

РАСЧЕТ ПОЭТАПНОГО ВОЗВЕДЕНИЯ ТОННЕЛЯ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

Козлов Алексей Владимирович, ВГАСУ, г. Воронеж

Описание расчетных схем

По причине того, что сооружение является линейным, оценка его напряженно-деформированного состояния (далее НДС) может быть проведена при помощи плоской расчетной схемы.

Каждая расчетная схема (далее РС) представляет собой плоскую модель поперечного сечения котлована с ограждением и железобетонной конструкцией тоннеля. Схемы состоят из конечных элементов, определяющих конфигурацию и свойства окружающих массивов природного грунтов, конструкции буровых свай, а также особенности свойств контактных поверхностей.

Поверхности сопряжения железобетонных свай и железобетонной конструкции, грунтового массива и железобетонной конструкции оконтурены специальными КЭ - контактными элементами.

Контактные элементы, моделирующие свойства контактных поверхностей, представляют собой элементы нулевой толщины, располагающиеся на поверхностях контакта между материалами. При применении контактных элементов в расчете учитываются силы трения, численными характеристиками которых являются коэффициенты трения. Механизм работы контактных элементов заключается в возможности появления сдвиговых деформаций при превышении допустимых касательных напряжений в контактном элементе. В результате сдвига происходит перераспределение напряжений в элементах расчетной схемы. При уменьшении касательных напряжений в контактных элементах достигаются конечные значения перемещений узлов и элементов расчетной схемы. В случае дальнейшего увеличения касательных напряжений при сдвиге возникают недопустимые перемещения, оцениваемые критериями напряженно-деформированного состояния, принятыми для контактирующих материалов.

Нагрузки и воздействия

Собственный вес железобетонных свай и конструкции учитывается программой автоматически в зависимости от заданных характеристик. Также в качестве постоянных нагрузок в расчетных схемах учитываются собственный вес грунта и гидростатическое давление воды. Гидростатическое давление прикладывается на уже сформированную конструкцию на окончательной стадии расчета по внешнему контуру (со стороны грунта в естественном состоянии).

В качестве временной нагрузки принимается:

1) на призме бокового давления, на проезжей части над перекрытием тоннеля рассматривается нагрузка Н14, интенсивность которой была вычислена по следующей формуле:

$$q_1 = 1008 / (3.5 * 3.8) = 75.79 \text{ кН/м}^2,$$

где $(3.5 * 3.8)$ - площадь распределения нагрузки.

2) на проезжей тоннеля рассматривается нагрузка Н8.3, интенсивность которой была вычислена по следующей формуле:

$$q_2 = 597.6 / (3.5 * 3.8) = 44.93 \text{ кН/м}^2,$$

где $(3.5 * 3.8)$ - площадь распределения нагрузки.

Расчет котлована 11.1м(+2м замена грунта) под закрытый участок тоннеля

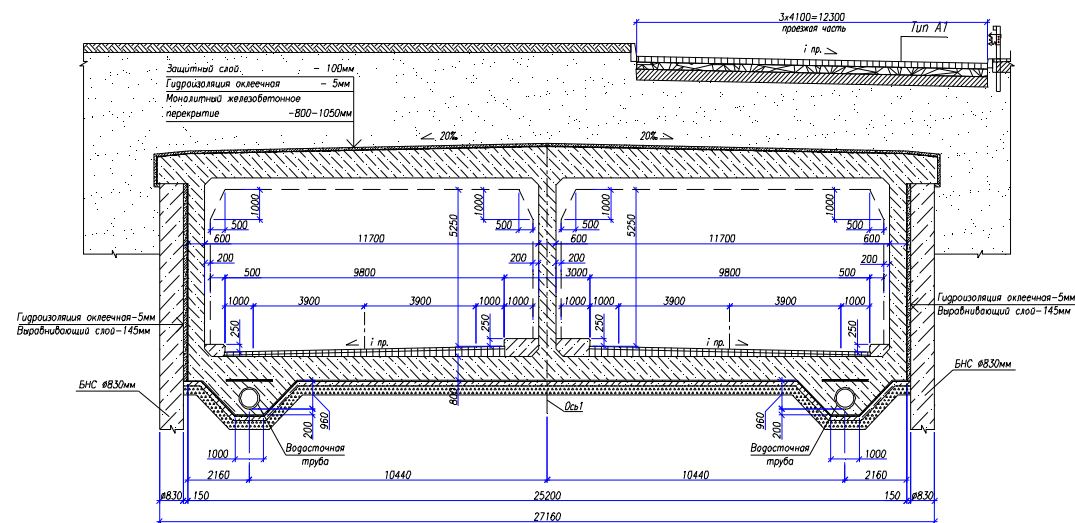


Рис.1. Поперечное сечение участка тоннеля

Алгоритм расчета:

1) Расчет в ЭСПРИ- Шпунт. Стена в грунте

Исходные данные для расчета:

1. Геометрические размеры котлована.
2. Физико-механические характеристики грунта.
3. Геометрические размеры шпунтов.
4. Жесткостные характеристики для шпунта задаются как для свай D830мм.
5. Геометрические размеры анкеров(условных распорок).
6. Жесткостные характеристики для анкеров задаются бесконечно большими
7. Строительная нагрузка на призме обрушения $q=3,5$ т/м²
8. Относительные отметки поэтапной экскавации грунтов.

Результате расчета:

1. Эпюры N, M_y , Q в свае на последней стадии экскавации грунта(на отметке $11.1+2=13.1$ м).
2. Усилия N в каждом горизонте анкеров (условных распорок).

The screenshot shows the 'Стена в грунте' (Wall in Soil) software interface. The main window displays a cross-section diagram of a retaining wall and soil. The wall is represented by a horizontal line at the top, with a vertical line indicating the excavation depth. The soil is shown as a shaded area below the wall. The diagram includes labels for 'Недеформируемый грунт (с, Rt, E-велики)' (Non-deformable soil) and 'т.1 и т.2' (Points 1 and 2). The diagram also shows dimensions: width of the wall (25.00 m), height of the wall (13.10 m), and excavation depth (50.00 m). The soil is divided into two layers: Layer 1 (top) and Layer 2 (bottom). The diagram also shows the location of the wall relative to the excavation (99.00 m from the left edge, 25.00 m from the wall, and 20.00 m from the right edge). The right side of the interface contains input fields for dimensions and soil characteristics.

Размеры

Ширина котл.	25	м
Низ котл.	-13.1	м
Слева от котл.	99	м
Справа от котл.	20	м
Отметка низа	-50	м

Нагрузки

☐ Триангуляция

Характеристики слоя грунта:

Верхние отметки (м):	0	0	Слой	1	Слов	2
Модуль деформации	1834	т/м ²	Коэффициент Пуассона	0.3		
Удельный вес	1.76	т/м ³	Удельное сцепление	0.05	т/м ²	
Угол внутреннего трения	23	°	Предел по растяжению	0.01	т/м ²	
Коэффициент разгрузки	1					

Шпунты

	Левый	Правый
Z, м	-31.1	-31.1
EF, т	1.6e+006	1.6e+006
EI, тм ²	70000	70000
Количество разбиений:	30	30

Buttons: Открыть, Сохранить, Отчет, Настройки, Расчет, Выход, Справка

Рис.2 Ввод исходных данных

В данной программе для ограничения перемещений в т.1 и т.2 (как в случае распорок), единственно возможным является задать анкера бесконечной жесткости заделанные в недеформированный грунт

