

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПК SCAD OFFICE В РАСЧЕТЕ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ СВАЙНОЙ ДВУХРЯДНОЙ ОПОРЫ МОСТА С УЧЕТОМ ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ СВАЙ В КУСТЕ

Мост через реку Пажу на 58+159 км автомобильной дороги I технической категории М-8 "Холмогоры" у с. Воздвиженское железобетонный, балочно-разрезной системы, трехпролетный, по схеме 11,1+16,3+11,1 м, построен в 1967 году. Длина моста 45,68 м, габарит проезжей части Г — 17,9 м, тротуары по 0,8 м. Число полос движения — четыре. Проектные нагрузки Н-30 и НК-80. Пересекает реку под углом 90° (рис. 1).

Проектная и строительная организации не установлены. Проектная и исполнительная документация не найдена.

Пролетные строения сборные железобетонные, по проекту Союздорпроекта, выпуск 56. Под каждое направление движения установлены независимые про-

летные строения, а опоры имеют самостоятельные ригели под каждое пролетное строение по ширине. Зазор в свету между боковыми гранями ригелей опор оставляет 70 см. В поперечном сечении каждого отдельного пролетного строения установлены по семь сборных цельноперевозимых балок с диафрагмами с расстоянием в осях 1,4 м (всего в поперечном сечении моста 14 балок). Полная длина балок в пролетах № 1 и № 3 составляет 11,36 м, в пролете № 2 — 16,76 м. Высота блоков главных балок длиной 11,36 м — 0,8 м, длиной 16,76 м — 1,0 м. Минимальная толщина плиты на конце консоли — 8 см. В поперечном сечении балки объединены по диафрагмам и плитам с помощью стальных пластин-накладок, приваренных к закладным деталям. Пролетные строения армированы

сварными каркасами из арматуры класса А-II № 32 и № 16.

Устои № 1 и № 4 — свайные однорядные на забивных железобетонных сваях сечением 35х30 см. Глубина забивки свай составляет по предварительному расчету 8,05 м. Шкафные стенки и открьлки устоев монолитные. Над ригелями устоев устроены монолитные подферменники под ребра балок. Промежуточные опоры № 2 и № 3 — свайные двухрядные, в каждом ряду забито по шесть свай сечением 35х30 см (под каждое направление движения). Глубина забивки свай составляет по предварительному расчету 8,05 м. Ригели промежуточных опор — сборные, с различной высотой под пойменные и русловое пролетные строения (рис. 2, рис. 4).

В геологическом строении района мостового перехода принимают участие



Рис. 1. Мост через реку Пажу, вид с низовой стороны до ремонта

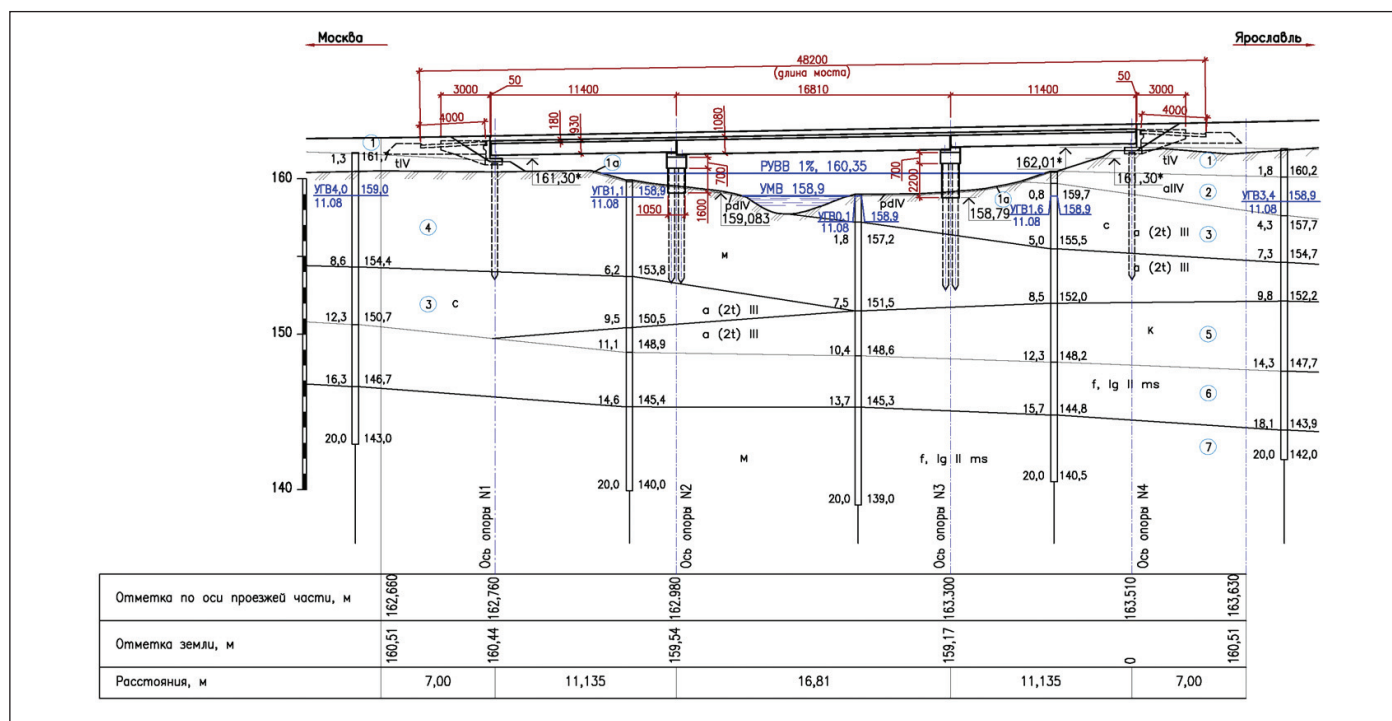


Рис. 2. Общий вид моста

Таблица 1. Сквaжина 4. Абсолютная отметка устья сквaжины 159.00

№ ИГЭ	Геолого-генетич. индекс	Описание грунтов	Абсолют. отметка подошвы слоя, м	Глубина подошвы слоя, м	Толщина слоя, м	Глубина до УГВ, м
1	pdIV	Почвенно-растительный слой	158,90	0,10	0,10	0,10
3	a(2t)III	Песок средней крупности, средней плотности, насыщенный водой	157,20	1,80	1,70	
4	a(2t)III	Песок мелкий, средней плотности, насыщенный водой	151,50	7,50	5,70	
5	a(2t)III	Песок крупный, средней плотности, насыщенный водой	148,60	10,40	2,90	
6	f,lgIIms	Глина с прослоями гравия, твердой консистенции	145,30	13,70	3,30	
7	f,lgIIms	Песок мелкий, плотный, насыщенный водой	139,00	20,00	6,30	

породы четвертичного возраста аллювиального и ледникового генезиса (табл. 1, 2).

