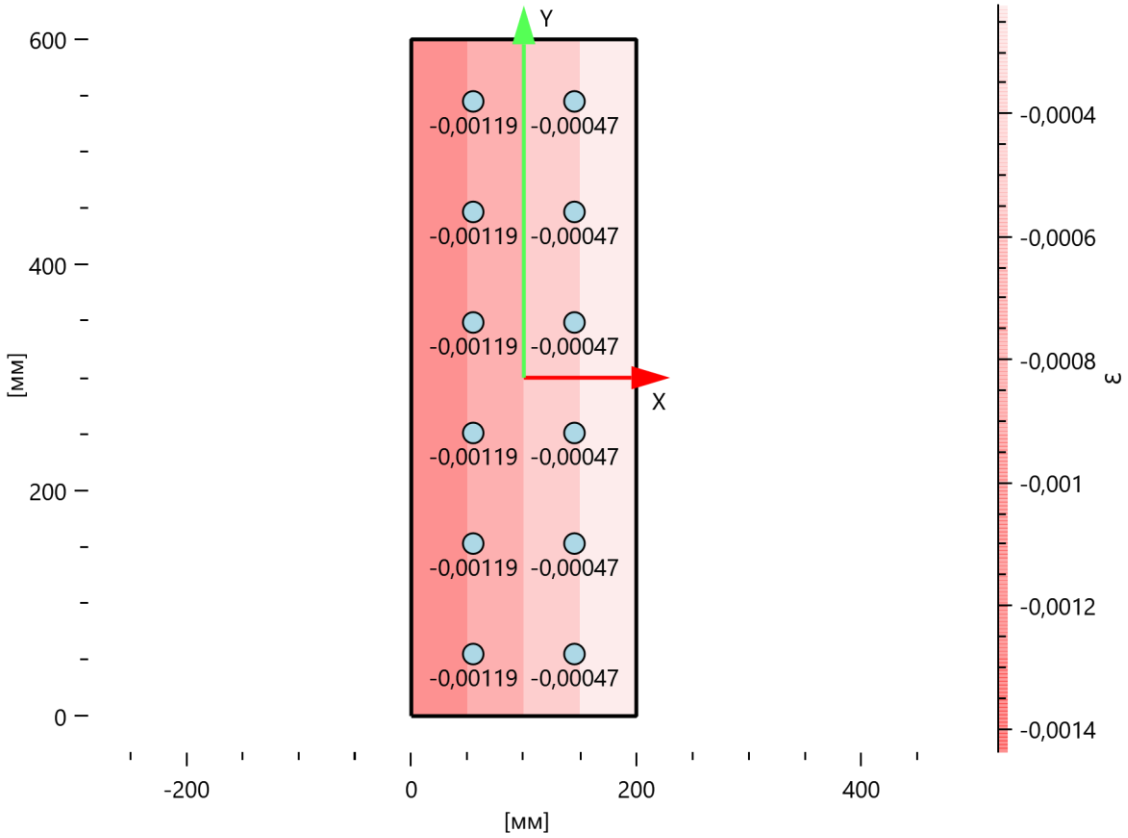
$$D_{12} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 53439,5 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 2894229,1 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

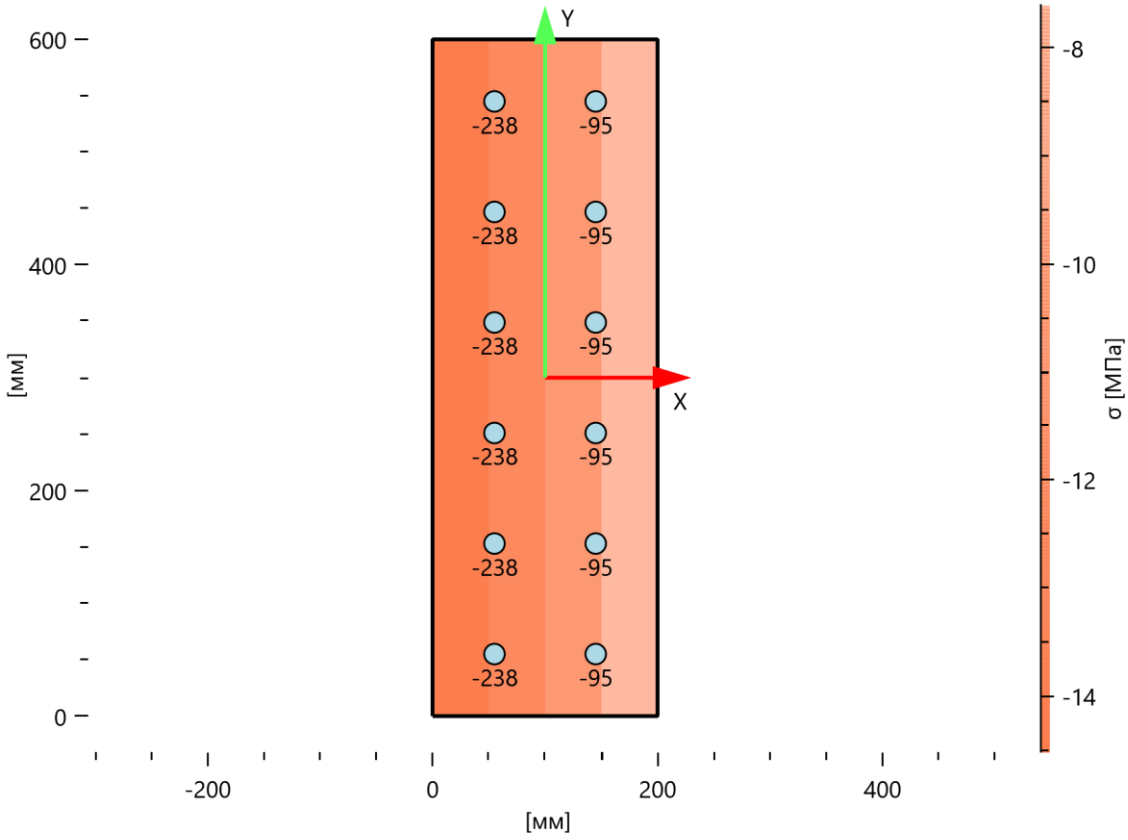
$$\frac{1}{r_x} = 0,00000000; \frac{1}{r_y} = 0,00792999;\ \varepsilon_0 = -0,00083089$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0,001426$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000236}{-0{,}001426} = 0{,}003252$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001426| = 0{,}001426 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}003252$$

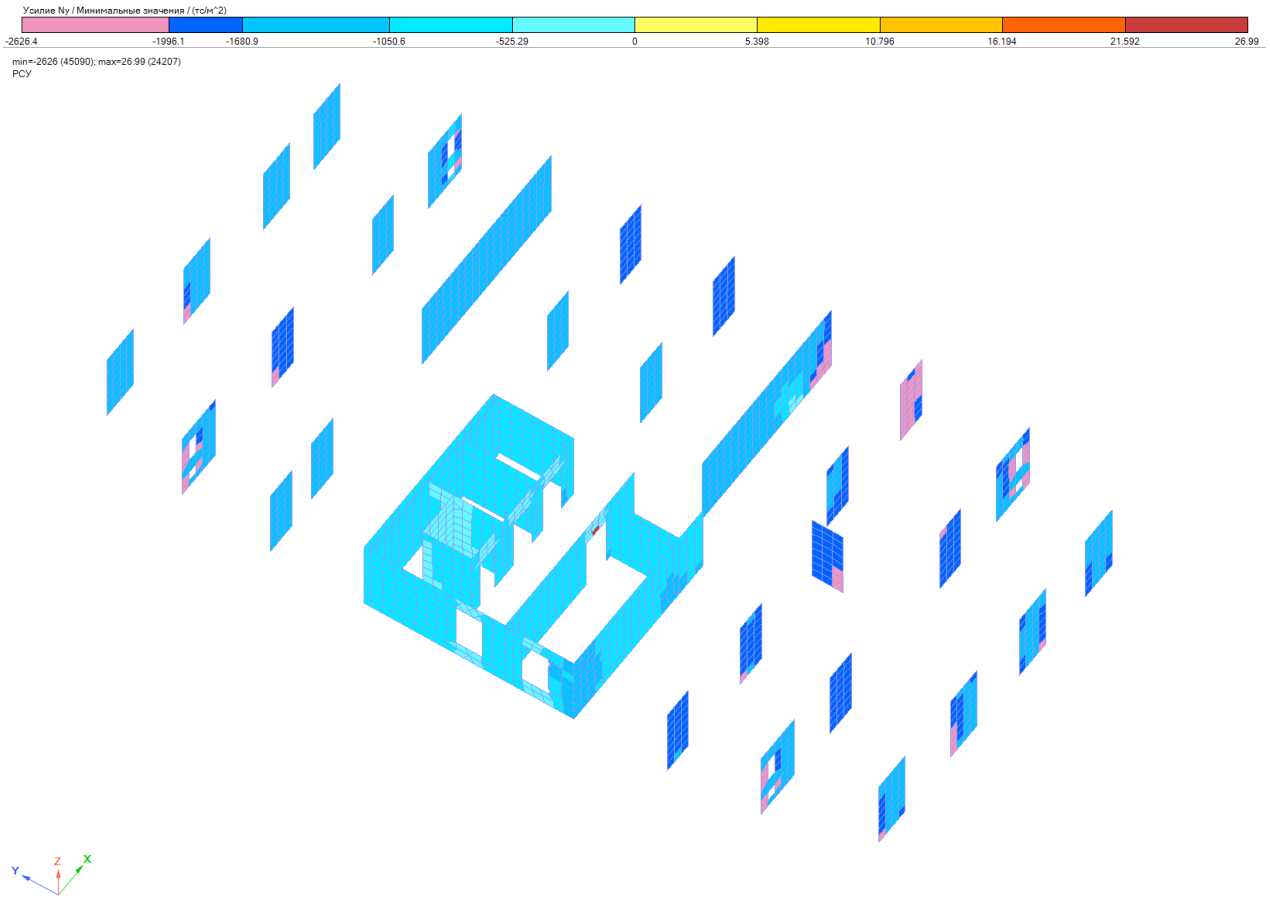
выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