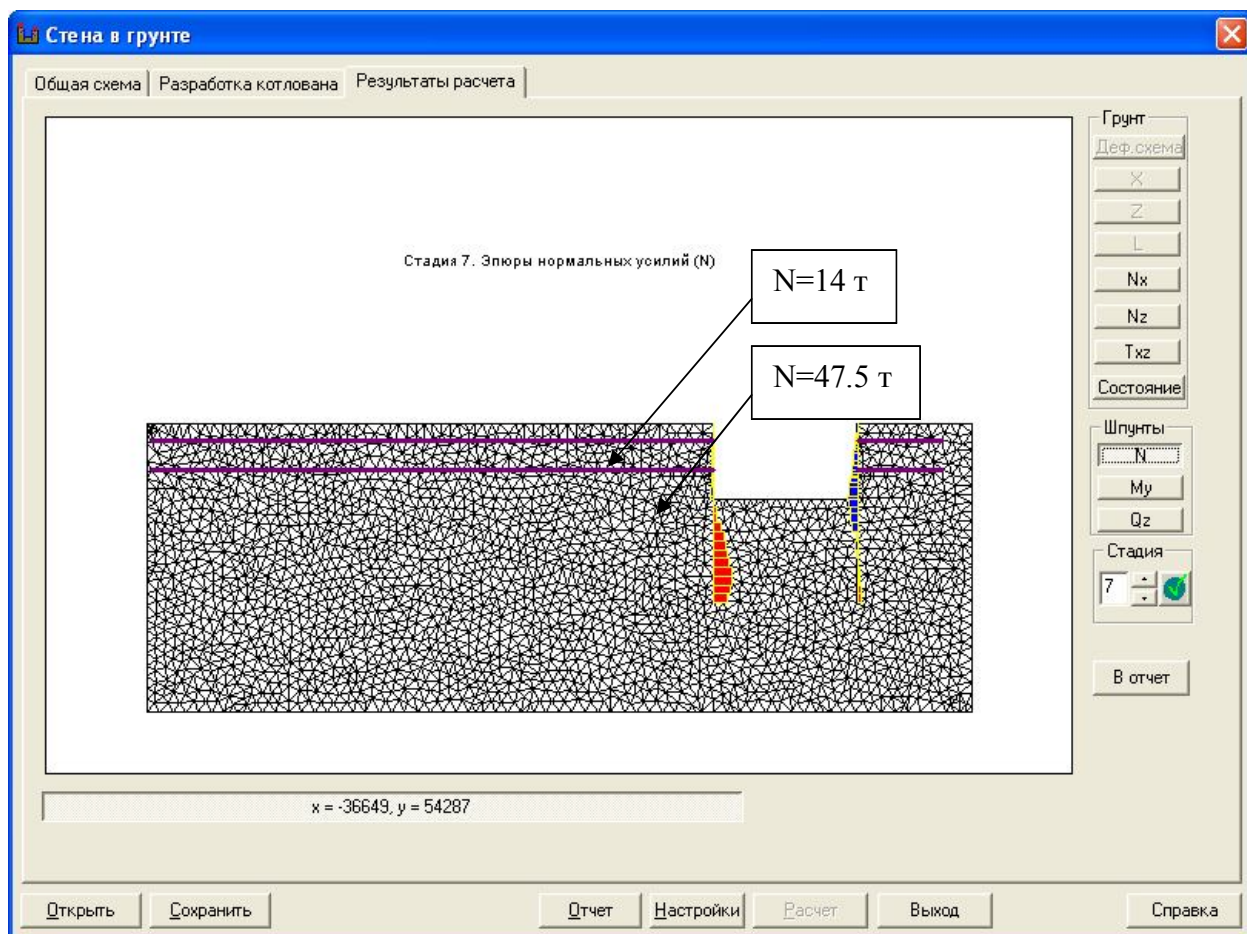


Рис.5 Усилия N в каждом горизонте анкеров (условных распорок)

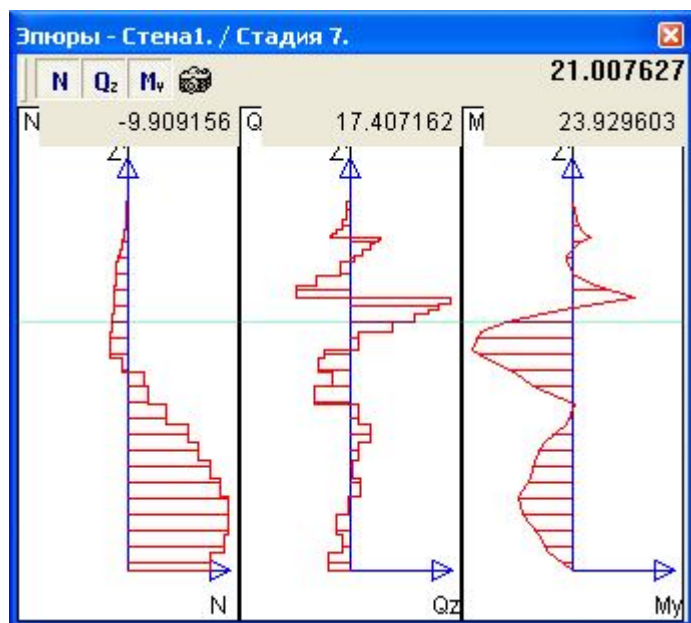


Рис.6 Эпюры N, My, Q в свае на последней стадии экскавации грунта

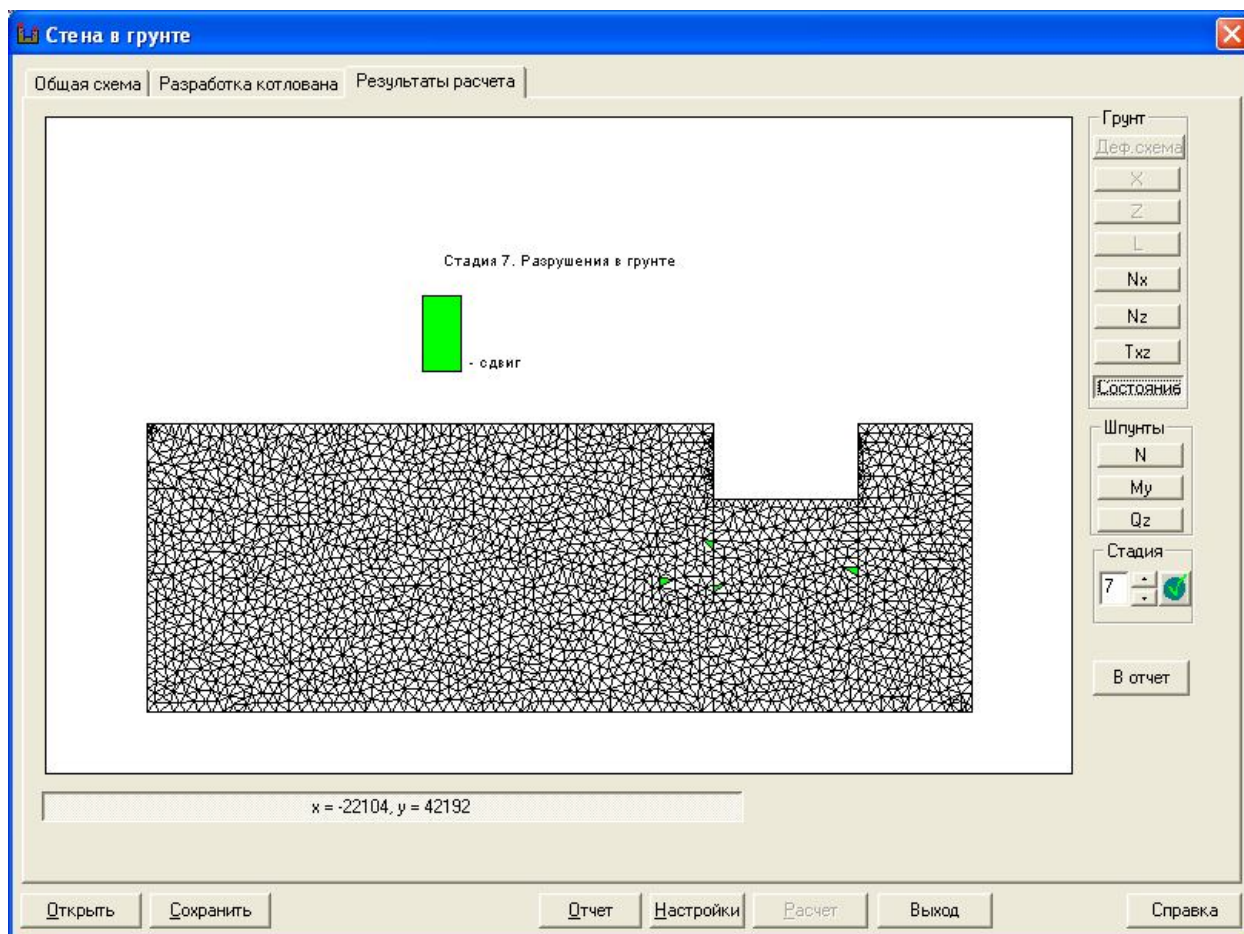


Рис.7 Разрушения в грунте

2) Расчет в ПК Лира 9.6. с учетом стадийности возведения закрытого участка тоннеля