Ввиду неудовлетворительного состояния балок пролетного строения и их недолговечности принято решение о замене конструкций пролетного строения. Пролетные строения сооружены из сборных железобетонных балок по серии 3.503.1-73. Балки изготовлены в укороченной опалубке балок Б1200.130.93-1-28АПС-1, Б1800.130.93-1-28АПС-1. Сборные балки объединены участками монолитирования. Объединение монолитными участками произведено по всей ширине моста. В поперечном сечении балки составлены на разных уровнях по высоте для обеспечения поперечного уклона 2%. Посередине моста устроено двустороннее барьерное ограждение на монолитном железобетонном

Таблица 2. Расчетные характеристики грунтов по ИГЭ по сквaжине № 4 у промежуточной опоры № 3

№ ИГЭ	I _p число пластич.	W естест. влажн., %	I _L показат. текуч.	γ _p плотн. грунта, г/см³	γ _d плотн. сухого грунта, г/см³	γ _s плотн. частиц грунта, г/см³	e, коэфф. порист.	E, модуль общей деформ., МПа	φ, угол внутр. трения, °	c, сцеплен., кПа	k, коэфф. пропорц., кН/м⁴
3	—	18,9	—	1,83	1,57	2,65	0,68	30	35(32)	1(1)	5400
4	—	16,5	—	1,77	1,55	2,65	0,71	23	30(27)	1(1)	5800
5	—	16,0	—	1,92	1,69	2,65	0,57	30	38(35)	— (—)	12330
6	24	24,7	-0,06	1,72	1,41	2,71	0,93	15	16(15)	41(27)	8000
7	—	18,0	—	1,93	1,67	2,65	0,59	33	34(31)	3(2)	10400



Рис. 3. Мост через реку Пажа, вид с низовой стороны после ремонта

Таблица 3. Основные технические характеристики моста после капитального ремонта

Категория дороги	I
Число полос движения	4
Габарит	2х(Г-9)+2х0,75
Ширина пролетного строения	21,70 м
Ширина проезжей части	18,0 м
Класс подвижной нагрузки	A11, НК-80
Тип дорожной одежды	Капитальный
Схема моста (длины пролетов)	11,36+16,76+11,36 (температурно-неразрезная схема)
Длина пролетного строения	39,60 м
Длина моста (по переходным плитам)	48,20 м

цоколе. Над промежуточными опорами предусмотрено объединение пролетного строения в температурно-неразрезную схему по плите балок пролетного строения. Для компенсации продольных температурных деформаций на крайних опорах устроены деформационные швы MaurerD-50 (рис. 3).

На сваях промежуточных опор, как и на ригелях этих опор, имелись трещины, сколы защитного слоя, коррозия арматуры, были видны следы выщелачивания бетона (рис. 4). В ходе ремонта предстояло выполнить обвязку существующих свай в "рубашки" из монолитного железобетона и соорудить новые ригели опор из монолитного железобетона. На крайних опорах подлежали замене шкафные стенки и открьлки опор (рис. 5).



Рис. 4. Промежуточная опора № 3, вид с низовой стороны до ремонта



Рис. 5. Промежуточная опора № 2, вид с низовой стороны после ремонта

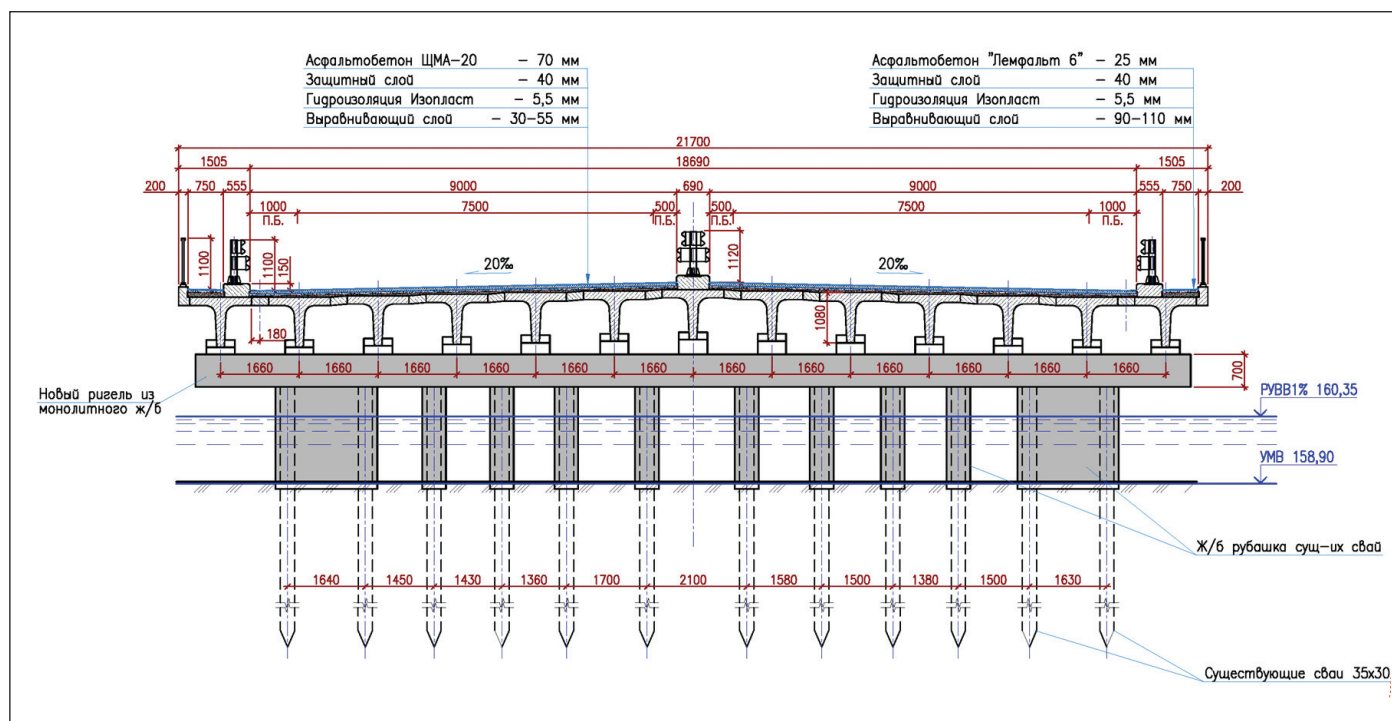


Рис. 6. Поперечный разрез моста по пролетному строению русловой части № 2 с видом на промежуточную опору № 3

Мостовое полотно состоит из следующих слоев: выравнивающий слой бетона (толщина 30–55 мм), гидроизоляция "Изопласт", защитный слой бетона (40 мм), армированного сеткой из проволоки, два слоя щебнемастичного асфальтобетона ЩМА-20 по ТУ 5718.001.00011168-2000 общей толщиной 70 мм (рис. 6, табл. 3).
Бетон существующих свай — В20, W8, F300 по ГОСТ 26633-91.