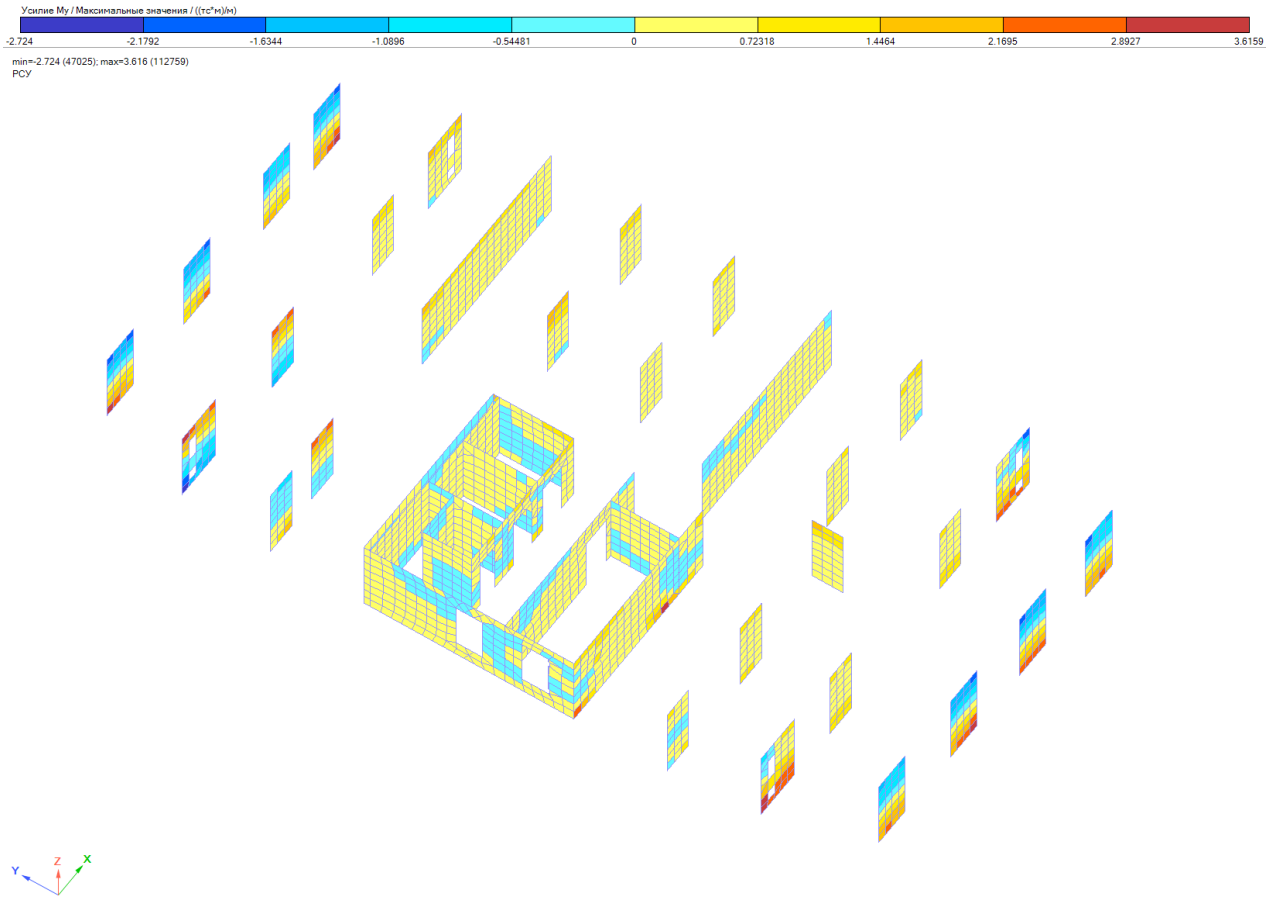
Гибкость	59.7	120	
Деформации сжатия в бетоне	-1.43‰	-3.25‰	
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰	
Процент использования по N	86%		
Процент использования по Mx	0%		
Процент использования по My	42%		

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

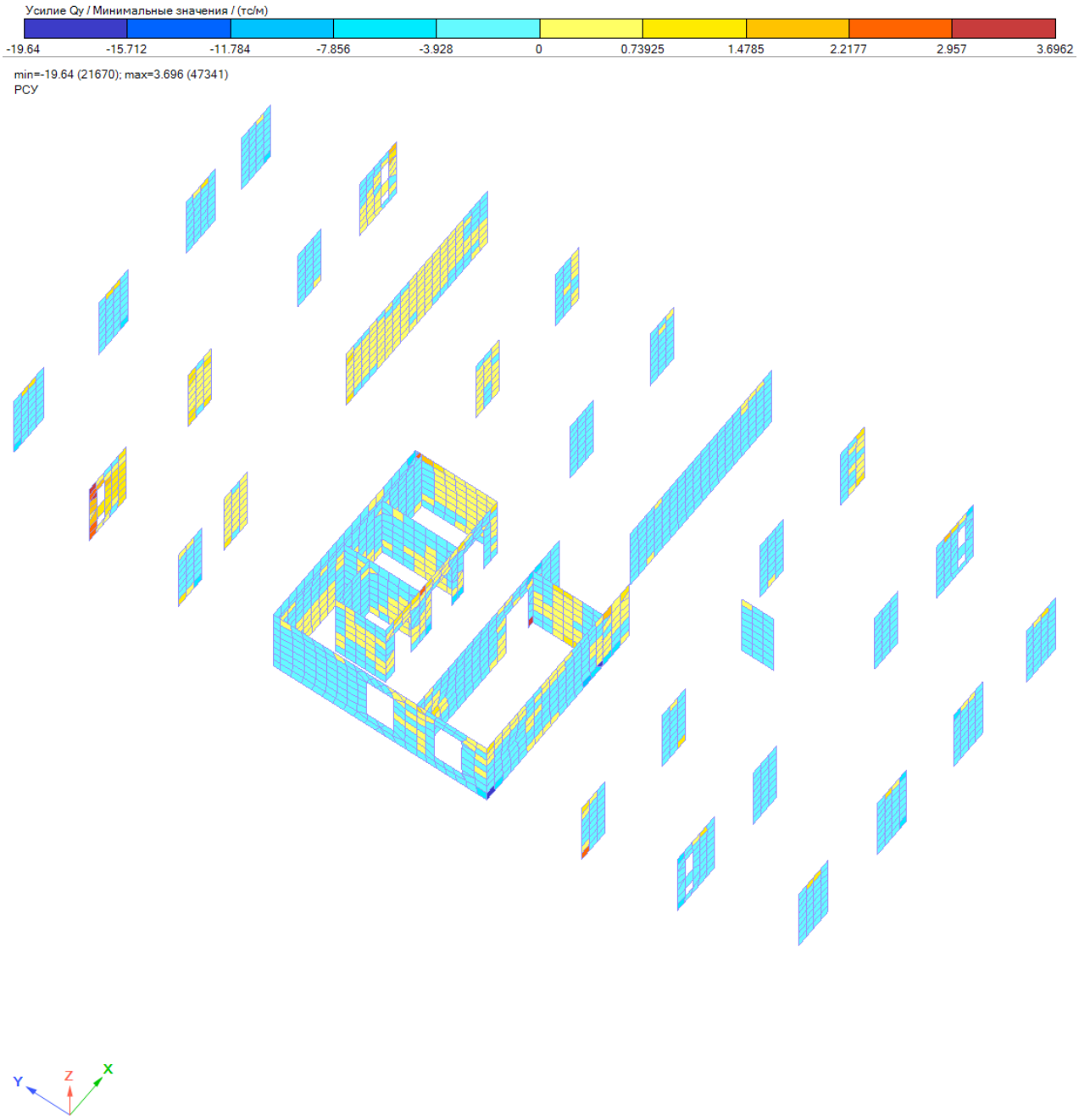
3.2. РАСЧЕТ КАРКАСА ЗДАНИЯ С ОТМ. +4.250



Изополя усилия Ny, тс*/м2



Изополя усилия My, тс*м/м



Изополя усилия Qy, тс/м

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 250ММ В/О 3.5-3.6/3.Ю С ОТМ. +4.250...+73.250 НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

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

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Продольная сила $N = -2477{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 12{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

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

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

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

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

Радиусы инерции сечения:

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

Гибкости колонны:

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

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

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

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-2477{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{12{,}0}{-2477{,}0}\right| = 0{,}005 \text{ м}$$

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

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

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

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

Окончательно принимается:

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

Коэффициенты k_b:

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

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

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

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

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

Условная критическая сила:

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

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

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{2477{,}0}{26319{,}8}} = 1{,}104$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{2477{,}0}{10458{,}4}} = 1{,}310$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1{,}104 \cdot 0{,}0 = 0{,}0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1{,}310 \cdot 12{,}0 = 15{,}7 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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

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

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

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

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

$$D_{11} = 21744{,}8\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 8504{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

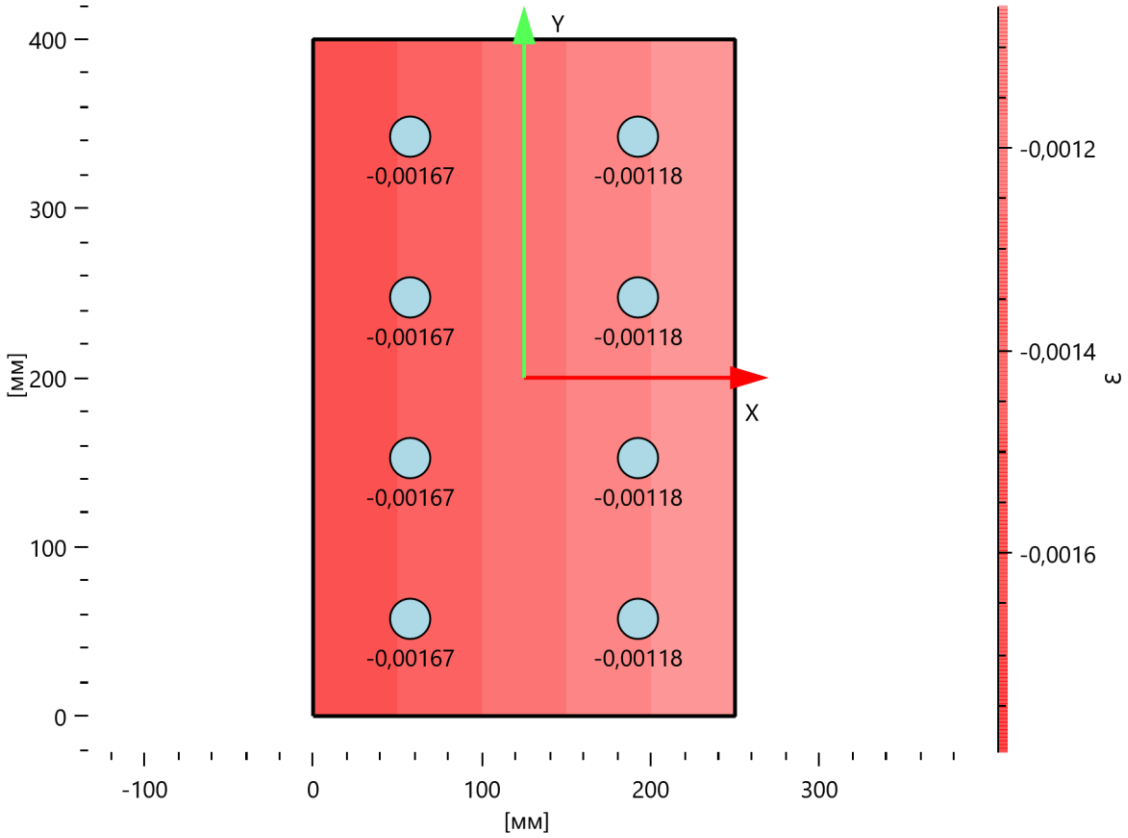
$$D_{12} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0{,}0\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 10476{,}3\ \text{кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 1761498{,}5\ \text{кН} \cdot \text{м}^2$$