- грунт моделируется 51 КЭ(одноузловой КЭ упругой связи)
- между сваей и стенкой лотка устанавливаются элементы трения 264 КЭ(двухузловой односторонний элемент трения). Коэффициент трения $f=0.6$ (бетон по бетону),
- при демонтаже распорок котлована передача усилий на затвердевшую часть тоннеля моделируется приложением соответствующей реакции распорок

Стадии монтажа:

1. Устройство БНС и нижней части тоннеля до отметки -8м.
2. Демонтаж распорок на отметке -8м(приложение нагрузок от условных анкеров).
3. Монтаж тоннеля до верха (до отметки -3.5м).
4. Демонтаж распорок на отметке -3м(приложение нагрузок от условных анкеров).
5. Демонтаж верхней части БНС (до отметки -3.5м), засыпка грунта.
- 6а. Приложение к свае бокового давления грунта от нагрузки НК, находящейся на призме обрушения.
- 6б. Гидростатическое давление воды.
- 7а. Взамен стадии 6а и 6б приложение нагрузки НК над тоннелем.
- 7б. Гидростатическое давление воды.
- 8а. Взамен стадии 6а и 6б, 7а и 7б приложение нагрузки НК в тоннеле.
- 8б. Гидростатическое давление воды.

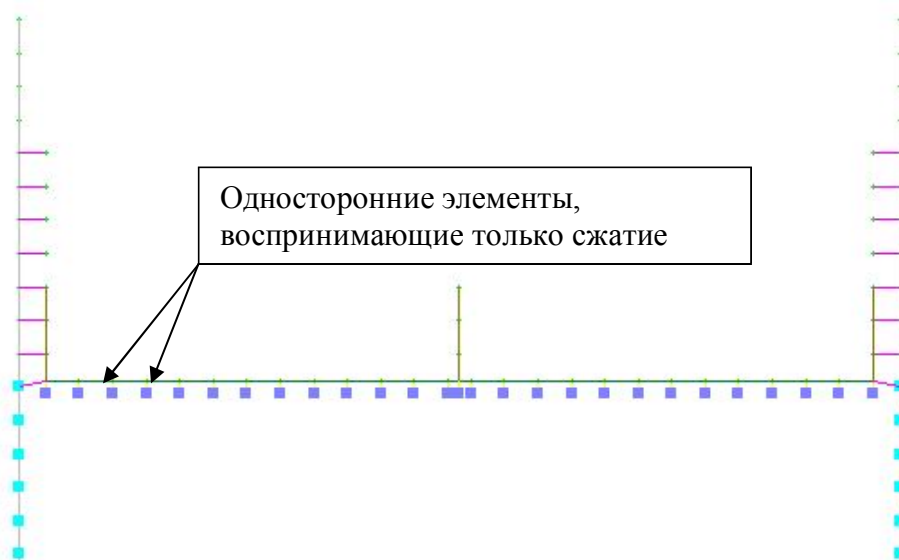


Рис.8 Расчетная схема на 1-ой стадии монтажа(нижняя часть БНС условно не показана)

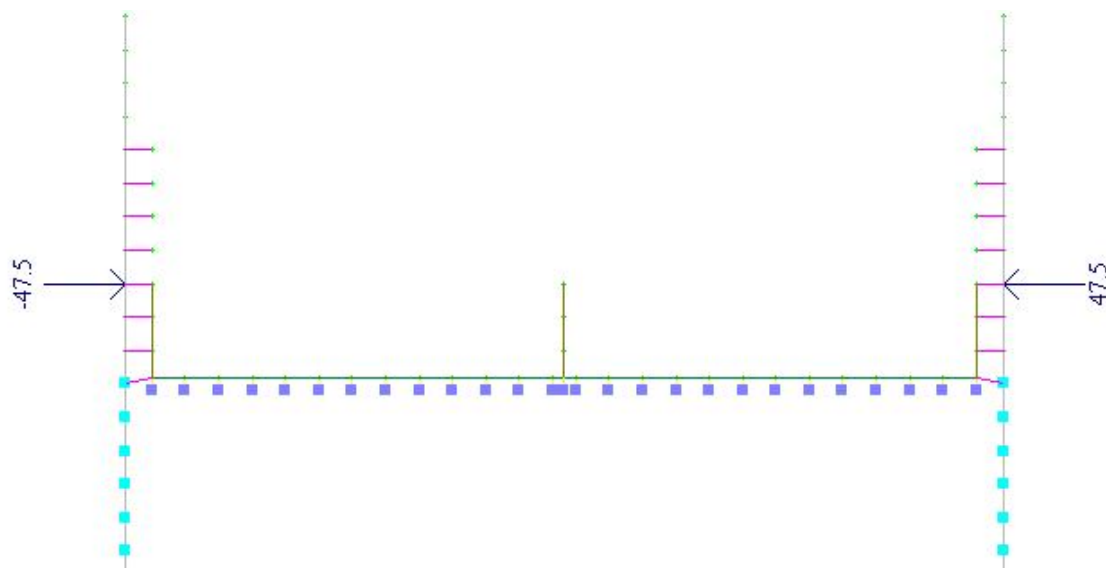


Рис.9 Расчетная схема на 2-ой стадии монтажа(нижняя часть БНС условно не показана)

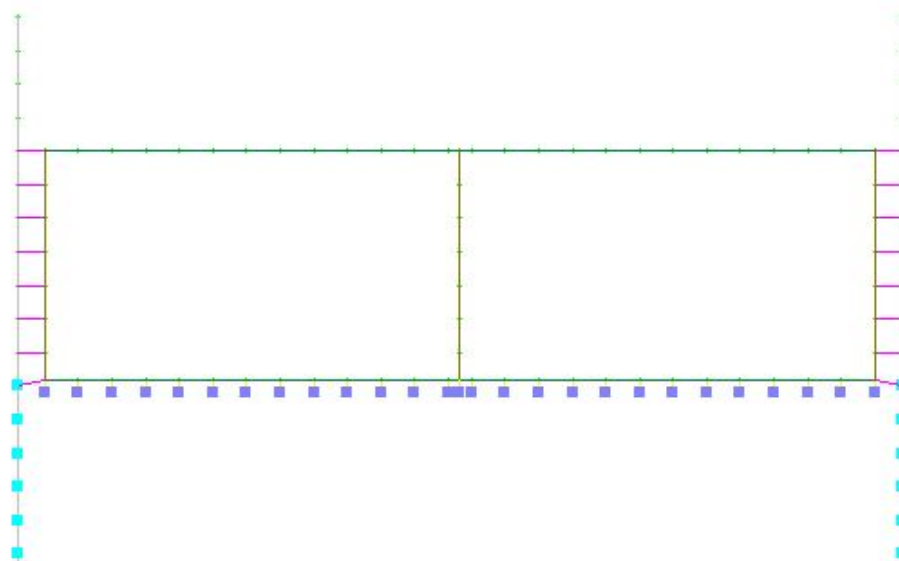


Рис.10 Расчетная схема на 3-ей стадии монтажа(нижняя часть БНС условно не показана)