Бетон ригелей и "рубашек" — В30, W8, F300 по ГОСТ 26633-91.

Бетон конструкций пролетных строений — В30, W8, F300 по ГОСТ 26633-91.
Арматура:

- арматура класса А-I по ГОСТ 5781-82* из стали В СтЗсп по ГОСТ 380-2005;
- арматура класса А-III по ГОСТ 5781-82* из стали 25Г2С;
- закладные детали из стали СтЗсп по ГОСТ 380-2005 и арматуры класса

А-III по ГОСТ 5781-82* из стали 25Г2С.

Расчет промежуточной опоры моста выполнялся в соответствии с нормативными документами [1-4], а также с учетом данных проектной документации [5-8].

Последовательность расчета:

- на основе конструктивных решений, принятых при сооружении моста (эти решения были определены в ходе предремонтного обследования), а также на базе инженерно-геологических изысканий определены несущая способность свай по грунту и минимальная глубина забивки свай в грунт, несущая способность свай по материалу и минимальное армирование поперечных сечений свай;
- на основе конструктивных решений, принятых при ремонте моста, проверены несущая способность свай по грунту и несущая способность свай по материалу.

Расчет выполнен с использованием программного комплекса SCAD версии 11.5. Расчетные схемы промежуточных опор моста представляют собой линейно-упругие пространственные модели несущих конструкций для вычисления в них деформаций и внутренних усилий от заданных нагрузок по методу конечных элементов (рис. 7).

Конструкции свай представлены двухзловыми пространственными стержневыми конечными элементами, работаю-

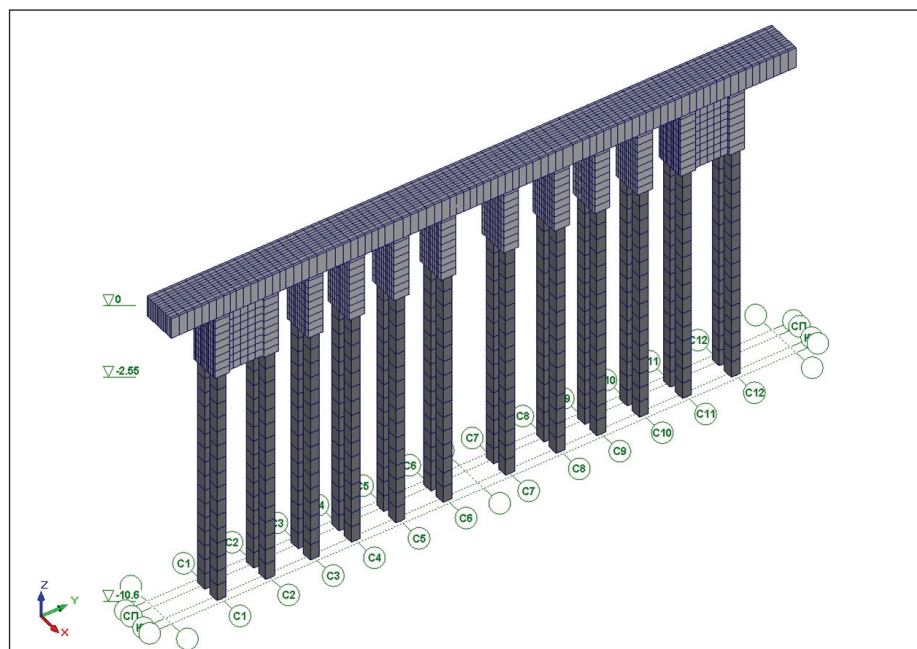


Рис. 7. Расчетная схема промежуточной опоры № 3, изометрия

щими без учета деформаций сдвига по модели Бернулли.

Конструкции ригеля и "рубашек" свай представлены четырехугольными четырехузловыми конечными элементами пологих оболочек, работающих без учета деформаций сдвига по теории Кирхгофа. Сетка конечных элементов построена в плане на осях свай и наружном контуре ригеля. Характерная разбивка сетки конечных элементов ригеля – 0,10 м в поперечном направлении (по оси X) и 0,25 м в продольном направлении (по оси Y). Разбивка сетки конечных элементов "рубашек" свай соответствует в плане разбивке сетки конечных элементов ригеля, а по высоте (по оси Z) составляет 0,25 м. Разбивка свай по высоте на конечные элементы выполнена с шагом 0,50 м. Для обеспечения жесткого сопряжения сваи заводятся в "рубашку" на один конечный элемент по высоте. Взаимодействие свай с окружающим грунтом ортогонально боковой поверхности воспроизводится по модели Винклера с возрастающим коэффициентом упругого отпора по глубине погружения:

$$k_x = k_y = k \cdot z.$$

k – коэффициент пропорциональности;
 z – глубина погружения свай в грунт.
Условная ширина сваи принимается равной:

$$b_y = 1.5 \cdot d_y + 0.5,$$

$$b_x = 1.5 \cdot d_x + 0.5.$$

d – сторона прямоугольного сечения свай по соответствующей боковой поверхности.

Взаимодействие свай с окружающим грунтом основания в продольном направлении осуществляется через связи конечной жесткости, устанавливаемые на нижних торцах и действующие по высоте (по оси Z):

$$k_z = \frac{G_l \cdot L}{\beta'}.$$

G_l – модуль сдвига прорезаемых слоев грунта, осредненный в пределах глубины погружения свай;

L – длина свай;

β' – коэффициент, соответствующий абсолютно жесткой свае ($EA = \infty$) и определяемый по формуле:

$$\beta' = 0.17 \cdot \ln \left(\frac{k_v \cdot G_l \cdot L}{G_2 \cdot d} \right).$$

k_v – коэффициент, определяемый по формуле:

$$k_v = 2.82 - 3.78 \cdot \frac{v_1 + v_2}{2} + 2.18 \cdot \left(\frac{v_1 + v_2}{2} \right)^2.$$

v_1 – коэффициент Пуассона прорезаемых слоев грунта, осредненный в пределах глубины погружения свай;

G_2 и v_2 – модуль сдвига и коэффициент Пуассона слоев грунта основания, рассматриваемого как линейно-деформируемое полупространство, осредненные в пределах глубины 0,5 · L от нижних торцов свай;

d – расчетный диаметр для свай некруглого сечения, вычисляемый по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}.$$

A – площадь поперечного сечения сваи.