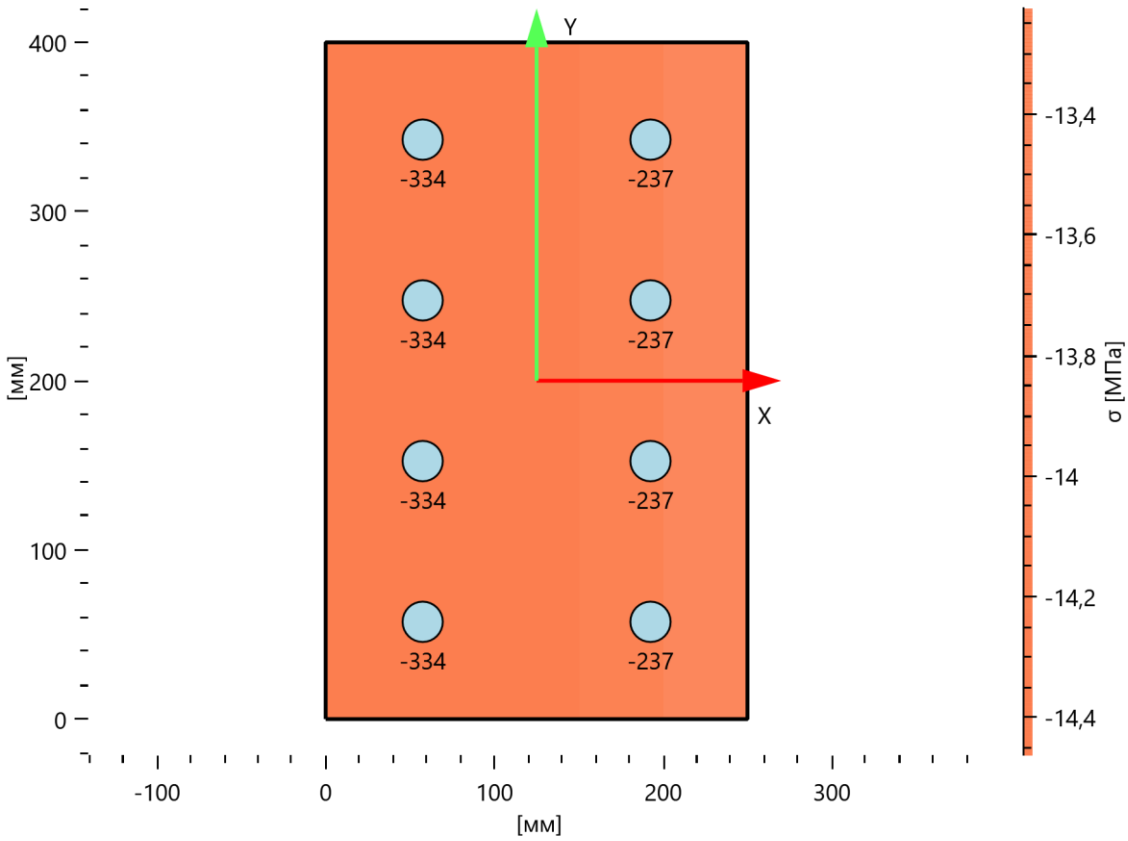
$$\frac{1}{r_x} = 0{,}00000000; \frac{1}{r_y} = 0{,}00360781;\ \varepsilon_0 = -0{,}00142765$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0{,}001788$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}001067}{-0{,}001788} = 0{,}002605$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001788| = 0{,}001788 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}002605$$

выполняется, то прочность сечения обеспечена.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость		31.3	120
Деформации сжатия в бетоне		-1.79‰	-2.61‰
Деформации растяжения в арматуре		0.00‰	25.00‰
Процент использования по N		91%	
Процент использования по Mx		0%	
Процент использования по My		44%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ НОРМАЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СТЕНЫ ТОЛЩИНОЙ 200ММ В/О 3.4-3.5/3.Ю С ОТМ. +4.250...+73.250 НА ОСНОВЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

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

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

УСИЛИЯ

- Продольная сила $N = -2460{,}0$ кН
- Изгибающий момент относительно оси X - $M_x = 0{,}0$ кН · м
- Изгибающий момент относительно оси Y - $M_y = 8{,}0$ кН · м
- Доля длительности нагрузки $\frac{M_l}{M} = 0{,}9$

ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

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

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ

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

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛОННЫ

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

РАСЧЕТ

Расчетные длины колонны:

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

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

Радиусы инерции сечения:

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

Гибкости колонны:

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

Случайный эксцентриситет принимается не менее:

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

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

$$e_{a(x,y)} \ge 0{,}01 \text{ м}$$

Значения эксцентриситетов, полученные из статического расчета:

$$e_x = \left|\frac{M_x}{N}\right| = \left|\frac{0{,}0}{-2460{,}0}\right| = 0{,}000 \text{ м}$$

$$e_y = \left|\frac{M_y}{N}\right| = \left|\frac{8{,}0}{-2460{,}0}\right| = 0{,}003 \text{ м}$$

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

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

Коэффициент, учитывающий влияние длительности действия нагрузки:

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

Относительное значение эксцентриситета продольной силы:

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

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

Окончательно принимается:

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

Коэффициенты k_b:

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

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

Жесткость элемента в предельной по прочности стадии:

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

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

Условная критическая сила:

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

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

Значения коэффициентов η принимаются равными:

$$\eta_x = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,x}}} = \frac{1}{1 - \frac{2460,0}{67330,9}} = 1,038$$

$$\eta_y = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr,y}}} = \frac{1}{1 - \frac{2460,0}{6435,4}} = 1,619$$

Моменты с учетом прогибов принимаются равными:

$$M_x^{\text{расч.}} = \eta_x M_x = 1,038 \cdot 0,0 = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$M_y^{\text{расч.}} = \eta_y M_y = 1,619 \cdot 8,0 = 13,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

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:

$$D_{11} = 62508,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{22} = 5980,8 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

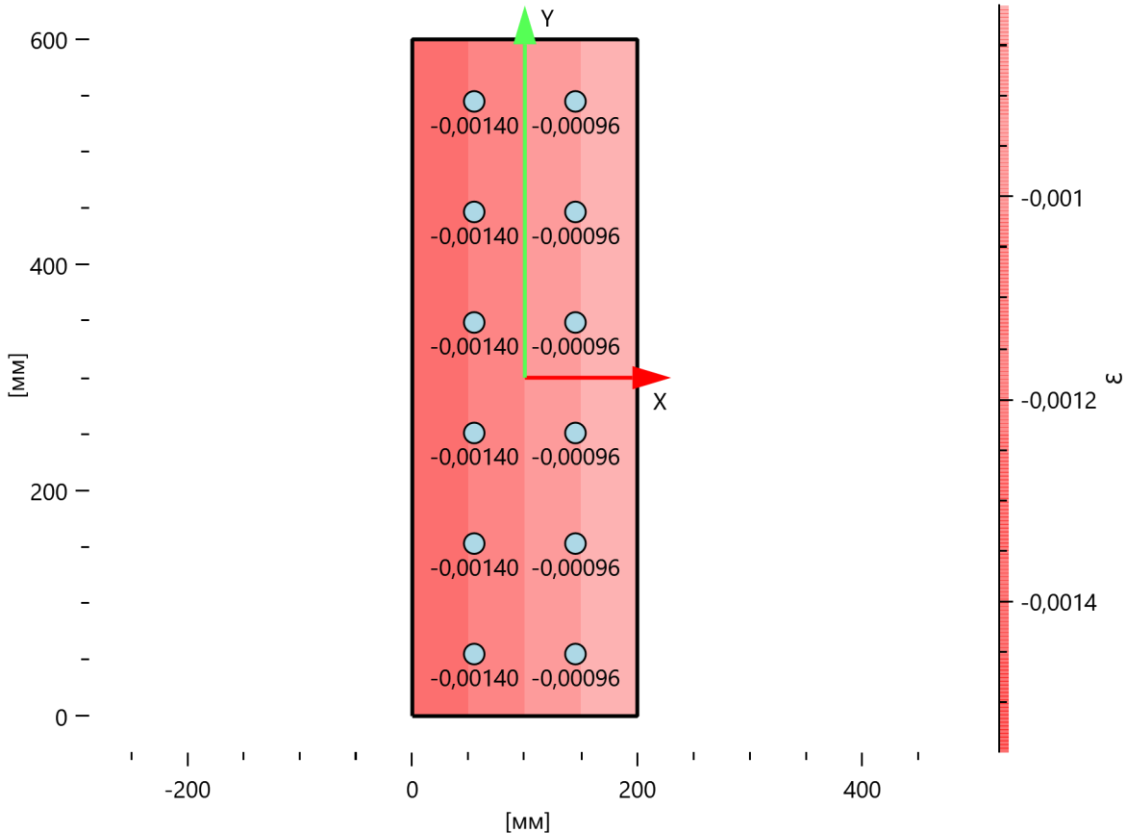
$$D_{12} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{13} = 0,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

$$D_{23} = 13488,2 \text{ кН} \cdot \text{м}^2;\ D_{33} = 2140555,0 \text{ кН} \cdot \text{м}^2$$