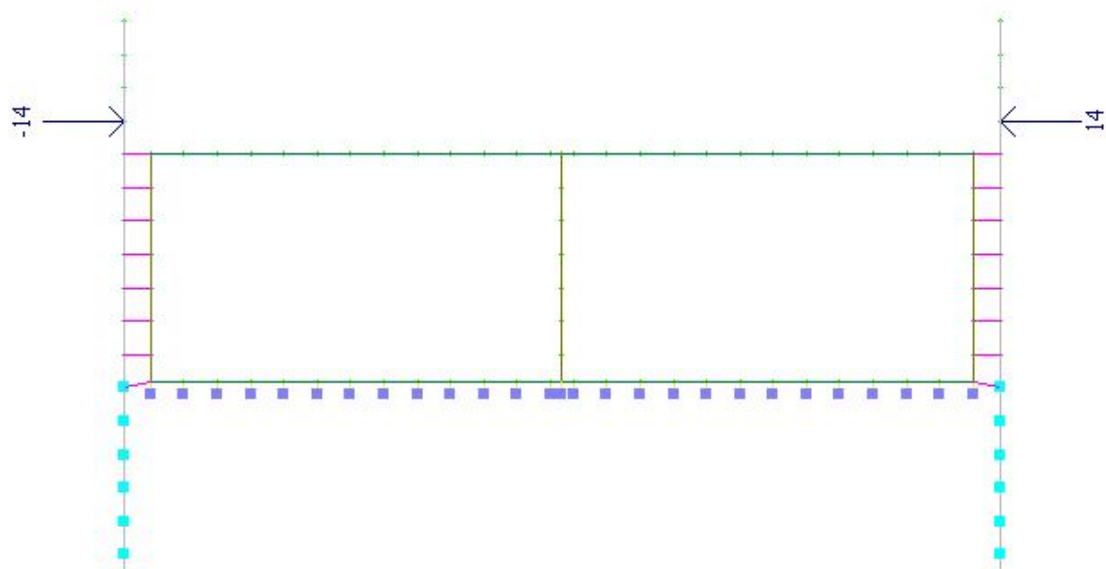


Рис.11 Расчетная схема на 4-ой стадии монтажа(нижняя часть БНС условно не показана)

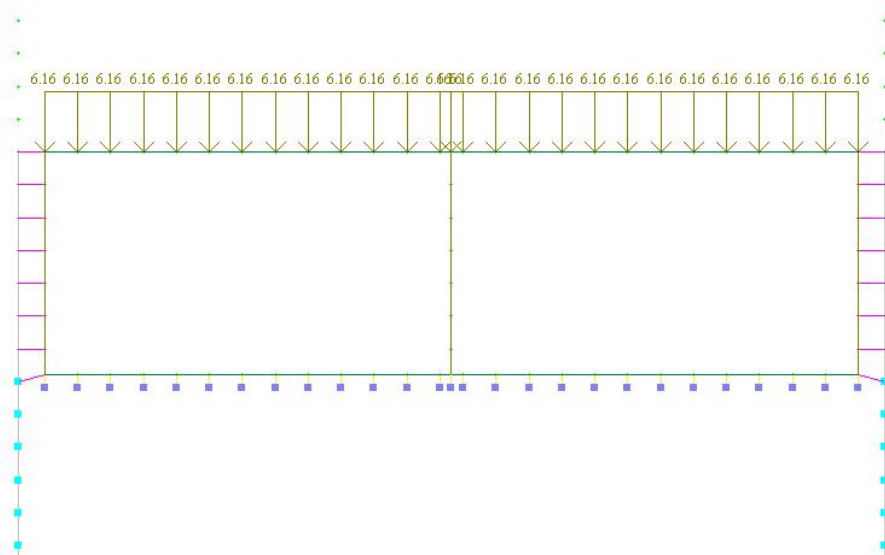


Рис.12 Расчетная схема на 5-ой стадии монтажа(нижняя часть БНС условно не показана)

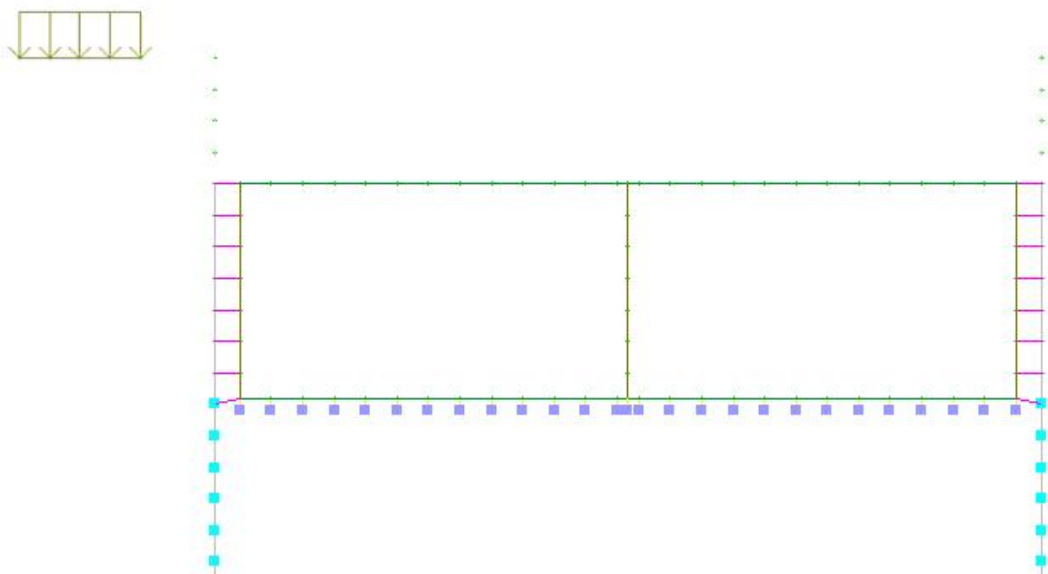


Рис.13 Расчетная схема на стадии 6а монтажа(нижняя часть БНС условно не показана)

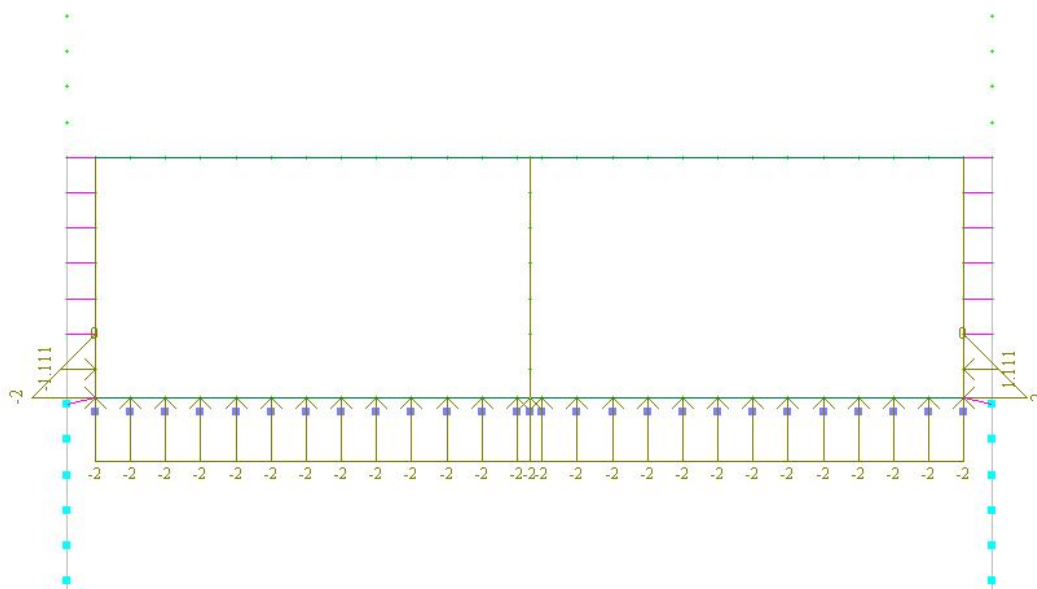


Рис.14 Расчетная схема на стадии 6б монтажа(нижняя часть БНС условно не показана)

