

ГЕОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ОГРАЖДЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО СООРУЖЕНИЯ ГЛУБОКОГО КОТЛОВАНА В УСЛОВИЯХ Г.ХАБАРОВСКА

Кудрявцев С.А.¹, Парамонов В.Н.², Кажарский А.В.¹, Шкуратов А.Н.¹

¹ Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Россия, 680021, г.Хабаровск, ул. Серышева, дом 47, e-mail: kudr@festu.khv.ru

² Петербургский государственный университет путей сообщения, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9, e-mail: parvn@georec.spb.ru

В статье представлена: оценка геотехнической ситуации на площадке проектируемого строительства; дано определение оптимальной конструкции для устройства котлована; прогнозирование величины горизонтальных перемещений ограждения котлована; определение изгибающих моментов в ограждении, а так же усилий в распорных конструкциях. Проведено численное моделирование возможных вариантов устройства глубокого котлована и произведена предварительная оценка влияния устройства проектируемого подземного объекта на окружающие здания и сооружения. Разработаны рекомендации по выбору безопасного варианта устройства подземного пространства и технологии ведения работ.

Ключевые слова: глубокий котлован, грунты, буровые сваи, численное моделирование.

GEOTECHNICAL EVALUATION OF CONSTRUCTING UNCASSED PILES IN DEEP EXCAVATION FOR CONDITIONS OF THE KHABAROVSK

Kudriavtcev S.A.¹, Paramonov V.N.², Kazharskii A.V.¹, Shkuratov A.N.¹

¹ Far Eastern State Transport University. 47, Serishev st., Khabarovsk, 680021, Russia, e-mail: kudr@festu.khv.ru

² Petersburg state transport university, 9 Moskovsky pr. Saint Petersburg, 190031, Russia, e-mail: parvn@georec.spb.ru

The article presents an evaluation of geotechnical state on the project construction site and an evaluation of deep excavation impact on the current site development. It also provides an optimal design for the deep excavation, an impact analysis of horizontal shifts in the poling, an assessment of bending moments in the poling and the stresses in the sprung design. The numerical modeling was carried out for developing variants of the deep excavation as well as a preliminary assessment of the impact that the project underground construction produces on the surrounding buildings and constructions. Some recommendations on choosing a reliable variant of the undergrounds arrangement and the engineering operational technology are suggested.

Keywords: deep excavation, soils, uncased piles, numerical modeling.

Оценка возможности устройства подземного объема глубиной 14.8 м проектируемого комплекса

Были проведены аналитические расчеты оценки необходимой глубины ограждений котлована и установлены силовые факторы, действующие в конструкции ограждения. От поверхности земли с глубины 13.5 м залегают водонасыщенные грунты. Удельный вес насыпных грунтов принимался равным 18 кН/м^3 , прочностные характеристики $c=10 \text{ кПа}$, $\varphi=10^0$. Грунтовые воды встречены на глубине 13,5 м. Расчетные значения прочностных характеристик грунтов принимались по данным инженерно-геологических изысканий.

По результатам аналитического расчета требуемая глубина стены ограждения котлована должна составить порядка 26 м с поверхности. Наибольшие моменты в ограждении достигают 331 тсм. Перемещение верха консольной стенки ограждения составляет порядка 30 см, что в практике не допустимо.

В расчетной практике распространение получил самый простой способ аппроксимации нелинейной функцию зависимости давления от перемещения стенки ограждения котлована – введение некоторого коэффициента постели, связывающего величины давления и перемещения стенки до достижения активного (при перемещении в сторону давления) либо пассивного давления (при перемещении в противоположную сторону). Для выполнения расчета используются специальные конечные элементы, деформируемость которых определяется величиной коэффициента постели, а при достижении в элементе величины активного или пассивного давлений методом начальных напряжений производится решение нелинейной задачи. Такой подход позволяет использовать традиционные полуаналитические методы для расчета не только шпунтовых ограждений с распорками в плоской постановке, но и пространственных систем ограждающих конструкций, моделируемых пластинчатыми и стержневыми конечными элементами.