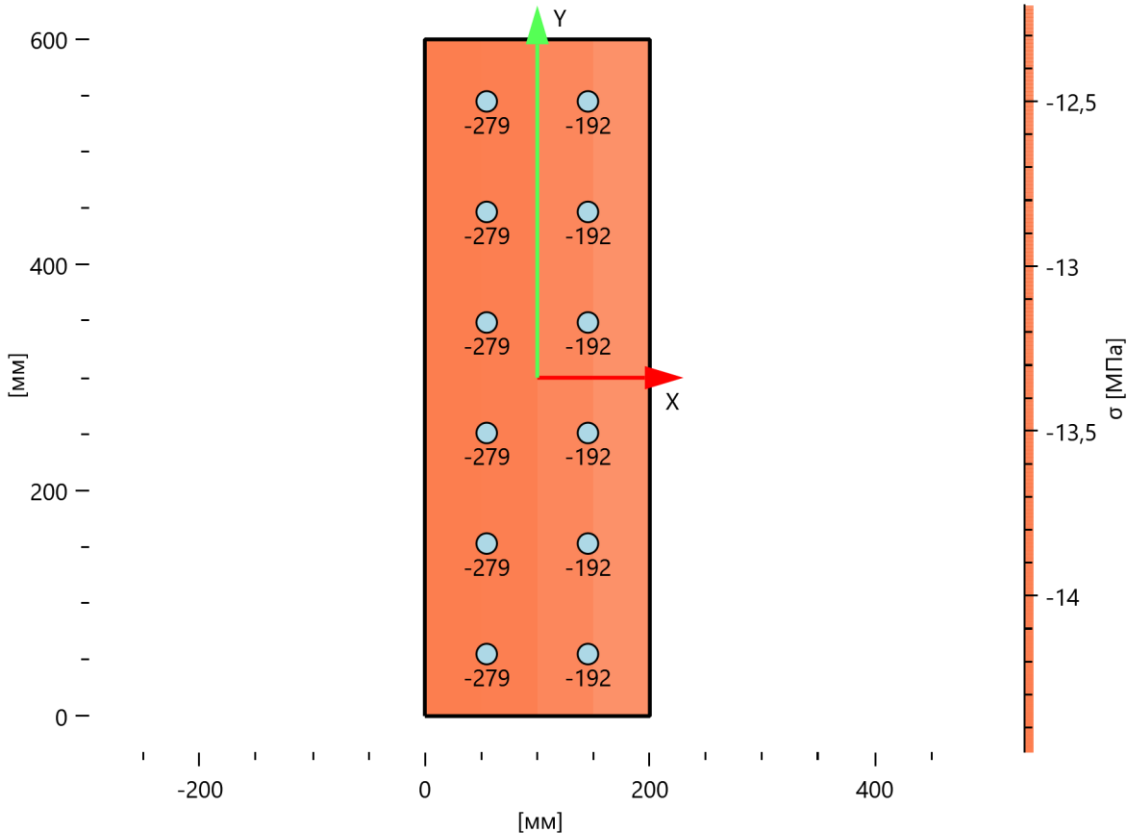
$$\frac{1}{r_x} = 0,00000000; \frac{1}{r_y} = 0,00482543;\ \varepsilon_0 = -0,00117963$$

Максимальная отн. деформация наиболее сжатого волокна бетона $\varepsilon_{b,max} = -0,001542$

Распределение отн. деформаций



Распределение напряжений



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

$$\varepsilon_{b,ult} = \varepsilon_{b2} - (\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{b0})\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = -0{,}0035 - (-0{,}0035 - -0{,}002)\frac{-0{,}000818}{-0{,}001542} = 0{,}002704$$

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

Т.к. условие:

$$\left|\varepsilon_{b,max}\right| = |-0{,}001542| = 0{,}001542 \leq \varepsilon_{b,ult} = 0{,}002704$$

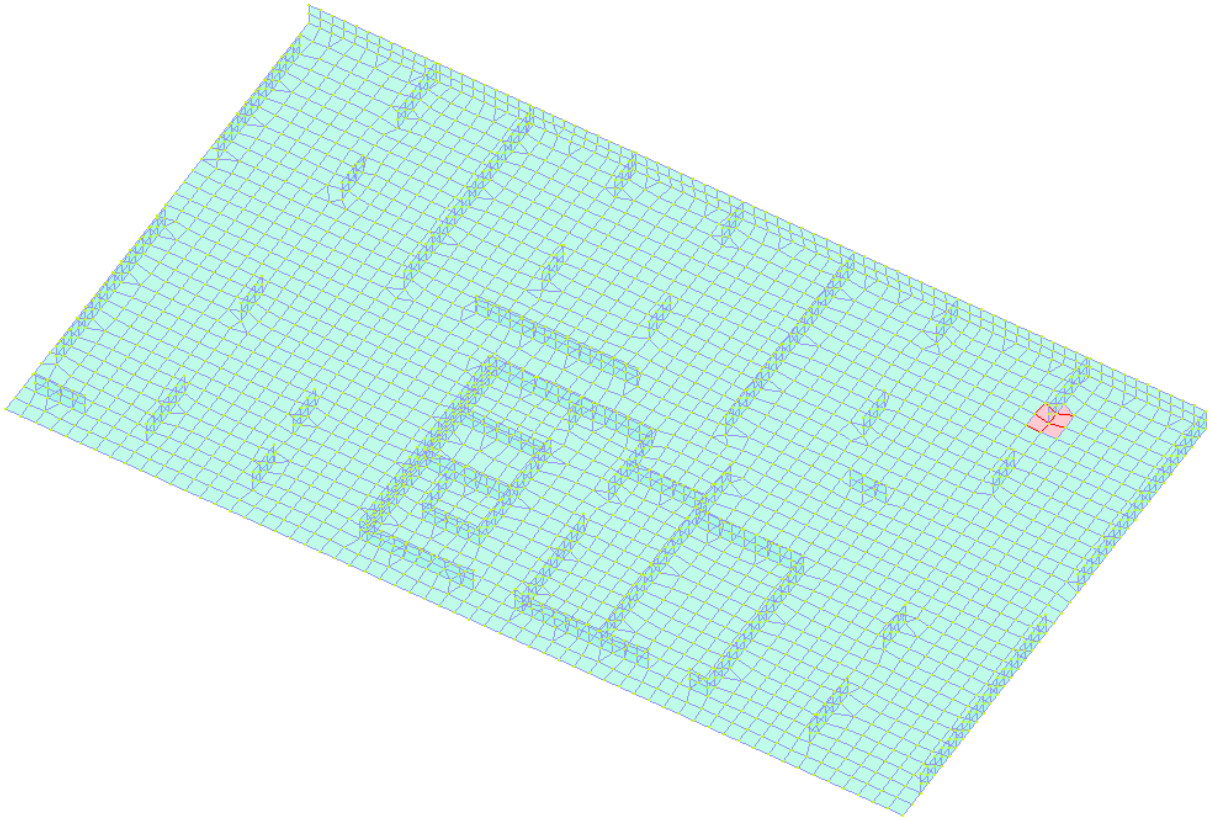
выполняется, то прочность сечения обеспечена.

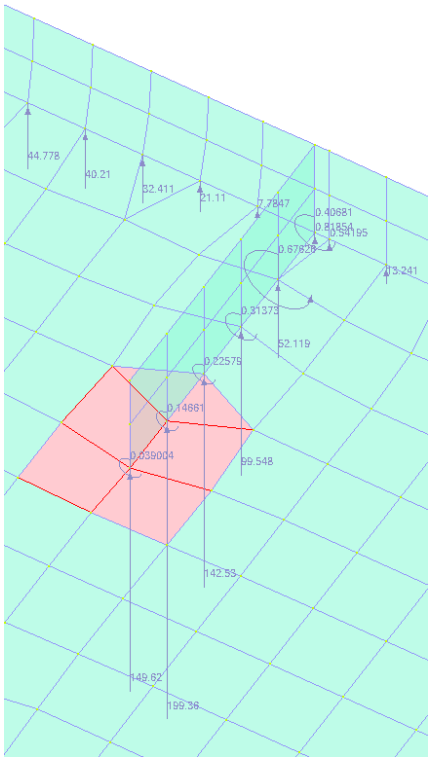
РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Гибкость	39.1	120
Деформации сжатия в бетоне	-1.54‰	-2.70‰
Деформации растяжения в арматуре	0.00‰	25.00‰
Процент использования по N	85%	
Процент использования по Mx	0%	
Процент использования по My	32%	

Прочность нормального сечения колонны обеспечена.

4. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ФУНДАМЕНТНОЙ ПЛИТЫ ОТМ. -7.200





Расчет на продавливание согласно СП 63.13330.2018.

Конструкция - фундамент, рядовая стена в/о 3.5/3.Ю на отм. -7.200

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Ширина сечения $b_1 = 25$ см $= 0.25$ м
- Толщина плиты $h = 90$ см $= 0.9$ м
- Защитный слой арматуры по направлению X $a_x = 5$ см $= 0.05$ м
- Защитный слой арматуры по направлению Y $a_y = 5$ см $= 0.05$ м
- Класс бетона B30 $R_{bt} = 1150$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы бетона $\gamma_b = 1$
- Класс арматуры A500 $R_{sw} = 300000$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы арматуры $\gamma_s = 1.0$
- Диаметр поперечной арматуры $d_s = 10$ мм $= 0.01$ м
- Количество стержней поперечной арматуры $n_s = 18$
- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 100$ мм $= 0.1$ м
- Продольная сила $N_{sup} = 4900$ кН;
- Изгибающий момент , $M_{y,sup} = 12$ кНм
- Нагрузка на перекрытие $q_{int} = 380$ кН/м^2

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

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

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

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

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

$$F_q = q_{int} A_q$$

$$A_q = (b_1 + h_0)\left(b_1 + \frac{h_0}{2}\right) = (0.25 + h_0)\left(0.25 + \frac{h_0}{2}\right) = 0.7425 \text{ м}^2$$

$$F_q = q_{int} A_q = 380 \cdot 0.7425 = 282.15 \text{ кН}$$

$$F = N_{sup} - F_q = 4900 - 282.15 = 4617.85 \text{ кН}$$

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

$$b = b_1 + h_0 = 0.25 + 0.85 = 1.1 \text{ м}$$

$$a = b_1 + h_0 = 0.25 + 0.85 = 1.1 \text{ м}$$

$$U_b = b + 2a = 1.1 + 2 \cdot 1.1 = 3.3 \text{ м}$$

$$F_{b,ult} = R_{bt}\gamma_b U_b h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 3.3 \cdot 0.85 = 3225.75 \text{ кН}$$

$$M_{b,y,ult} = R_{bt}\gamma_b W_{by} h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 6.0500E-001 \cdot 0.85 = 591.39 \text{ кНм}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} = \frac{4617.85}{3225.75} = 1.432$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = \frac{6}{591.39} = 0.01$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 1.432 + 0.01 = 1.442$$

Коэффициент использования $1.442 > 1$, установка поперечной арматуры требуется

$$U_s = U_b = 3.3 \text{ м}$$

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

$$F_{sw,ult} = 0.8q_{sw}U_s = 0.8 \cdot 4241.15 \cdot 3.3 = 11196.64 \text{ кН}$$

Условие $F_{sw,ult} = 11196.6\text{кН} \geq 0.25F_{b,ult} = 806.4\text{кН}$ выполняется.