Модули сдвига грунта определяются по формулам:

$$G_l = \frac{E_l}{2 \cdot (1 + v_l)},$$

$$G_2 = \frac{E_2}{2 \cdot (1 + v_2)}.$$

Жесткостные характеристики конечных элементов определяются в зависимости от физико-механических характеристик материалов строительных конструкций

и геометрических характеристик их поперечных сечений. Для линейно-упругой модели несущих конструкций, материал которых считается изотропным, основными физико-механическими характеристиками являются модуль упругости и коэффициент Пуассона.

В качестве материала строительных конструкций промежуточных опор используются:

- для существующих свай: бетон класса по прочности В20, сталь арматурная класса АІ, принимается модуль упругости бетона $E = 2,75 \cdot 10^6$ тс/м², коэффициент Пуассона $\nu = 0,20$;
- для ригелей и "рубашек" свай: бетон класса по прочности В30, сталь арматурная класса АІІІ, принимается модуль упругости бетона $E = 3,31 \cdot 10^6$ тс/м², коэффициент Пуассона $\nu = 0,20$.

Геометрические характеристики поперечных сечений существующих свай, ригелей и "рубашек" свай (площади, моменты инерции и др.) вычисляются по заданным параметрам, отвечающим их типам.

Параметрами прямоугольных сечений стержневых элементов существующих свай являются высота и ширина, параметром элементов оболочек ригелей и "рубашек" свай является толщина.

Значения параметров поперечных сечений соответствуют значениям, описанным выше в конструктивных схемах промежуточных опор (рис. 8, 9).

Нагрузки, действующие на рассчитываемые конструкции, задаются в виде узловых сил, а также местных распределен-

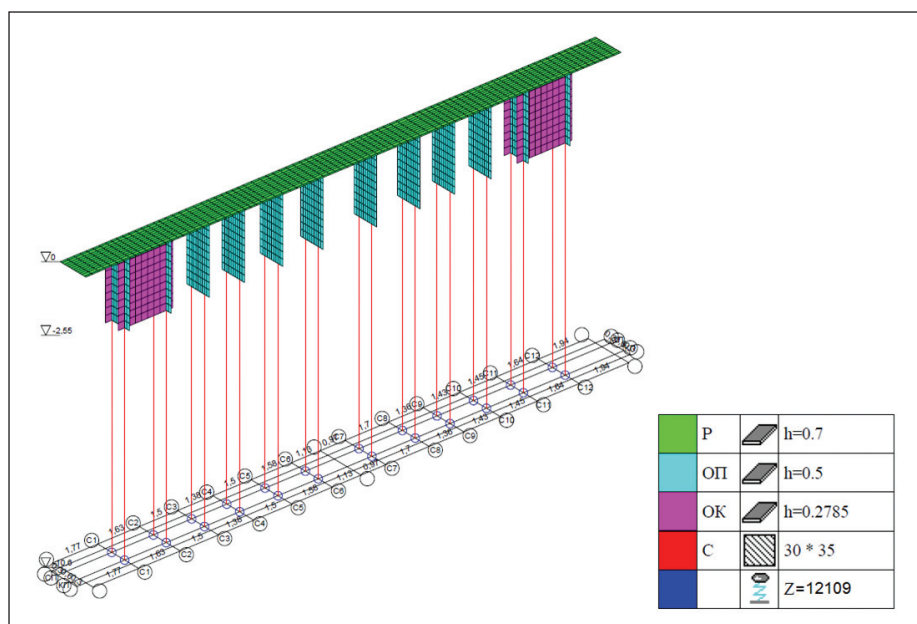
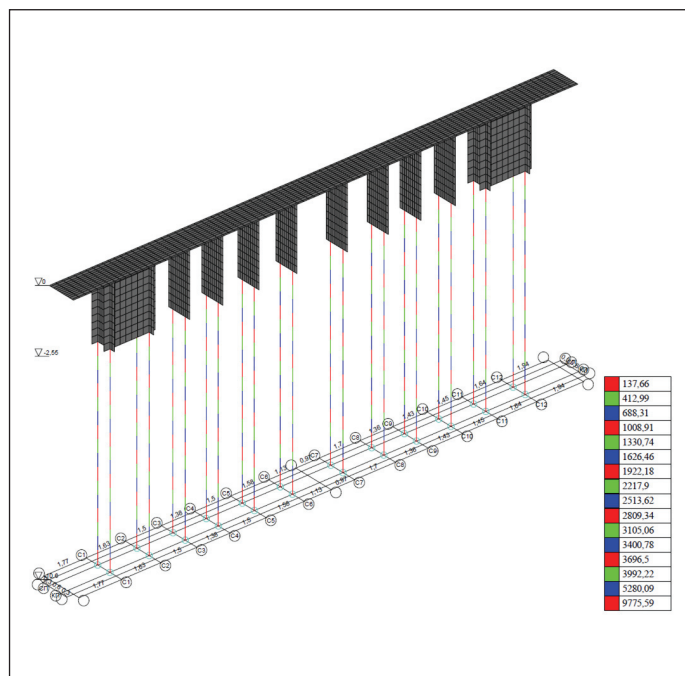