Расчеты выполнялись полуаналитическим методом с использованием коэффициента постели. В связи с этим для определения коэффициента постели грунта при расчете ограждающих конструкций использовалась формула Шмита (Schmitt, 1995), связывающая коэффициент постели с одометрическим модулем грунта и учитывающая жесткость ограждающей конструкции.

$$K_h = 2.1 \frac{E_{oed}^{4/3}}{EI^{1/3}},$$

где, E_{oed} - одометрический модуль грунта; EI – жесткость системы ограждения.

Для оценки корректности получаемых по традиционному подходу величин усилий и перемещений целесообразно рассмотреть решение задачи с использованием более сложных нелинейных моделей работы грунта. Простейшая упругопластическая модель с предельной поверхностью, определяемой критерием Кулона-Мора в данном случае практически неприменима, поскольку не позволяет корректно описать работу грунта на стадии разгрузки. В рассматриваемом случае при достаточно низких модулях деформации грунтов использование простейшей упругопластической модели приводит к аномальному подъему дна котлована, что совершенно искажает результаты решения.

В связи с этим для расчета необходимо использовать модели, учитывающие различие работы грунта на стадии нагрузки и разгрузки. Вторым существенным требованием к модели работы грунта является корректное описание деформаций формоизменения, поскольку в рассматриваемой ситуации, очевидно, в грунте будут преобладать не деформации уплотнения, а деформации сдвига. В этом случае одометрические испытания не соответствуют условиям работы грунта на площадке, а, следовательно, модуль деформации,

получаемый из этих опытов, не может служить реальной характеристикой деформируемости грунта. Ближе всего условия работы грунта в данном случае соответствуют стабилметрическим испытаниям по неконсолидированно-недренированной схеме, в которых (в случае полностью водонасыщенного грунта) развиваются исключительно деформации формоизменения. Таким образом, модель должна с достаточной степенью точности описывать работу глинистого грунта в недренированных трехосных испытаниях.

Наиболее корректно работу грунта при деформациях формоизменения отражает специально разработанная упруго-вязко-пластическая модель, содержащаяся в библиотеке моделей программы FEM models. Модель позволяет анализировать как величины ожидаемых конечных деформаций конструкций, так и оценивать развитие деформаций во времени. Для получения основных параметров модели достаточно данных стандартных трехосных и компрессионных испытаний. Как показывает моделирование экспериментов, модель позволяет достаточно точно описать работу грунта в этих видах испытаний.

Как показывают наблюдения за деформациями ограждающих конструкций, характерной особенностью работы таких конструкций является длительное развитие деформаций во времени.

Методы расчета, не учитывающие фактор времени, фактически предполагают, что после каждого этапа откопки происходит деформирование в течение длительного промежутка времени (до достижения «конечных» деформаций). В натуральных условиях экскавация котлована может производиться сравнительно быстро, в этом случае ожидаемые «конечные» деформации на всех этапах могут не успеть развиваться. В результате учет фактора времени может оказать существенное влияние на характер работы ограждающей конструкции.

Приведем результаты численного моделирования устройства подземного пространства сооружения с использованием программного комплекса FEM models, разработанного геотехниками Санкт-Петербурга.

Расчет буронабивных свай диаметром 1200 мм с нагрузкой по поверхности равной 20 кПа (консоль)

На рис.1 представлена расчетная схема консольной стенки котлована, эпюра горизонтальных перемещений и изгибающих моментов.