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 3225.75 + 11196.64 = 14422.39 \text{ кН}$$

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 14422.39 > 2F_{b,ult} = 2 \cdot 3225.75 = 6451.5 \Rightarrow F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 6451.5 \text{ кН}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{4617.85}{6451.5} = 0.716$$

$$W_{sw,y} = W_{by} = 6.0500E-001 \text{ м}^2$$

$$M_{sw,y,ult} = 0.8q_{sw}W_{sw,y} = 0.8 \cdot 4241.15 \cdot 6.0500E-001 = 2052.72 \text{ кНм}$$

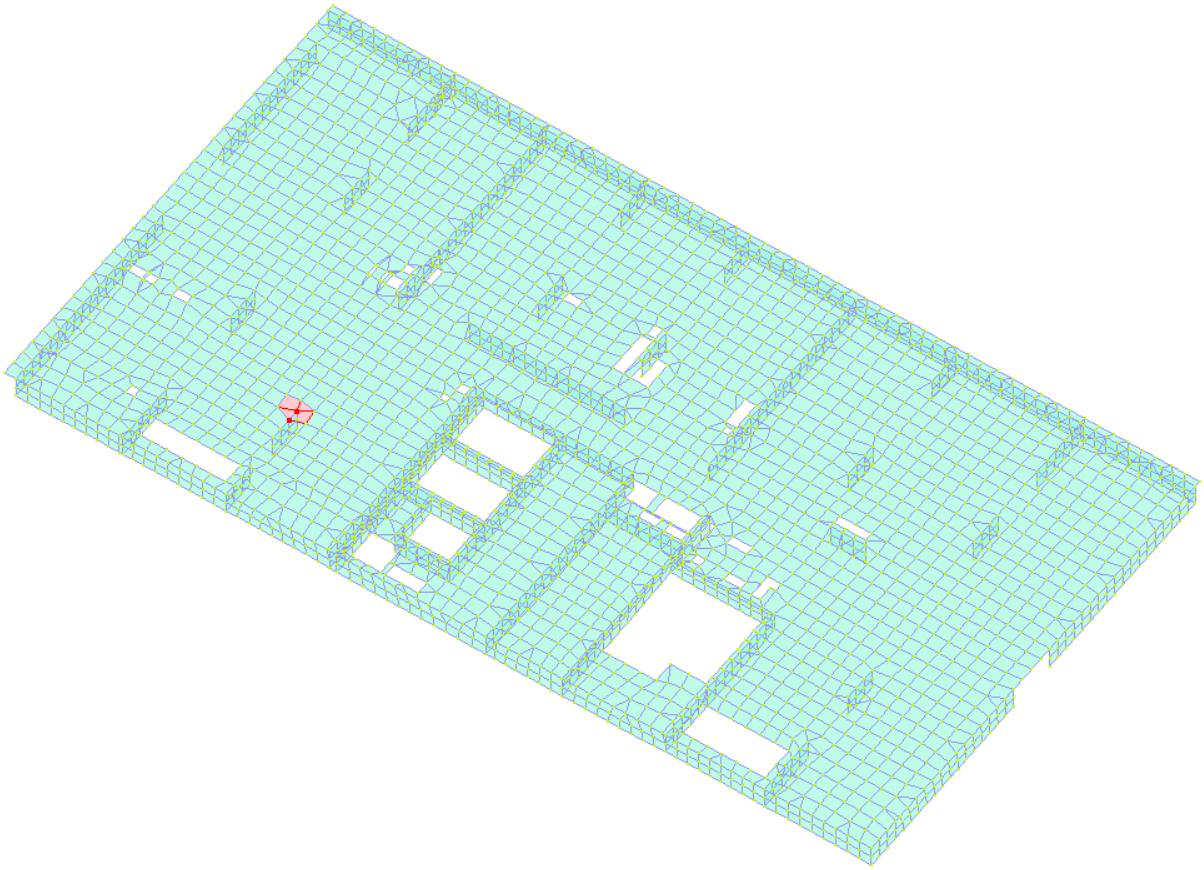
$$M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult} = 591.39 + 2052.72 = 2644.1 \text{ кНм}$$

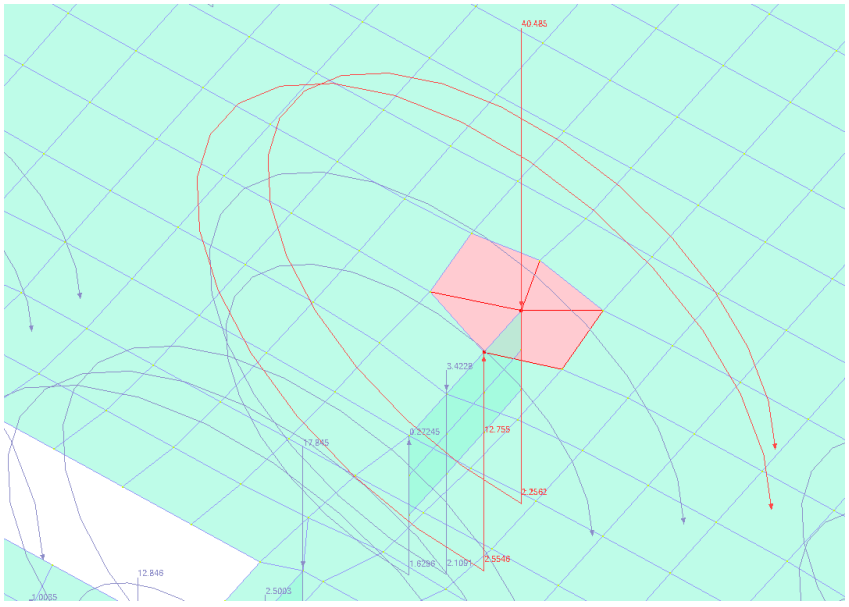
$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{6}{1182.78} = 0.005$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.716 + 0.005 = 0.721$$

Коэффициент использования составляет $K = 0.721$. Условие прочности выполняется

4.1. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПЛИТЫ НА ОТМ. -0.850





Расчет на продавливание согласно СП 63.13330.2018.

Конструкция - плита, рядовая стена в/о 3.2-3.3/3.Т на отм. -0.850

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Ширина сечения $b_1 = 25$ см $= 0.25$ м
- Толщина плиты $h = 20$ см $= 0.2$ м
- Защитный слой арматуры по направлению X $a_x = 3$ см $= 0.03$ м
- Защитный слой арматуры по направлению Y $a_y = 4$ см $= 0.04$ м
- Класс бетона 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 $N_{sup} = 277$ кН;
- Изгибающий момент , $M_{y,sup} = 48$ кНм

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

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

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

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

$$F = N_{sup} = 277 \text{ кН}$$

$$M_y = \frac{M_{y,sup}}{2} = \frac{48}{2} = 24 \text{ кНм}$$

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

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

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

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

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

$$\frac{F}{F_{b,ult}} = \frac{277}{236.24} = 1.173$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = \frac{24}{16.34} = 1.469$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 1.173 + 0.586 = 1.759$$

Коэффициент использования $1.759 > 1$, установка поперечной арматуры требуется

$$U_s = U_b = 1.245 \text{ м}$$

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

$$F_{sw,ult} = 0.8 q_{sw} U_s = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 1.245 = 5406.96 \text{ кН}$$

Условие $F_{sw,ult} = 5407\text{кН} \geq 0.25F_{b,ult} = 59.1\text{кН}$ выполняется.

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

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

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{277}{472.48} = 0.586$$

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

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

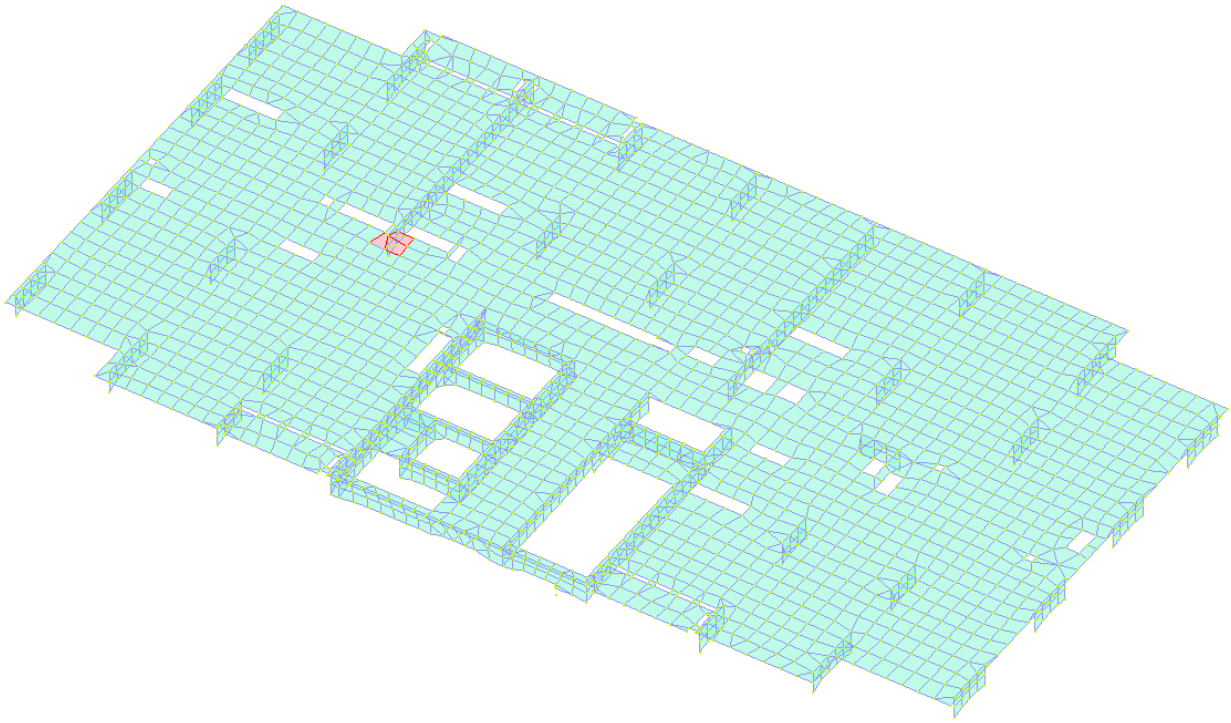
$$M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult} = 16.34 + 373.98 = 390.32 \text{ кНм}$$