Рис. 8. Жесткости промежуточной опоры моста



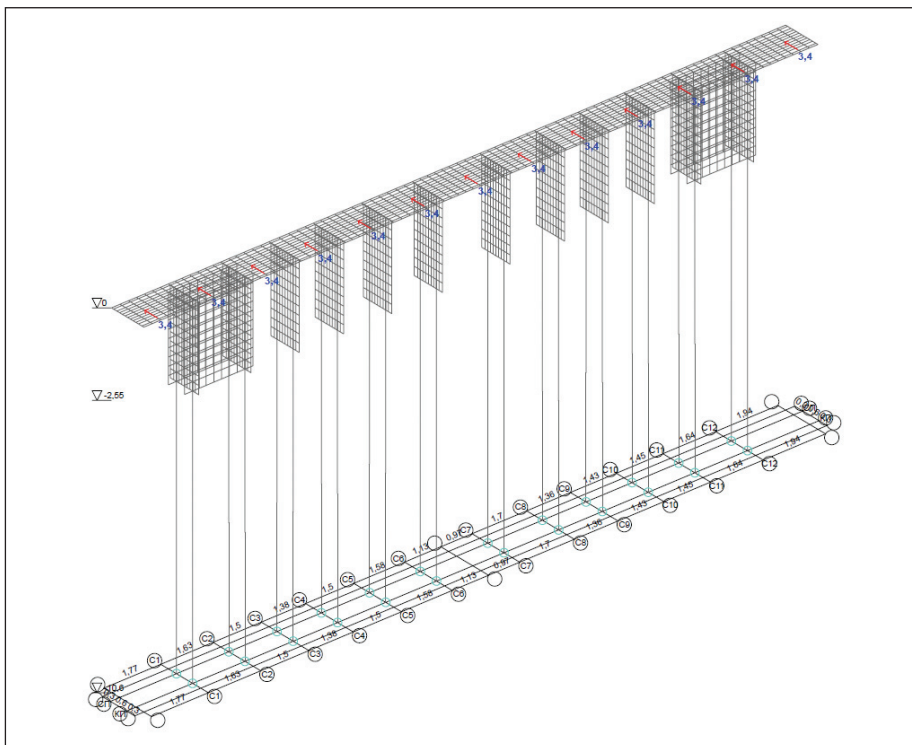


Рис. 12. Загрузка 17, горизонтальные нагрузки от опорных реакций пролетных строений

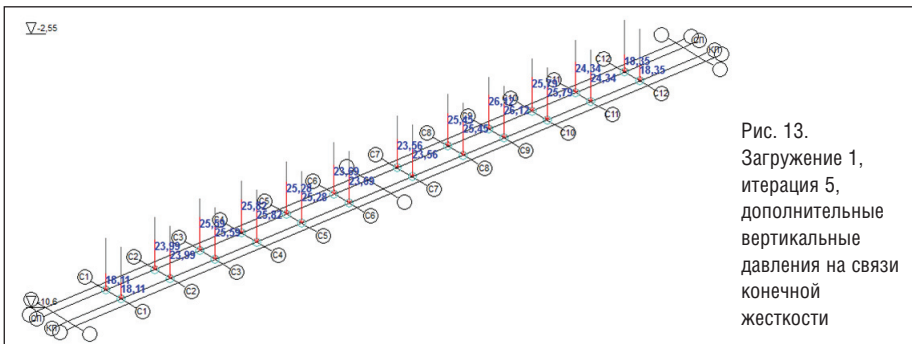


Рис. 13. Загрузка 1, итерация 5, дополнительные вертикальные давления на связи конечной жесткости

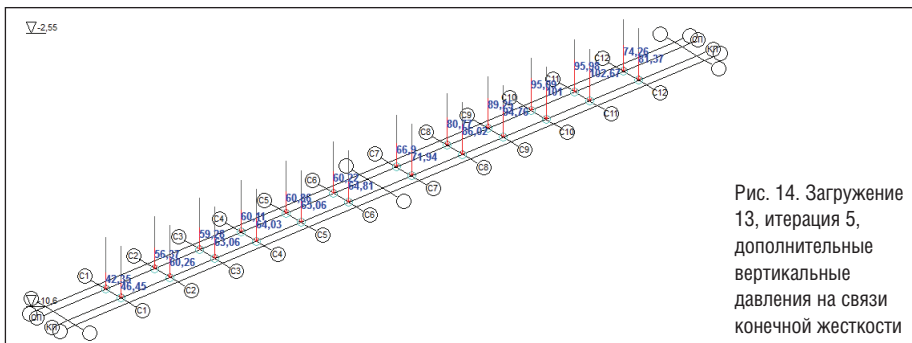


Рис. 14. Загрузка 13, итерация 5, дополнительные вертикальные давления на связи конечной жесткости

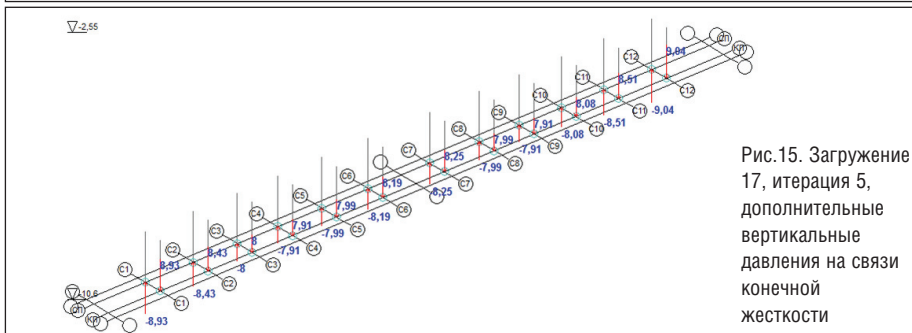


Рис. 15. Загрузка 17, итерация 5, дополнительные вертикальные давления на связи конечной жесткости

струкций промежуточных опор вычисляются 14 комбинаций загрузок.

Расчеты конструкций промежуточных опор с учетом взаимного влияния свай в кусте выполняются итерационным методом в следующей последовательности:

- производится расчет конструкции промежуточной опоры без учета взаимного влияния свай в кусте, при этом определяются опорные реакции в элементах связей конечной жесткости N_{Cj} , моделирующих взаимодействие свай с окружающим грунтом основания в продольном направлении, а также вертикальные перемещения их узлов S_j ;
- строится матрица взаимного расположения свай в кусте $a_{i,j}$;
- строится матрица взаимного влияния свай в кусте $\delta_{i,j}$;

$$\delta_{i,j} = \begin{cases} 0, & a_{i,j} = 0 \\ 0, & 0.17 \cdot \ln \left[\frac{k_v \cdot G_1 \cdot L}{2 \cdot G_2 \cdot a_{i,j}} \right] < 0 \\ 0.17 \cdot \ln \left[\frac{k_v \cdot G_1 \cdot L}{2 \cdot G_2 \cdot a_{i,j}} \right], & 0.17 \cdot \ln \left[\frac{k_v \cdot G_1 \cdot L}{2 \cdot G_2 \cdot a_{i,j}} \right] > 0 \end{cases}$$

- определяются дополнительные вертикальные давления на связи конечной жесткости

$\Delta N_{Cj} = \sum_{i=1} \delta_{i,j} \cdot N_{Ci} \cdot \frac{k_z}{G_1 \cdot L}$, вызывающие эквивалентные дополнительные осадки при взаимном влиянии в кусте (рис. 13-15);

- определяются суммарные осадки каждой свай с учетом взаимного влияния в кусте

$S_j = \frac{N_{Cj} + \Delta N_{Cj}}{k_z}$ и дополнительных вертикальных давлений на связи конечной жесткости.

Если значения суммарных осадков на двух последующих итерациях отличаются незначительно (не более чем на 1%), то итерационный расчет можно завершить.