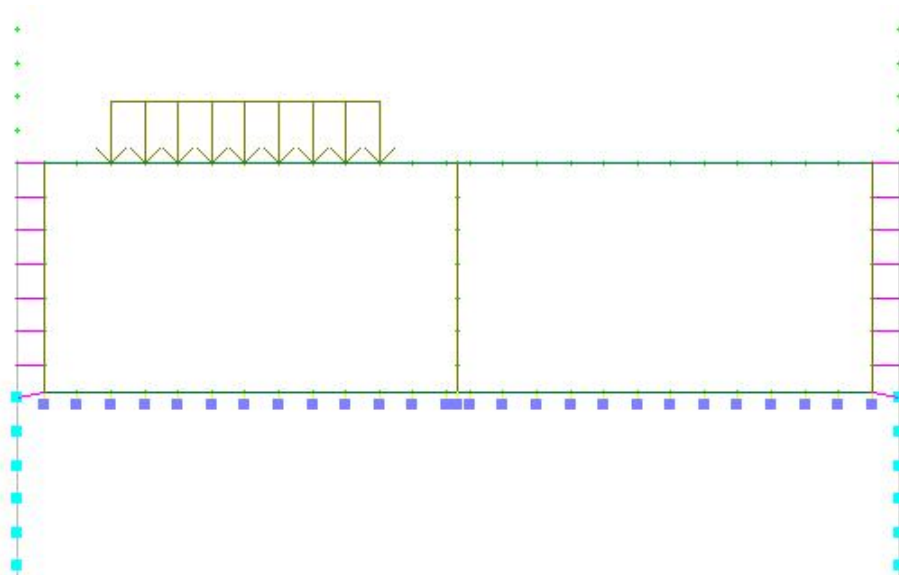


Рис.15 Расчетная схема на стадии 7а монтажа(нижняя часть БНС условно не показана)

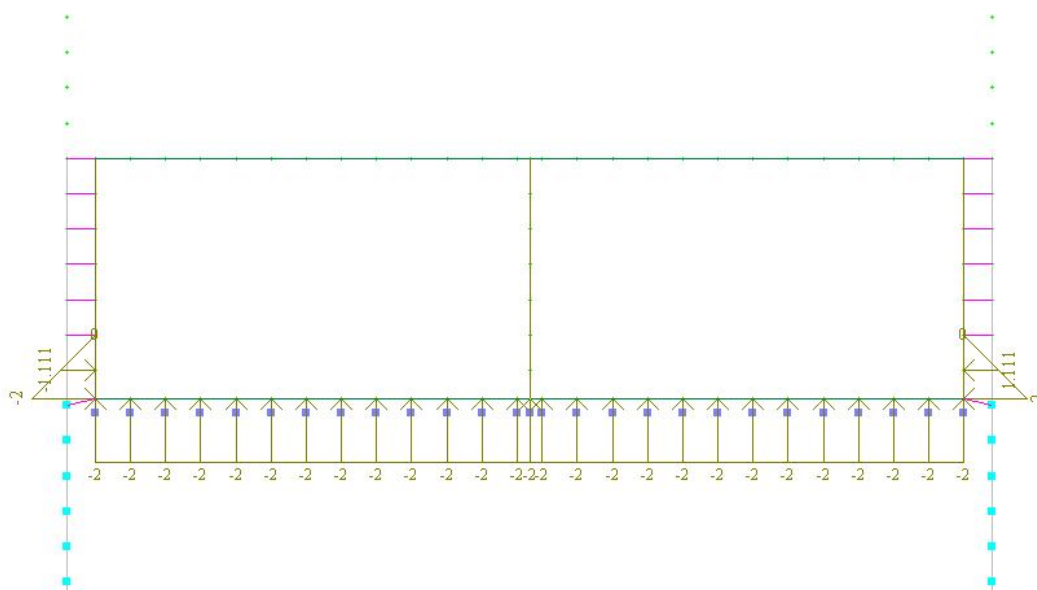


Рис.16 Расчетная схема на стадии 7б монтажа(нижняя часть БНС условно не показана)

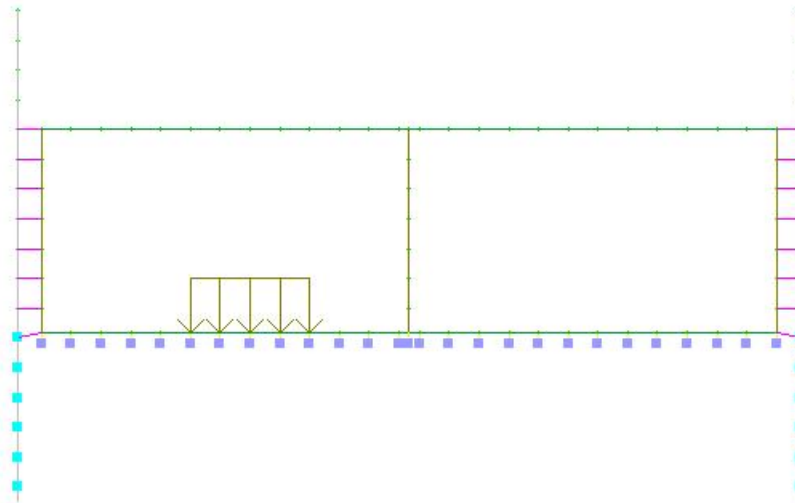


Рис.17 Расчетная схема на стадии 8а монтажа(нижняя часть БНС условно не показана)

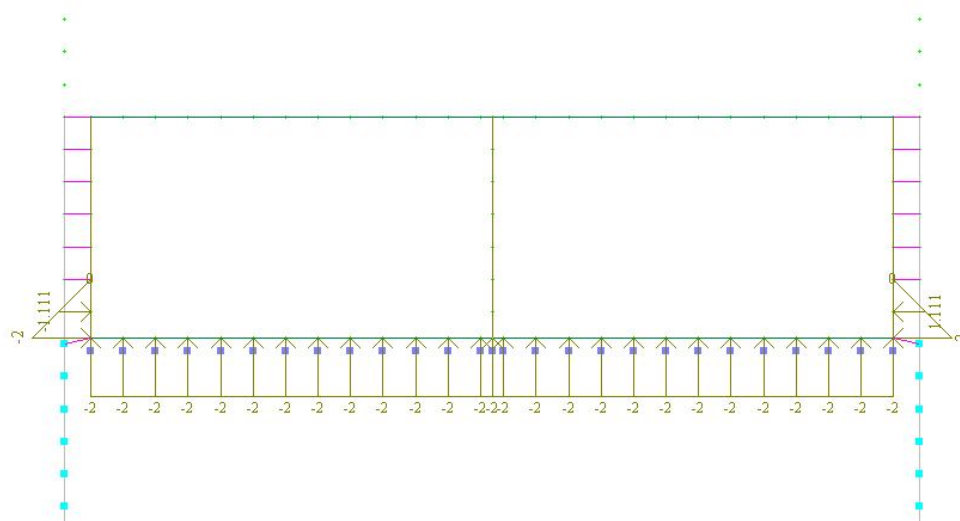


Рис.18 Расчетная схема на стадии 8б монтажа(нижняя часть БНС условно не показана)

Результаты:

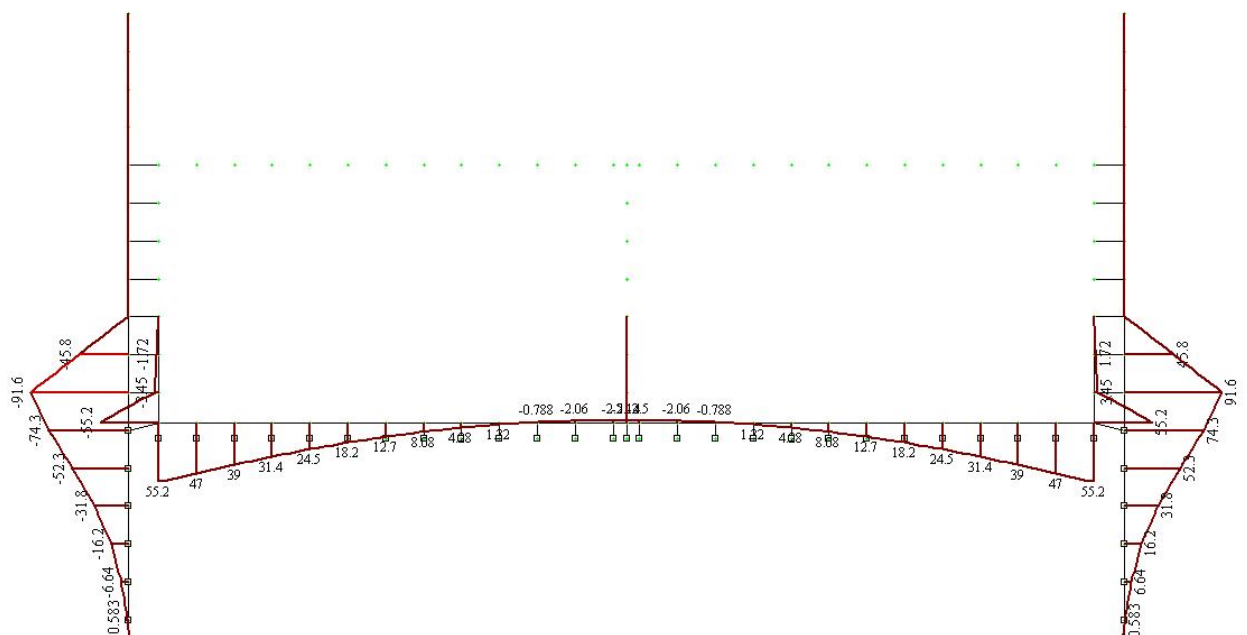


Рис.19 Эпюры изгибающих моментов на 2-ой стадии монтажа.

Значение M_u в свае имеет наибольшее значение, но из него следует вычесть значение M_u из расчета по стадиям экскавации котлована

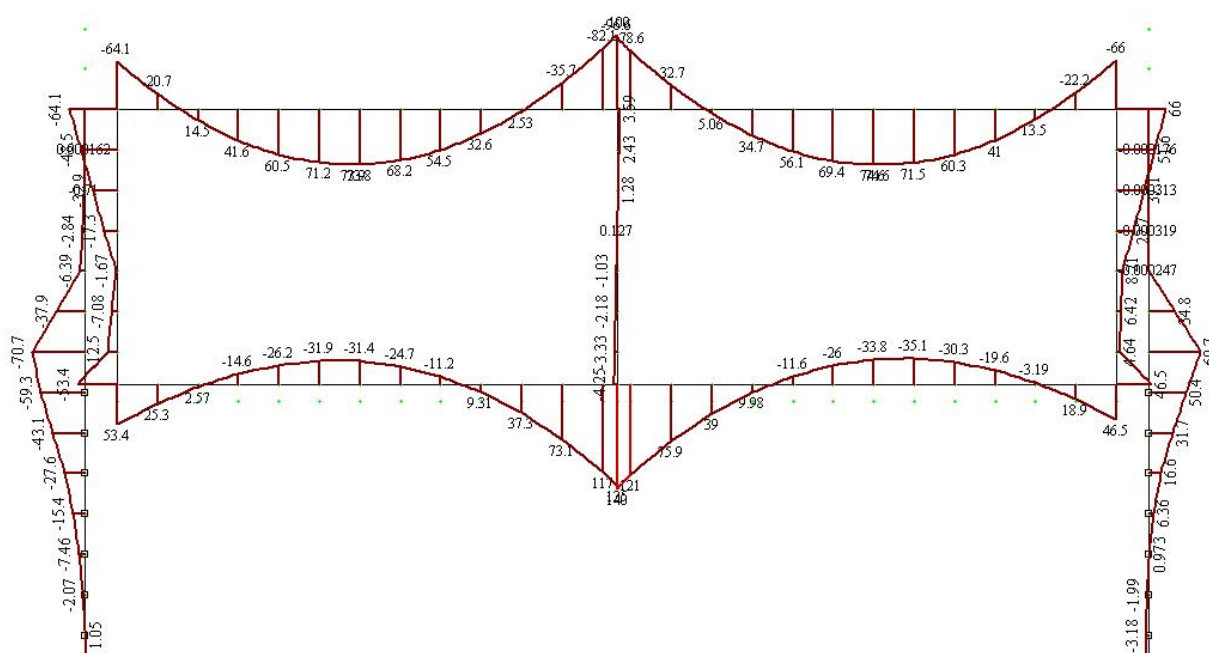


Рис.20 Эпюры изгибающих моментов на стадии ба монтажа.

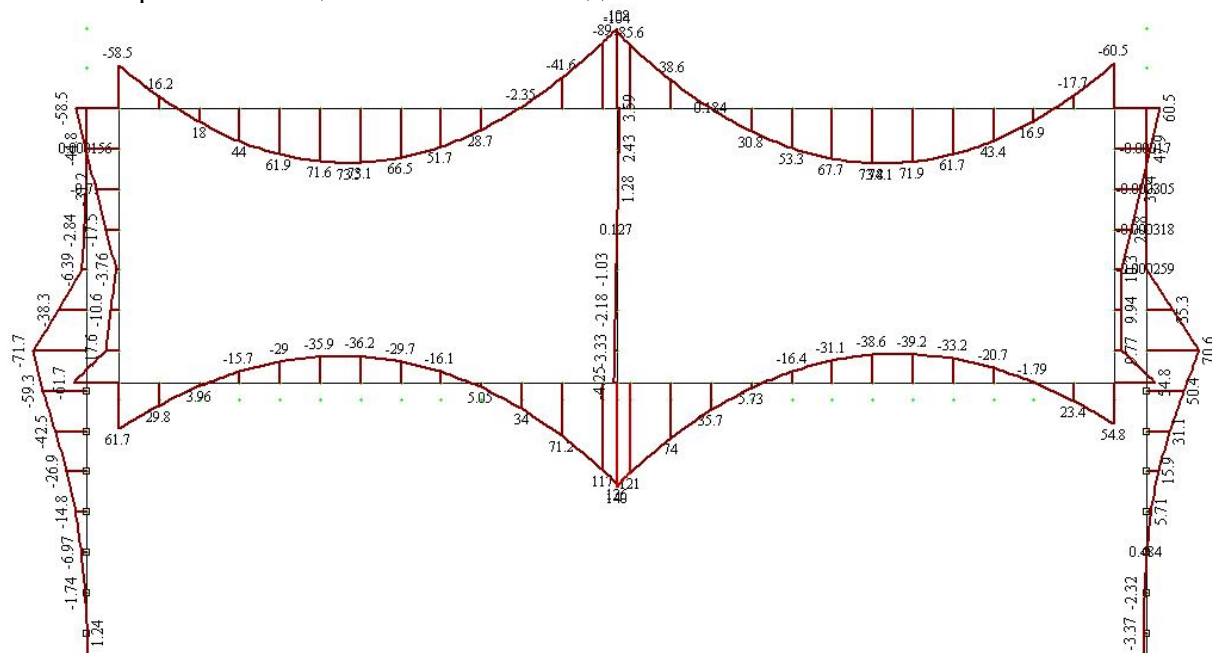


Рис.21 Эпюры изгибающих моментов на стадии бб монтажа.