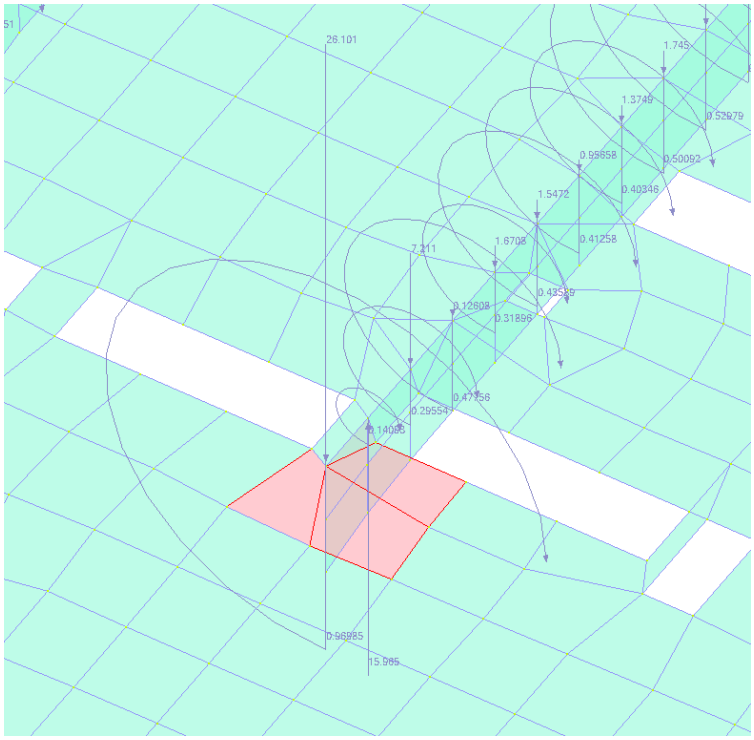
$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{24}{32.68} = 0.734$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.586 + 0.293 = 0.879$$

Коэффициент использования составляет $K = 0.879$. Условие прочности выполняется

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





Расчет на продавливание согласно СП 63.13330.2018.

Конструкция - плита, крайняя стена в/о 3.4/3.Т на отм. +4.250...+73.250

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Ширина сечения $b_1 = 20$ см $= 0.2$ м
- Расстояние от края плиты до грани $c_x = 0$ см $= 0$ м
- Толщина плиты $h = 18$ см $= 0.18$ м
- Защитный слой арматуры по направлению X $a_x = 3$ см $= 0.03$ м
- Защитный слой арматуры по направлению Y $a_y = 4$ см $= 0.04$ м
- Класс бетона В30 $R_{bt} = 1150$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы бетона $\gamma_b = 1$
- Класс арматуры А500 $R_{sw} = 300000$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы арматуры $\gamma_s = 1.0$
- Диаметр поперечной арматуры $d_s = 8$ мм $= 0.008$ м
- Количество стержней поперечной арматуры $n_s = 18$
- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 50$ мм $= 0.05$ м
- Продольная сила $N_{sup} = 110$ кН;
- Изгибающий момент , $M_{y,sup} = 12$ кНм

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

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

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

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

$$F = N_{sup} = 110 \text{ кН}$$

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

$$b = b_1 + \frac{h_0}{2} + c_x = 0.2 + \frac{0.145}{2} + 0 = 0.273 \text{ м}$$

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

$$U_b = a + b = 0.345 + 0.273 = 0.618 \text{ м}$$

$$x_0 = \frac{0.5a^2}{a + b} = \frac{0.5 \cdot 0.345^2}{0.345 + 0.273} = 0.06 \text{ м}$$

$$y_0 = \frac{0.5b^2}{a + b} = \frac{0.5 \cdot 0.273^2}{0.345 + 0.273} = 0.096 \text{ м}$$

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

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

$$e_x = |x_0 - x| = |0.06 - 0.173| = 0.112 \text{ м}$$

$$e_y = |y_0 - y| = |0.096 - 0.209| = 0.112 \text{ м}$$

$$M_x = M_x - F * e_x = 0 - 110 * 0.112 = -12.361 \text{ кНм}$$

$$M_y = M_y - F * e_y = 6 - 110 * 0.112 = -6.361 \text{ кНм}$$

$$I_{bx} = \frac{b^3}{12} + b\left(\frac{b}{2} - x_0\right)^2 + a(b - x_0)^2 = \frac{0.273^3}{12} + 0.273\left(\frac{0.273}{2} - 0.06\right)^2 + 0.345(0.273 - 0.06)^2$$
$$= 1.8826E - 002 \text{ м}^3$$

$$W_{bx} = Min\left(\frac{I_{bx}}{x_0}; \frac{I_{bx}}{b - x_0}\right) = Min\left(1.8826E - \frac{002}{0.06}; 1.8826E - \frac{002}{0.273 - 0.06}\right)$$
$$= Min(3.1310E - 001; 0.088644191017316) = 8.8644E - 002 \text{ м}^2$$

$$I_{by} = \frac{a^3}{12} + a\left(\frac{a}{2} - y_0\right)^2 + b(a - y_0)^2 = \frac{0.345^3}{12} + 0.345\left(\frac{0.345}{2} - 0.096\right)^2 + 0.273(0.345 - 0.096)^2$$
$$= 2.2265E - 002 \text{ м}^3$$

$$W_{by} = Min\left(\frac{I_{by}}{y_0}; \frac{I_{by}}{a - y_0}\right) = Min\left(2.2265E - \frac{002}{0.096}; 2.2265E - \frac{002}{0.345 - 0.096}\right)$$
$$= Min(0.231025; 0.0895546348314607) = 8.9555E - 002 \text{ м}^2$$

$$F_{b,ult} = R_{bt}\gamma_b U_b h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 0.6175 \cdot 0.145 = 102.97 \text{ кН}$$

$$M_{b,x,ult} = R_{bt}\gamma_b W_{bx} h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 8.8644E - 002 \cdot 0.145 = 14.78 \text{ кНм}$$

$$M_{b,y,ult} = R_{bt}\gamma_b W_{by} h_0 = 1150 \cdot 1 \cdot 8.9555E - 002 \cdot 0.145 = 14.93 \text{ кНм}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} = \frac{110}{102.97} = 1.068$$

$$\frac{M_x}{M_{b,x,ult}} = \frac{12.36}{14.78} = 0.836$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = \frac{6.36}{14.93} = 0.426$$

$$\frac{M_x}{M_{b,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 0.836 + 0.426 = 1.262 > \frac{F}{2F_{b,ult}} = 0.534 \Rightarrow \frac{M_x}{M_{b,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 0.534$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_x}{M_{b,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 1.068 + 0.534 = 1.602$$

Коэффициент использования $1.602 > 1$, установка поперечной арматуры требуется

$$U_s = U_b = 0.618 \text{ м}$$

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

$$F_{sw,ult} = 0.8q_{sw}U_s = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 0.618 = 2681.76 \text{ кН}$$

Условие $F_{sw,ult} = 2681.8\text{кН} \geq 0.25F_{b,ult} = 25.7\text{кН}$ выполняется.

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 102.97 + 2681.76 = 2784.73 \text{ кН}$$

$$F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 2784.73 > 2F_{b,ult} = 2 \cdot 102.97 = 205.94 \Rightarrow F_{b,ult} + F_{sw,ult} = 205.94 \text{ кН}$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{110}{205.94} = 0.534$$

$$W_{sw,x} = W_{bx} = 8.8644E - 002 \text{ м}^2$$

$$M_{sw,x,ult} = 0.8 q_{sw} W_{sw,x} = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 8.8644E - 002 = 384.98 \text{ кНм}$$

$$M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult} = 14.78 + 384.98 = 399.76 \text{ кНм}$$

$$\frac{M_x}{M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult}} = \frac{12.36}{29.56} = 0.418$$

$$W_{sw,y} = W_{by} = 8.9555E - 002 \text{ м}^2$$

$$M_{sw,y,ult} = 0.8 q_{sw} W_{sw,y} = 0.8 \cdot 5428.67 \cdot 8.9555E - 002 = 388.93 \text{ кНм}$$

$$M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult} = 14.93 + 388.93 = 403.86 \text{ кНм}$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{6.36}{29.87} = 0.213$$

$$\frac{M_x}{M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.267 + 0.213 = 0.267$$

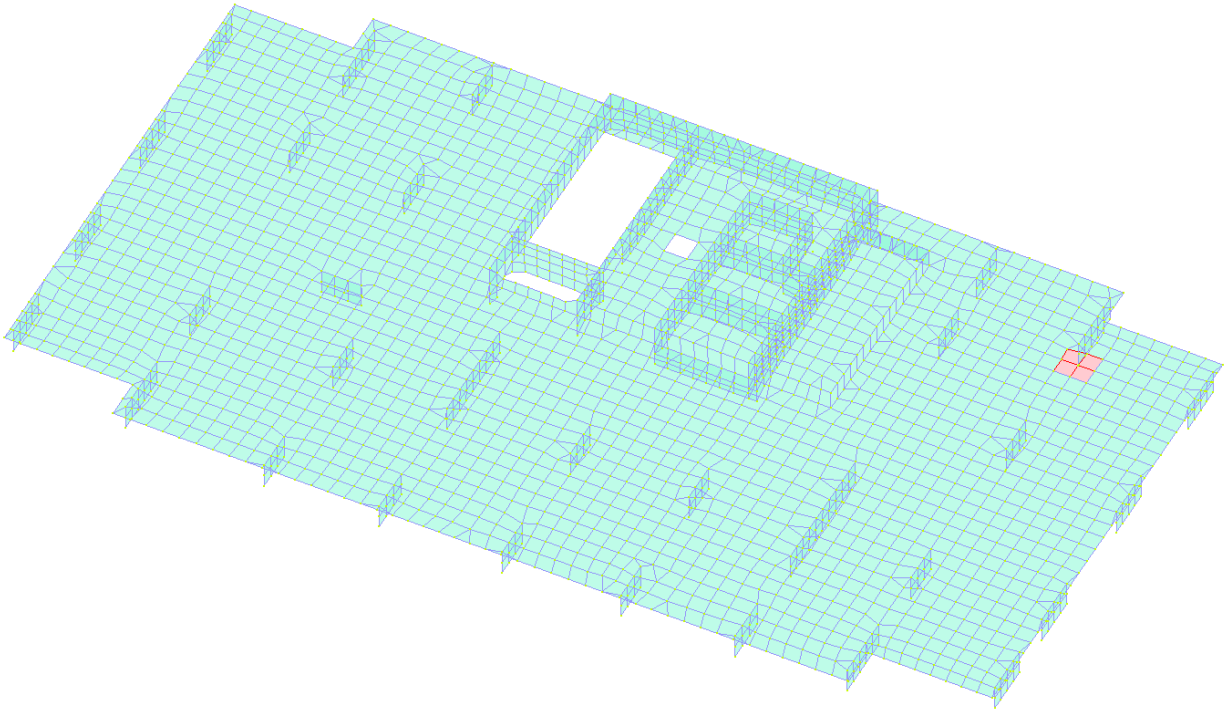
$$\frac{M_x}{M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.48 > \frac{F}{2\left(F_{b,ult} + F_{sw,ult}\right)} = \frac{0.534}{2} = 0.267$$