На рис. 16-18 показаны внутренние усилия в элементах свай N , M_y , M_z от комбинации загрузок C20 на 1-й и 5-й итерациях.

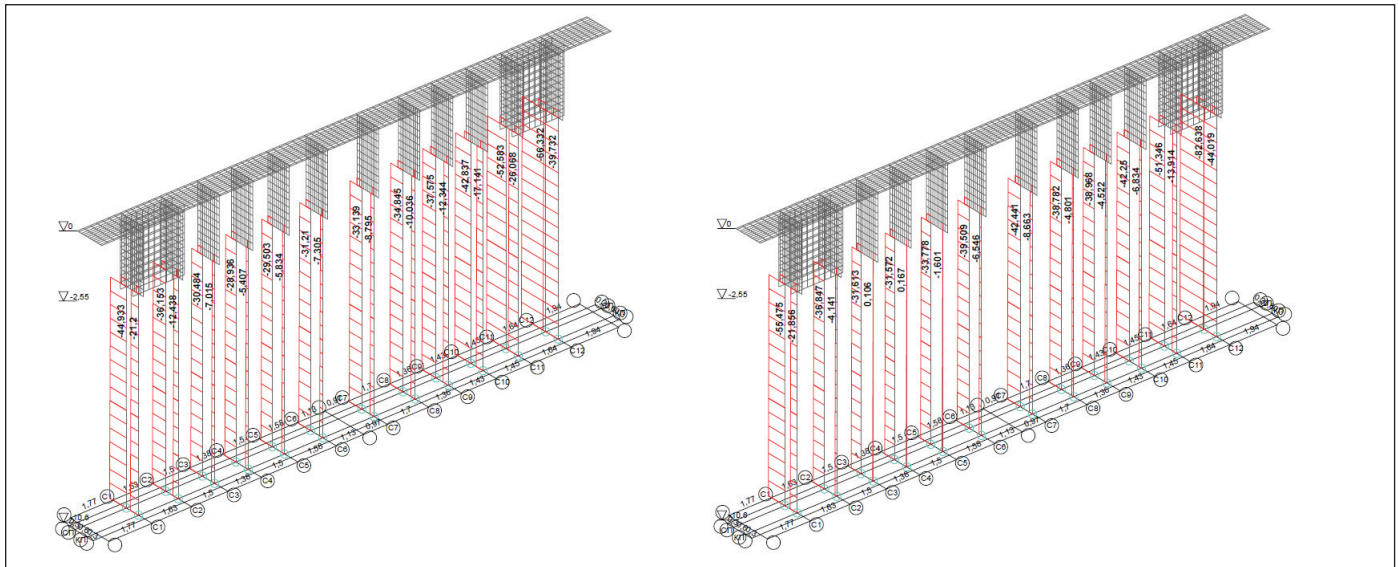


Рис. 16

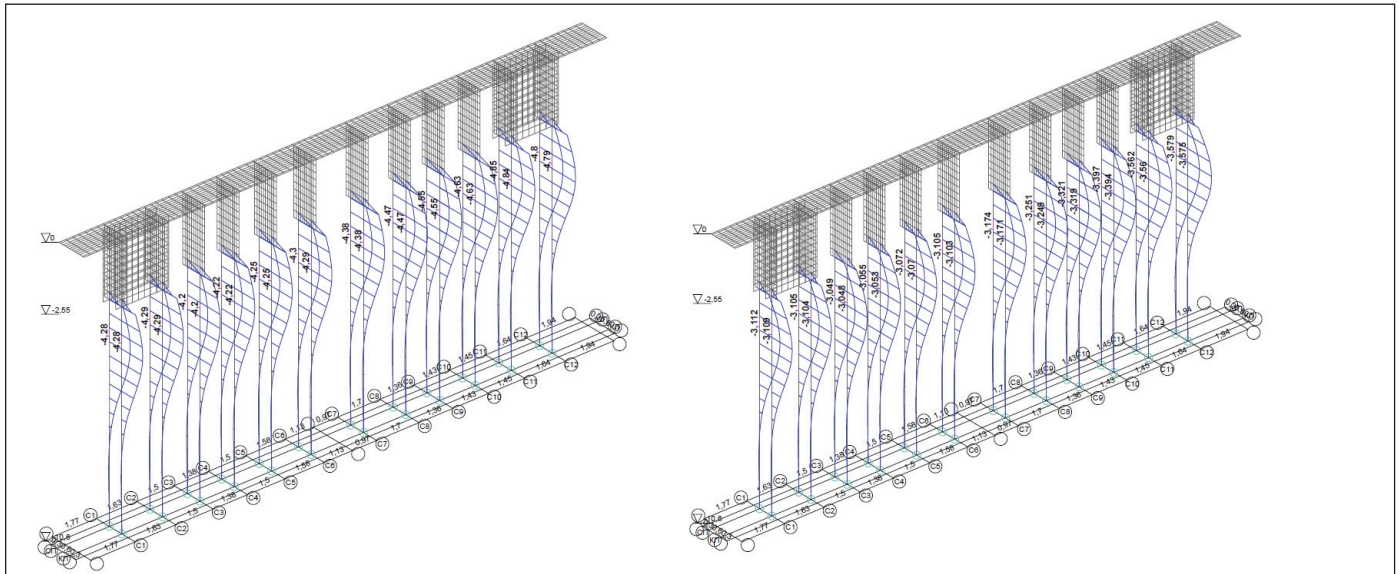


Рис. 17

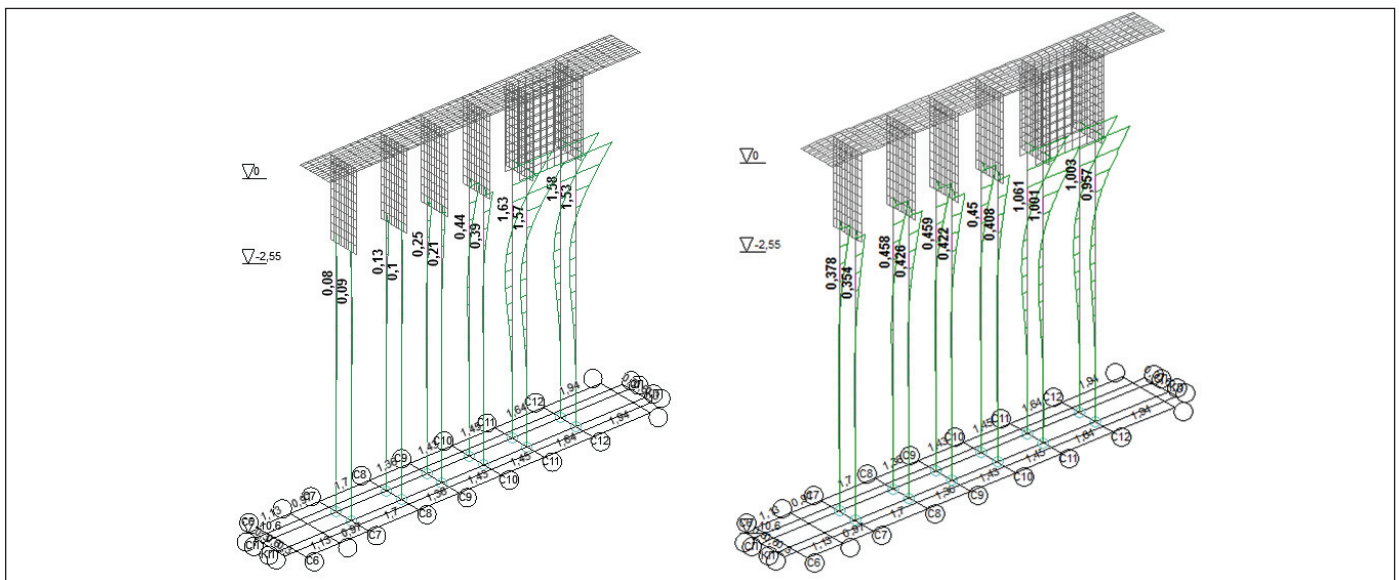


Рис. 18

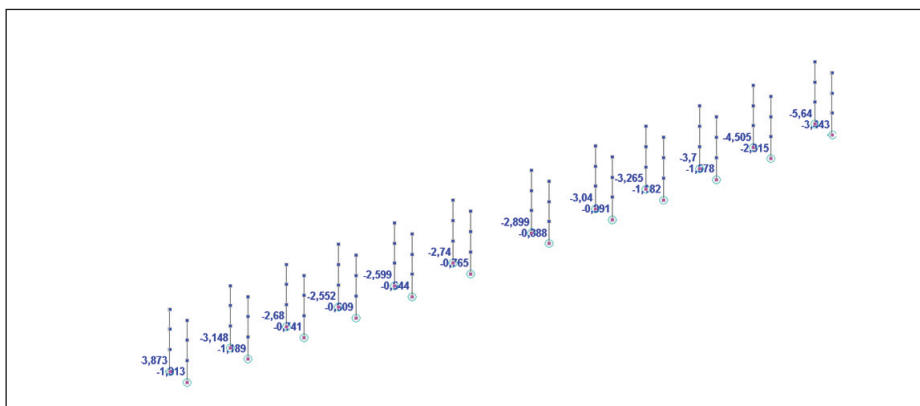


Рис. 19

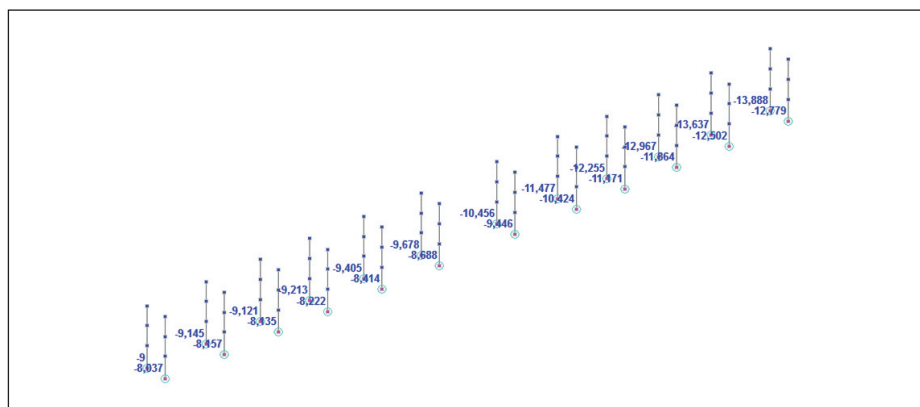


Рис. 20

Оценка несущей способности свай по грунту

Забивная свая 0,35 м • 0,30 м L=11,00 м

- Отметка подошвы ростверка: 158,90+2,90-0,05-0,40=161,35
- Отметка верха сваи после забивки до устройства ростверка: 161,35+0,50=161,85
- Отметка погружения нижнего конца сваи: 161,85-11,00=150,85
- Глубина погружения нижнего конца сваи: 158,90-150,85=8,05 м
- Толщина слоя грунта ИГЭ № 5 до отметки погружения нижнего конца сваи: 151,50-150,85=0,65

$$\gamma_c = 1,00 \quad \gamma_{cr} = 1,00 \quad \gamma_{cf} = 1,00 \quad A = 0,35 \text{ м} \times 0,30 \text{ м} = 0,105 \text{ м}^2$$

$$u = 2 \times (0,35 \text{ м} + 0,30 \text{ м}) = 1,30 \text{ м} \quad R = 744,00 \frac{\text{м}}{\text{м}^2}$$

$$F_d = \gamma_c \times (\gamma_{cr} \times R \times A + u \times \sum (\gamma_{cf} \times f_i \times h_i)) =$$

$$= 1,00 \times \left(1,00 \times 744,00 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \times 0,105 \text{ м}^2 + 1,30 \text{ м} \times 1,00 \times \left(1,225 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \times 0,70 \text{ м} + 3,325 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \times 0,50 \text{ м} + 3,815 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \times 0,50 \text{ м} + \right. \right. \\ \left. \left. + 3,025 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \times 0,70 \text{ м} + 3,325 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \times 0,50 \text{ м} + 3,454 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \times 0,50 \text{ м} + \right. \right. \\ \left. \left. + 3,695 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \times 0,50 \text{ м} + 3,830 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \times 0,50 \text{ м} + 3,930 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \times 0,50 \text{ м} + \right. \right. \\ \left. \left. + 4,030 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \times 0,50 \text{ м} + 4,130 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \times 0,50 \text{ м} + 4,215 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \times 0,50 \text{ м} + \right. \right. \\ \left. \left. + 4,265 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \times 0,50 \text{ м} + 4,315 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \times 0,50 \text{ м} + 6,145 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \times 0,65 \text{ м} \right) \right) =$$

$$= 78,12 \text{ м} + 39,17 \text{ м} = 117,29 \text{ м}$$

$$F_{d \max} = 1,4 \times 82,638 = 115,69 \text{ м} \quad F_{d \max} < F_d$$

На рис. 19 и 20 проиллюстрированы вертикальные перемещения торцов свай от комбинации С20 на 1-й и 5-й итерациях.