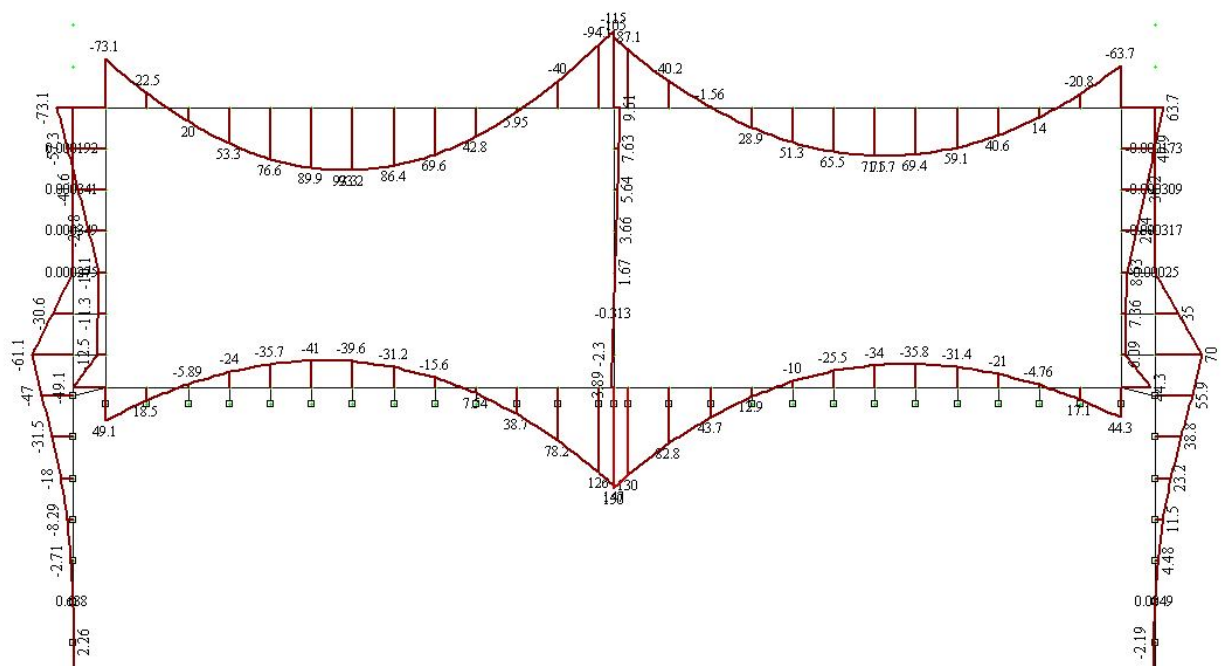


Рис.22 Эпюры изгибающих моментов на стадии 7а монтажа.

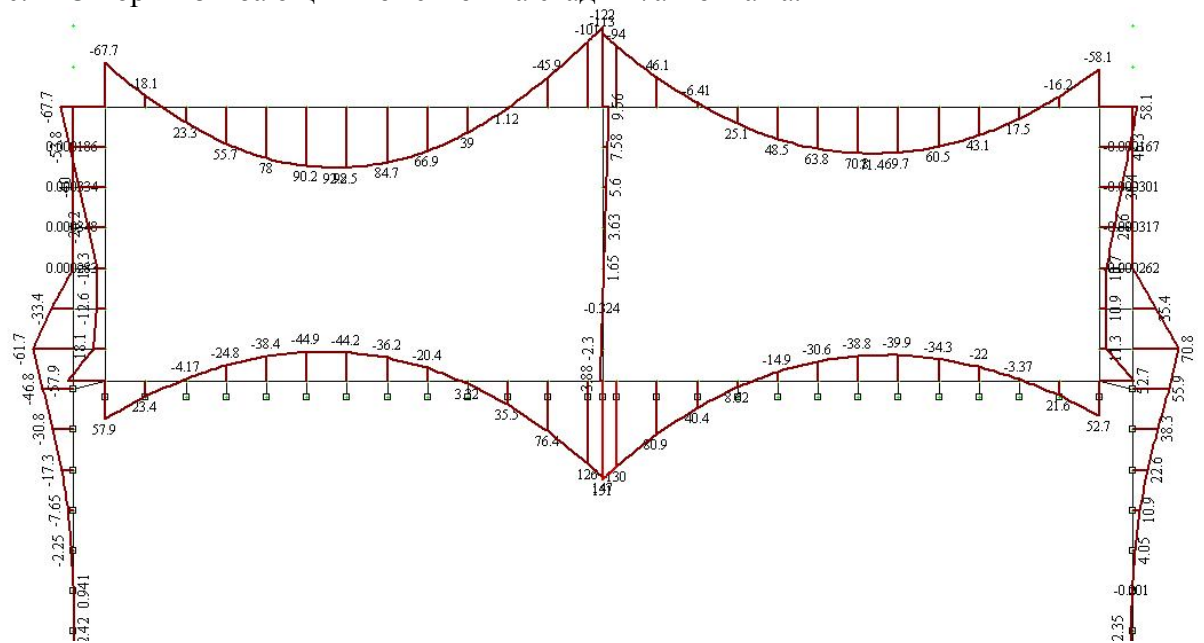


Рис.23 Эпюры изгибающих моментов на стадии 7б монтажа.

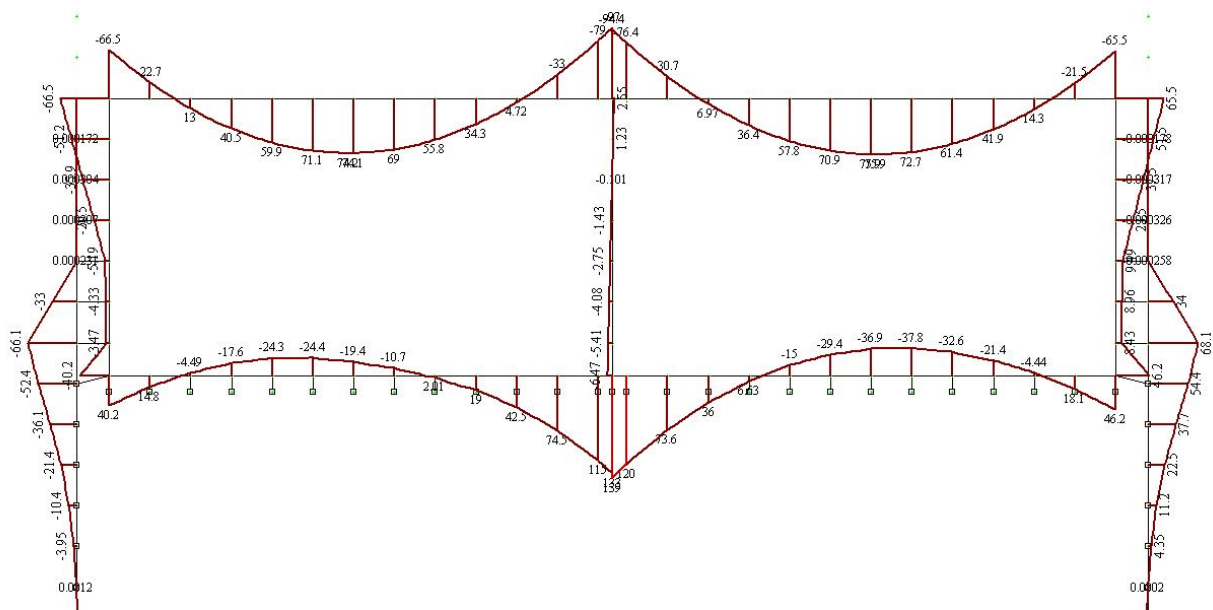


Рис.24 Эпюры изгибающих моментов на стадии 8а монтажа.