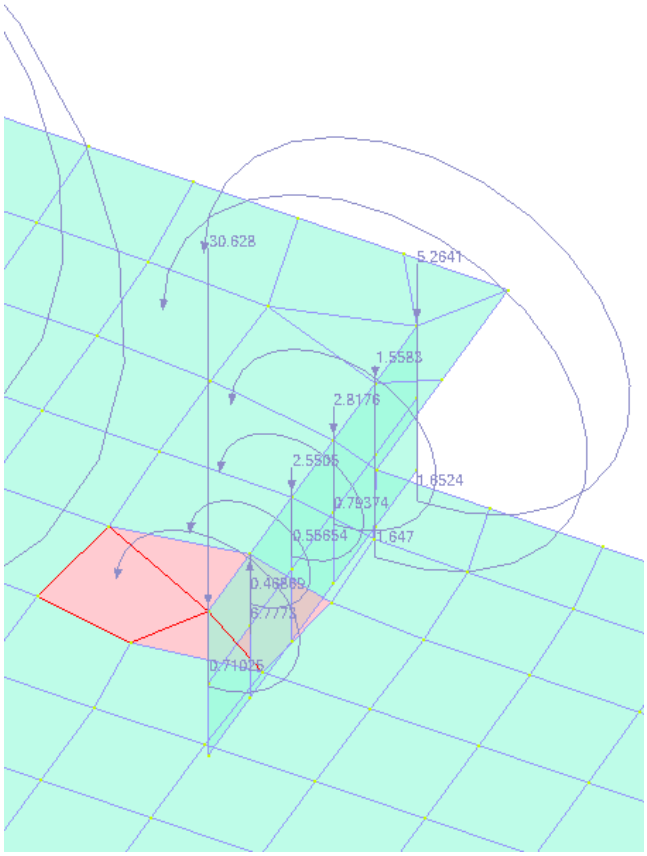
$$\Rightarrow \frac{M_x}{M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{F}{2\left(F_{b,ult} + F_{sw,ult}\right)} = 0.267$$

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_x}{M_{b,x,ult} + M_{sw,x,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.534 + 0.267 = 0.801$$

Коэффициент использования составляет $K = 0.801$. Условие прочности выполняется

4.3. РАСЧЕТ ОТ ПРОДАВЛИВАНИЯ ПЛИТЫ ПОКРЫТИЯ ОТМ. +75.250





Расчет на продавливание согласно СП 63.13330.2018.

Конструкция - плита, рядовая стена в/о 3.5/3.Ю на отм. +72.250

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

- Ширина сечения $b_1 = 20$ см $= 0.2$ м
- Толщина плиты $h = 20$ см $= 0.2$ м
- Защитный слой арматуры по направлению X $a_x = 3$ см $= 0.03$ м
- Защитный слой арматуры по направлению Y $a_y = 4$ см $= 0.04$ м
- Класс бетона B30 $R_{bt} = 1150$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы бетона $\gamma_b = 1$
- Класс арматуры A500 $R_{sw} = 300000$ кН/м^2
- Коэффициент условий работы арматуры $\gamma_s = 1.0$
- Диаметр поперечной арматуры $d_s = 8$ мм $= 0.008$ м
- Количество стержней поперечной арматуры $n_s = 18$
- Шаг стержней поперечной арматуры $s_w = 50$ мм $= 0.05$ м
- Продольная сила $N_{sup} = 239$ кН;
- Изгибающий момент , $M_{y,sup} = 11$ кНм

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

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

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

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

$$F = N_{sup} = 239 \text{ кН}$$

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

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

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

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

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

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

$$\frac{F}{F_{b,ult}} = \frac{239}{207.78} = 1.15$$

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = \frac{5.5}{12.64} = 0.435$$

$$\frac{F}{F_{b,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult}} = 1.15 + 0.435 = 1.585$$

Коэффициент использования $1.585 > 1$, 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.

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

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

$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} = \frac{239}{415.55} = 0.575$$

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

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

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

$$\frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = \frac{5.5}{25.28} = 0.218$$

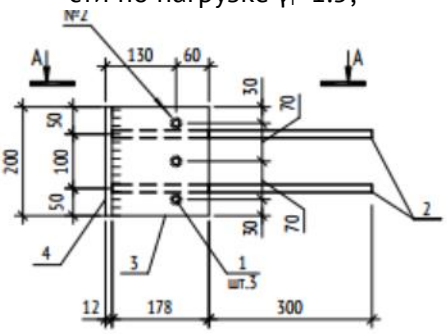
$$\frac{F}{F_{b,ult} + F_{sw,ult}} + \frac{M_y}{M_{b,y,ult} + M_{sw,y,ult}} = 0.575 + 0.218 = 0.793$$

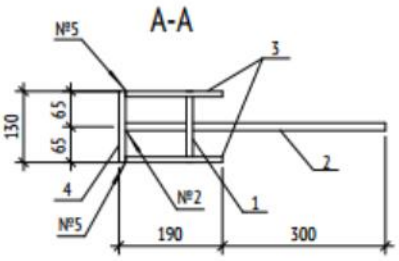
Коэффициент использования составляет $K = 0.793$. Условие прочности выполняется

5. РАСЧЕТ ЗАКЛАДНОЙ ДЕТАЛИ

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

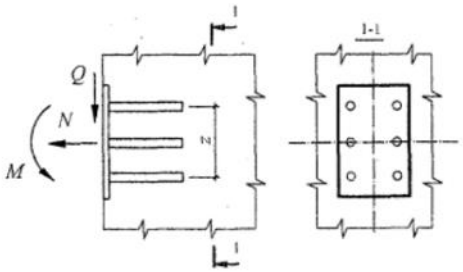
- На краю панели в пилонах и стенах N=1.3 т.с без учёта коэффициента надёжности по нагрузке γ_f=1.5, моментная составляющая 0.13 тм без учёта коэффициента надёжности по нагрузке γ_f=1.5;





Класс бетона B30 Класс арматуры A500

R_{bn}, $R_{b.ser}$	224.3	кгс/см²	$R_{s.n}$, $R_{s.ser}$	5098.6	кгс/см²
R_{btn}, $R_{bt.ser}$	17.8	кгс/см²	$R_{sc.n}$, $R_{sc.ser}$	5098.6	кгс/см²
$R_b\gamma_{b2}$	173.4	кгс/см²	R_s	4435.8	кгс/см²
$R_{bt}\gamma_{b2}$	11.7	кгс/см²	R_{sc}	4078.9	кгс/см²
E_b	331408	кгс/см²	R_{sw}	3059.1	кгс/см²
γ_{b2}	1.0		γ_s	1.0	
ξ_R	0.5		E_s	2039432	кгс/см²
			E_s/E_b	6.2	



Исходные данные:

n_{an}=	3		-количество рядов анкеров вдоль сдвига
$n_{an.f}$=	1		-количество анкеров в одном ряду
z_0=	84	мм	-расстояние между рядами, перпендикулярными сдвигу
z=	140	мм	-расстояние между крайними рядами
d_{an}=	12	мм	-диаметр анкерного стержня
e=	0	мм	-экстентриситет приложения усилий

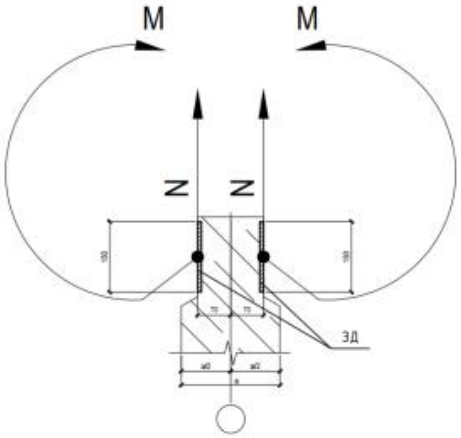
Расчетное сопротивление стали на срез(по СП 16.13330):

R_{sq}= 1363 кгс/см²

Усилия:

N=	0	тс	-продольное усилие
M_0=	0.2	тс· м	-изгибающий момент
Q=	1.95	тс	-поперечная сила
M=	0	тс· м	-изгибающий момент с учетом эксцентриситета приложения нагрузки

Схема приложения нагрузок на закладную в пилонах и стенах



Расчет:

-площадь поперечного сечения нормальных анкеров наиболее напряженного ряда

$$A_{an} = \frac{1,1\sqrt{N_{an}^2 + \left(\frac{Q_{an}}{\varphi\varphi_1}\right)^2}}{R_s} = 0.9 \text{ см}^2 \qquad d = 1.07 \text{ см}$$

-наибольшее растягивающее усилие в одном ряду нормальных анкеров

$$N_{an} = \frac{M}{z} + \frac{N}{n_{an}} = 1.4 \text{ тс}$$

-сдвигающее усилие, приходящееся на один ряд нормальных анкеров

$$Q_{an} = \frac{Q - 0,3N'_{an}}{n_{an}} = 0.51 \text{ тс}$$

-наибольшее сжимающее усилие в одном ряду нормальных анкеров

$$N'_{an} = \frac{M}{z} - \frac{N}{n_{an}} = 1.4 \text{ тс}$$

-коэффициент для анкерных стержней 8-25 мм

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

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

-толщина пластины закладной детали

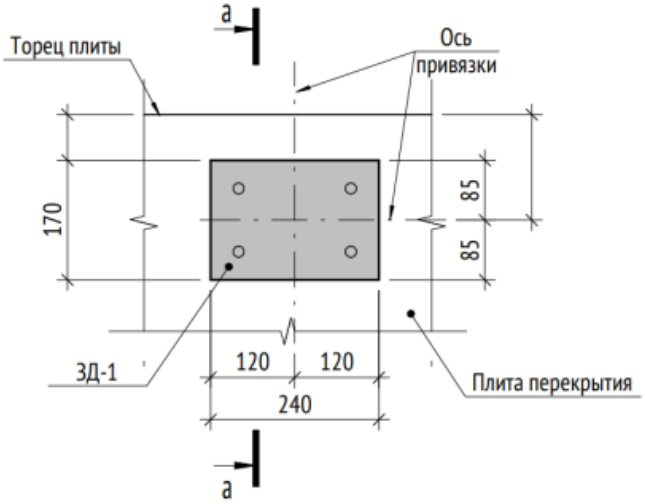
$$t \geq 0,25d_{an}\frac{R_s}{R_{sq}} = 0.87 \text{ см}$$