Z _г , м	H _г , м	f _г , т/м ²	Z _г , м	H _г , м	f _г , т/м ²
0,35	0,70	1,225	4,65	0,50	3,930
0,95	0,50	3,325	5,15	0,50	4,030
1,45	0,50	3,815	5,65	0,50	4,130
2,05	0,70	3,025	6,15	0,50	4,215
2,65	0,50	3,325	6,65	0,50	4,265
3,15	0,50	3,545	7,15	0,50	4,315
3,65	0,50	3,695	7,725	0,65	6,145
4,15	0,50	3,830			

Оценка несущей способности свай по материалу

Расчет по прочности

Длина заделки свай

Расчетная длина свай

$$l_c = l'_0 + \frac{2}{\alpha_c} = 0,00\text{ м} + \frac{2}{0,7067 \frac{1}{\text{м}}} = 2,83\text{ м}$$

$$l_0 = k \times l_c = 1,00 \times 2,83\text{ м} = 2,83\text{ м}$$

Случайный эксцентриситет

$$e_{c,cl} = \frac{l_0}{400} = \frac{2,83\text{ м}}{400} = 0,0071\text{ м}$$

$$N_x = 82,638\text{ м} \quad M_y = 3,579\text{ м} \cdot \text{м} \quad N_{xm} = 34,880\text{ м} \quad M_{ym} = 3,510\text{ м} \cdot \text{м}$$

$$N_{xl} = N_x - N_{xm} = 82,638\text{ м} - 34,880\text{ м} = 47,758\text{ м} \quad M_{yl} = M_y - M_{ym} = 3,579\text{ м} \cdot \text{м} - 3,510\text{ м} \cdot \text{м} = 0,069\text{ м} \cdot \text{м}$$

$$e_c = \frac{M_y}{N_x} = \frac{3,579\text{ м} \cdot \text{м}}{82,638\text{ м}} = 0,0433\text{ м} > e_{c,cl} = 0,0071\text{ м} \quad e_{cl} = \frac{M_{yl}}{N_{xl}} = \frac{0,069\text{ м} \cdot \text{м}}{47,758\text{ м}} = 0,0014\text{ м}$$

$$I_b = \frac{0,30\text{ м} \times (0,35\text{ м})^3}{12} = 1071,875 \times 10^{-6} \times \text{м}^4 \quad A_b = 0,30\text{ м} \times 0,35\text{ м} = 0,105\text{ м}^2$$

$$i_b = \sqrt{\frac{I_b}{A_b}} = \sqrt{\frac{1071,875 \times 10^{-6} \text{ м}^4}{0,105\text{ м}^2}} = 0,1010\text{ м} \quad r = \frac{i_b^2}{0,5 \times h} = \frac{(0,1010\text{ м})^2}{0,5 \times 0,35\text{ м}} = 0,0583\text{ м}$$

$$\frac{e_c}{r} = \frac{0,0433\text{ м}}{0,0583\text{ м}} = 0,7427 < 1 \quad \frac{l_0}{i_b} = \frac{2,83\text{ м}}{0,1010\text{ м}} = 28,0198 \quad A'_s = 10,18 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$\varphi_m = 0,7251 \quad \varphi_l = 0,8933$$

$$\varphi = \frac{\varphi_m}{\frac{N_l}{N} \times \frac{\varphi_m}{\varphi_l} + \frac{N_m}{N}} = \frac{0,7251}{\frac{47,758\text{ м}}{82,638\text{ м}} \times \frac{0,7251}{0,8933} + \frac{34,880\text{ м}}{82,638\text{ м}}} = 0,8136$$

$$R_b = 1050 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} (B20) \quad R_{sc} = 21500 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} (A1)$$

$$N = 82,638\text{ м} < \varphi \times (R_b \times A_b + R_{sc} \times A'_s) = 0,8136 \times \left(1050 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \times 0,105\text{ м}^2 + 21500 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} \times 10,18 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \right) = 107,51\text{ м}$$

Расчет по образованию в свае продольных трещин от нормальных сжимающих напряжений

$$N_{xn} = 63,62\text{ м} \quad M_{yn} = 3,22\text{ м} \cdot \text{м} \quad n' = 22,5 \quad R_{b,mc2} = 900 \frac{\text{м}}{\text{м}^2}$$

$$A_{red} = A_b + 2 \times A'_s \times n' = 0,105\text{ м}^2 + 2 \times 0,001232\text{ м}^2 \times 22,5 = 0,160440\text{ м}^2$$

$$I_{red} = I_b + 2 \times A'_s \times (0,5 \times h - a_s)^2 \times n' = 1071,875 \times 10^{-6} \text{ м}^4 + 2 \times 0,001232\text{ м}^2 \times (0,5 \times 0,35\text{ м} - 0,04\text{ м})^2 \times 22,5 = 2082,269 \times 10^{-6} \text{ м}^4$$

$$z_{redc} = \frac{h}{2} = \frac{0,35\text{ м}}{2} = 0,175\text{ м}$$

$$\sigma_{sc} = \frac{N_{xn}}{A_{red}} + \frac{M_{yn} \times z_{redc}}{I_{red}} = \frac{63,62\text{ м}}{0,160440\text{ м}^2} + \frac{3,22\text{ м} \cdot \text{м} \times 0,175\text{ м}}{2082,269 \times 10^{-6} \text{ м}^4} = 667,15 \frac{\text{м}}{\text{м}^2} < R_{b,mc2}$$

Выводы и рекомендации

В результате учета взаимного влияния свай в кусте изменяется деформированная схема промежуточной опоры и происходит перераспределение внутренних усилий в сваях. При этом запас несущей способности наиболее нагруженной свай по материалу уменьшается с 38,30% до 23,13%, а запас несущей способности наиболее нагруженной свай по грунту уменьшается с 20,82% до 1,36%.

Литература

1. СНиП 2.05.03-84* "Мосты и трубы".
2. СП 50-102-2010 "Проектирование и устройство свайных фундаментов".
3. СН 200-62 "Технические условия проектирования железнодорожных, автодорожных и городских мостов и труб".
4. ОДН 218.0.032-2003 "Временное руководство по определению грузоподъемности мостовых сооружений на автомобильных дорогах".

5. 161/08-Р-ПИР-ИИ.02.К.1 "Отчет по инженерно-геологическим изысканиям".
6. 161/08-Р-ПИР-ОИС.К.1 "Отчет о предремонтном обследовании".
7. 161/08-Р-ПИР-ОСР.К.1 "Основные строительные решения".
8. ТП вып. 56 СДП инв. № 710/5.

Георгий Едигаров
ООО НПФ "СКАД СОФТ"