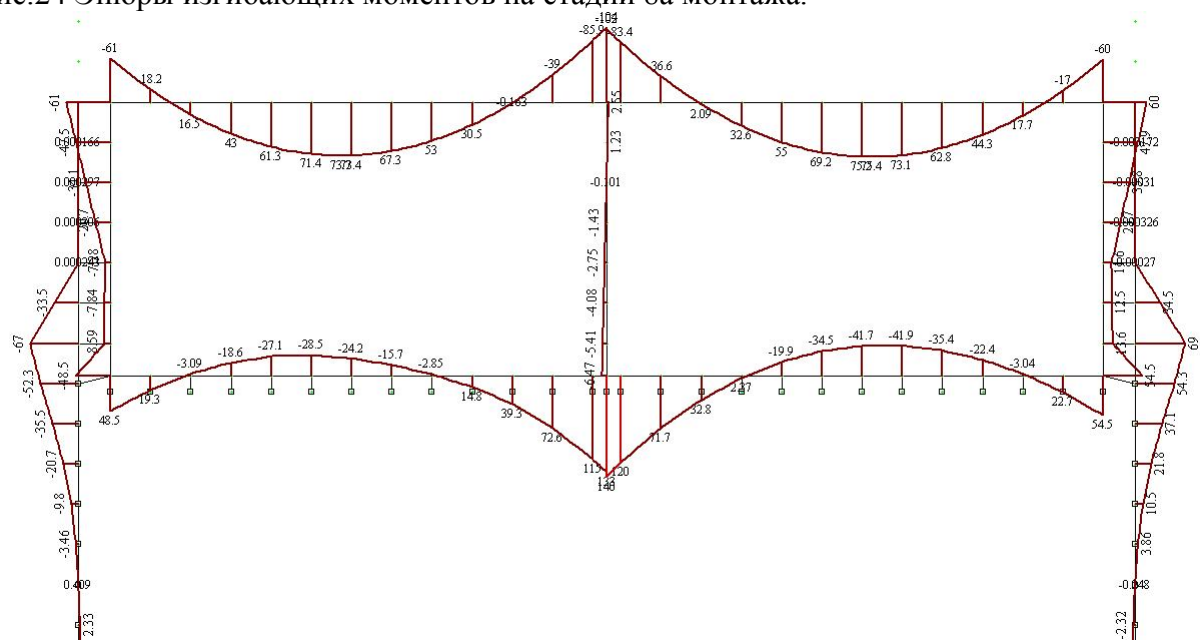


Рис.25 Эпюры изгибающих моментов на стадии 8б монтажа.

3) Определение усилий в БНС. Проверка несущей способности буронабивной сваи

Максимальный изгибающий момент в свае на 6-ой стадии монтажа с учетом ее напряженно-деформированного состояния на стадии экскавации котлована

$$M_y = 91.55 - 23.93 = 67.62 \text{ т*м}$$

$$N_{\text{свот}} = -18.97 \text{ т}$$

Проверка несущей способности БНС производится в ЭСПРИ- Эллипсоид. Несущая способность ж/б элементов

Исходные данные

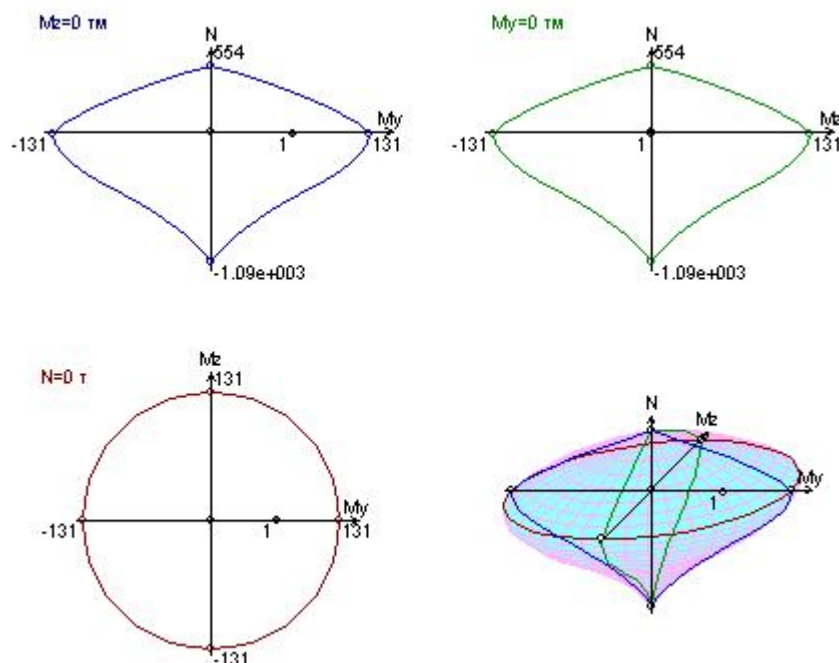
Геометрические характеристики				
Круглое сечение D=800 мм				
Расчетные длины:		LY = 9.02 м	LZ = 9.02 м	
Длина элемента:		L = 12.88 м		
Материалы				
Нормы		СНиП 2.03.01-84*		
Вид бетона		тяжелый		
Класс бетона		B25		
Класс арматуры		AIII		
Условия твердения		естеств. твердение		
Коэффициенты условий работы				
Yb2a	Yb2b	Yb6*Yb7	Yb3*Yb5	Ysi
1	1	0.85	0.85	1

Кол-во	Диаметр,мм	a3,мм
24	28	100

Проверка несущей способности

№	N, т	My, т*м	Mz, т*м	Коэффициент запаса (Kз)
1	-18.97	67.62		2.00

1. Общий вид и сечения поверхности



4) Проверка несущей способности грунтов основания буронабивной сваи

Исходные данные

Буронабивная свая		
Поперечное сечение сваи: $D=0.8$ м, $d=0$ м		
γ_c	Коэффициент условий работы сваи	1
γ_{cr}	Коэффициент условий работы грунта под нижним концом сваи	1
H	Глубина погружения нижнего конца сваи, м	31
dp	Высота ростверка, м	11.1
Грунты по боковой поверхности сваи		
1 слой	песчаные мелкие средней плотности	
t_i	толщина слоя, м	4.1
γ_{cf}	коэффициент условий работы грунта	0.7
2 слой	супеси	
t_i	толщина слоя, м	8.5
γ_{cf}	коэффициент условий работы грунта	0.7
I_L	показатель текучести	0.69
e	коэффициент пористости	0.62
Ip	число пластичности	0.06
3 слой	песчаные средней крупности средней плотности	
t_i	толщина слоя, м	0.5
γ_{cf}	коэффициент условий работы грунта	0.7
4 слой	суглинки	
t_i	толщина слоя, м	5.7
γ_{cf}	коэффициент условий работы грунта	0.7
I_L	показатель текучести	0.64
e	коэффициент пористости	0.72
Ip	число пластичности	0.13
5 слой	песчаные средней крупности средней плотности	
t_i	толщина слоя, м	4.5
γ_{cf}	коэффициент условий работы грунта	0.7

Расчетные сопротивления грунта на боковой поверхности сваи		
h_i - толщина i -го слоя грунта, м		
z_i - средняя глубина расположения слоя грунта, м		
f_i - расчетное сопротивление i -го слоя грунта на боковой поверхности сваи, тс/м ²		
h_i	z_i	f_i
1 слой: $t_i=4.1$ м		
2	12.1	4.81
2	14.1	5.01
0.0999999	15.15	5.115
2 слой: $t_i=8.5$ м		
2	16.2	1.2116
2	18.2	1.2476

2	20.2	1.28
2	22.2	1.28
0.5	23.45	1.28
3 слой: $t_i=0.5$ м		
0.5	23.95	8.453
4 слой: $t_i=5.7$ м		
2	25.2	1.6824
2	27.2	1.7064
1.7	29.05	1.7286
5 слой: $t_i=1.1$ м		
1.1	30.45	9.363

Результаты расчета

Fd	Несущая способность свай, тс	382.395
U	Периметр поперечного сечения свай, м	2.51327
A	Площадь опирания свай, м ²	0.502654
R	Расчетное сопротивление грунта под нижним концом свай, тс/м ²	568
γ_k	Коэффициент надежности по нагрузке	1.4
Fd/ γ_k	Допустимая нагрузка на сваю, т	273.14
N	Вертикальная нагрузка с учетом собственного веса свай, т	79.6

Вывод: Несущая способность свай “по грунту” выполняется.