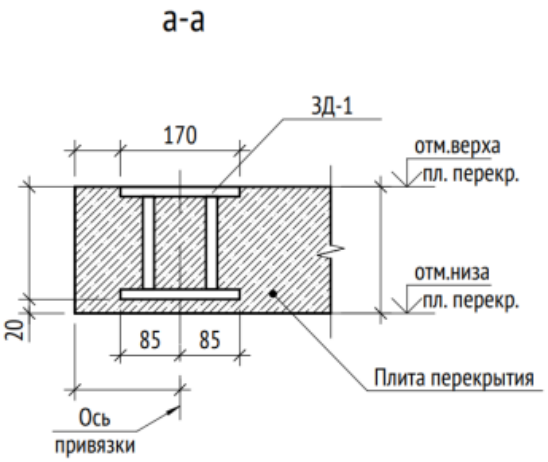
Проверочный расчёт закладной детали в перекрытии

Исходные данные:

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

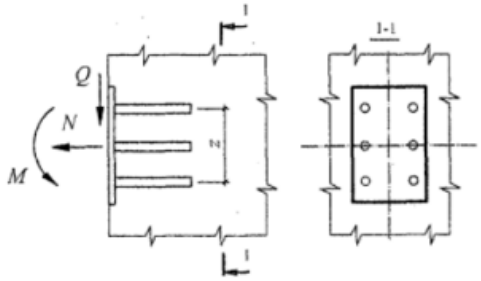
- На краю панели в пилонах и стенах N=1.5 т.с без учёта коэффициента надёжности по нагрузке γ_f=1.5, моментная составляющая 0.15 тм без учёта коэффициента надёжности по нагрузке γ_f=1.5;





Класс бетона B30 Класс арматуры A500

R_{bn}, $R_{b.ser}$	224.3	кгс/см²	$R_{s.n}$, $R_{s.ser}$	5098.6	кгс/см²
R_{btn}, $R_{bt.ser}$	17.8	кгс/см²	$R_{sc.n}$, $R_{sc.ser}$	5098.6	кгс/см²
$R_b\gamma_{b2}$	173.4	кгс/см²	R_s	4435.8	кгс/см²
$R_{bt}\gamma_{b2}$	11.7	кгс/см²	R_{sc}	4078.9	кгс/см²
E_b	331408	кгс/см²	R_{sw}	3059.1	кгс/см²
γ_{b2}	1.0		γ_s	1.0	
ξ_R	0.5		E_s	2039432	кгс/см²
			E_s/E_b	6.2	



Исходные данные:

n_{an}=	2		-количество рядов анкеров вдоль сдвига
$n_{an.f}$=	2		-количество анкеров в одном ряду
z_0=	84	мм	-расстояние между рядами, перпендикулярными сдвигу
z=	90	мм	-расстояние между крайними рядами
d_{an}=	12	мм	-диаметр анкерного стержня
e=	0	мм	-экстентриситет приложения усилий

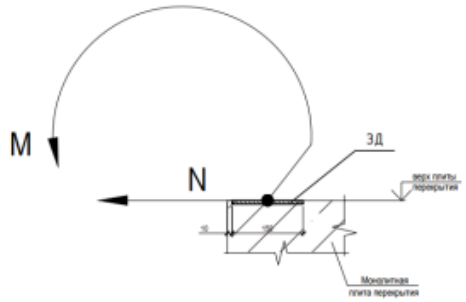
Расчетное сопротивление стали на срез(по СП 16.13330):

R_{sq}= 1363 кгс/см²

Усилия:

N=	0	тс	-продольное усилие
M_0=	0.23	тс· м	-изгибающий момент
Q=	2.25	тс	-поперечная сила
M=	0	тс· м	-изгибающий момент с учетом эксцентриситета приложения нагрузки

Схема приложения нагрузок на закладную в перекрытии



Расчет:

-площадь поперечного сечения нормальных анкеров наиболее напряженного ряда

$$A_{an} = \frac{1,1\sqrt{N_{an}^2 + \left(\frac{Q_{an}}{\varphi\varphi_1}\right)^2}}{R_s} = 1.61 \text{ см}^2 \qquad d = 1.01 \text{ см}$$

-наибольшее растягивающее усилие в одном ряду нормальных анкеров

$$N_{an} = \frac{M}{z} + \frac{N}{n_{an}} = 2.5 \text{ тс}$$

-сдвигающее усилие, приходящееся на один ряд нормальных анкеров

$$Q_{an} = \frac{Q - 0,3N'_{an}}{n_{an}} = 0.75 \text{ тс}$$

-наибольшее сжимающее усилие в одном ряду нормальных анкеров

$$N'_{an} = \frac{M}{z} - \frac{N}{n_{an}} = 2.5 \text{ тс}$$

-коэффициент для анкерных стержней 8-25 мм

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

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

-толщина пластины закладной детали

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

6. ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТОВ

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА КОРПУСА 3 СЕКЦИЯ 7

№ П/П	ПОКАЗАТЕЛЬ	ЗНАЧЕНИЕ ПОЛУЧЕННОЕ ПО РАСЧЕТУ	ПРЕДЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ	ПРИМЕЧАНИЕ
1	Средняя осадка фундаментной плиты отм. −7.200, мм	120.5	150	СП 22.13330.2016, прил. Г, табл. Г.1
2	Среднее давление под подошвой фундамента, т/м2	41.3	-	
3	Расчетное сопротивление грунта, т/м2	77.6	-	СП 22.13330.2016, п. 5.6.7
4	Относительная разность осадок фундамента, $\Delta s/L$	0.0007	0.003	СП 22.13330.2016, прил. Г, табл. Г.1
5	Максимальный прогиб плиты перекрытия толщ. 200мм в/о 3.Т/3.2-3.3 на отм -0.500, мм	7.7	5040/200=25.2	СП 20.13330.2016, табл. Д.1, п. 2
6	Максимальный прогиб плиты перекрытия толщ. 180мм в/о 3.Т/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, +49.250, +52.250, +55.250, +58.250, +61.250, +64.250, +67.250, +70.250, +73.250, мм	7.3	5040/200=25.2	СП 20.13330.2016, табл. Д.1, п. 2
7	Максимальный прогиб плиты покрытия толщ. 200мм в/о на отм. 3.3-3.4/3.Ю +75.250, мм	18.6	5950/200=29.75	СП 20.13330.2016, табл. Д.1, п. 2
8	Горизонтальное перемещение верха здания по оси X, мм	64.6	82250/500=164.5	СП 20.13330.2016, табл. Д.4, п. 1
9	Горизонтальное перемещение верха здания по оси Y, мм	62.4	82250/500=164.5	СП 20.13330.2016, табл. Д.4, п. 1

10	Максимальное ускорение верхнего этажа по оси X, м/с2	0.053	0.08	СП 20.13330.2016, В.3
11	Максимальное ускорение верхнего этажа по оси Y, м/с2	0.03	0.08	СП 20.13330.2016, В.3
12	Максимальный коэффициент использования сечения фундаментной плиты в/о 3.5/3.Ю отм. −7.200 при расчете на продавливание (с учетом поперечной арматуры)			0.721
13	Максимальный коэффициент использования сечения фундаментной плиты в/о 3.1-3.2/3.У на отм. -7.200 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)			0.766
14	Максимальный коэффициент использования сечения плиты перекрытия толщ. 200мм в/о 3.2-3.3/3.Т на отм. -0.850 при расчете на продавливание (с учетом поперечной арматуры)			0.879
15	Максимальный коэффициент использования сечения плиты толщ. 180мм в/о 3.Т/3.2-3.3 на отм. -0.500 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)			0.893
16	Максимальный коэффициент использования сечения плиты перекрытия толщ. 180мм в/о 3.4/3.Т отм. +4.250...+73.250 при расчете на продавливание (с учетом поперечной арматуры)			0.801
17	Максимальный коэффициент использования сечения плиты толщ. 180мм в/о 3.Т/3.2-3.3 на отм. +4.250...+73.250 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)			0.715
18	Максимальный коэффициент использования сечения плиты покрытия толщ. 200мм в/о 3.5/3.Ю на отм. +75.250 при расчете на продавливание (с учетом поперечной арматуры)			0.793
19	Максимальный коэффициент использования сечения плиты толщ. 180мм в/о 3.3-3.4/3.Ю на отм. +75.250 при расчете по прочности с учетом раскрытия трещин (продолж. 0.3мм, не продолж.0.4мм)			0.853
20	Максимальный коэффициент использования стен в/о 3.1-3.2/3.Т на отм. -7.200 толщиной 300мм (по критическому фактору)			0.92
21	Максимальный коэффициент использования стен в/о 3.1-3.2/3.Ю на отм. -7.200 толщиной 250мм (по критическому фактору)			0.91

22	Максимальный коэффициент использования наружной стены подвала в/о 3.Р-3.С/3.6 на отм. -7.200 толщиной 250мм (по критическому фактору)	0.67
23	Максимальный коэффициент использования стен на отм. 3.1/3.Э на отм. -7.200 толщиной 200мм (по критическому фактору)	0.88
24	Максимальный коэффициент использования стен в/о 3.5-3.6/3.Ш на отм. -0.850 толщиной 300мм (по критическому фактору)	0.80
25	Максимальный коэффициент использования стен в/о 3.5-3.6/3.Э на отм. -0.850 толщиной 250мм (по критическому фактору)	0.83
26	Максимальный коэффициент использования стен в/о 3.1/3.Э-3.Ш на отм. -0.850 толщиной 200мм (по критическому фактору)	0.86
27	Коэффициент использования стен в/о 3.5-3.6/3.Ю на отм. +4.250...+73.250 толщиной 250мм (по критическому фактору)	0.91
28	Коэффициент использования стен в/о 3.4-3.5/3.Ю на отм. +4.250...+73.250 толщиной 200мм (по критическому фактору)	0.85

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.