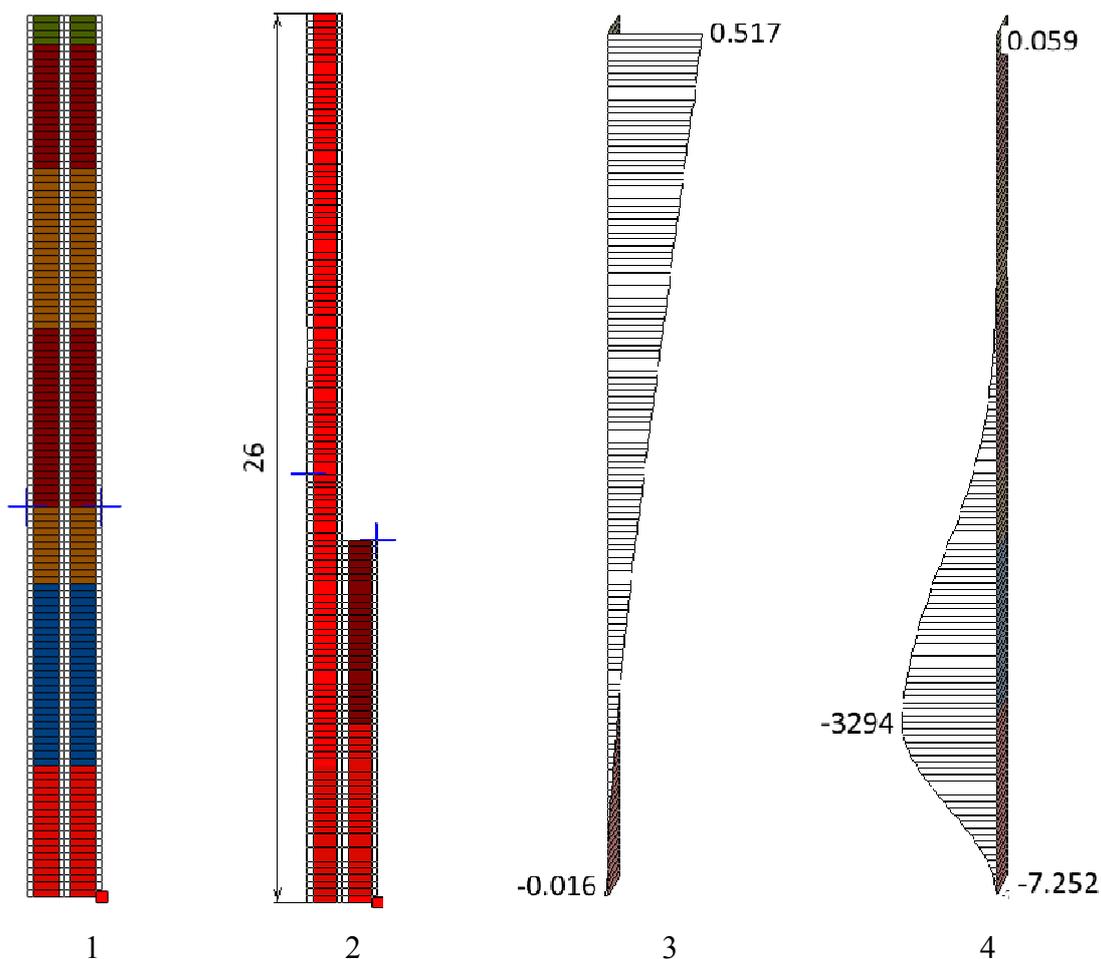


Рис 1. Результаты расчета ограждения котлована из консольной стенки

1 – расчетная схема до экскавации грунта, 2 – откопка котлована на глубину 14.8 м; 3 – эпюра горизонтальных перемещений (м) для консольного шпунта, 4 – Эпюра изгибающих моментов (кНм) для консольного шпунта

Как видно из результатов расчета максимальный изгибающий момент составляет 329 тсм, что близко к аналитическому решению, максимальное перемещение составило 0.52 м.

Расчет буронабивных свай диаметром 1200 мм с нагрузкой по поверхности равной 20 кПа (распорная система)

Проведем анализ результатов численного моделирования поэтапного вскрытия котлована от поверхности с устройством распорной системы. Так как по результатам предыдущего численного расчета перемещение низа ограждения на глубине 24,0 м составляет 0,5 см, то принимаем длину ограждения 24 м.

Результаты расчета первого этапа экскавации на глубину 14.8 м с устройством трех распорок по глубине представлены на рис.2.

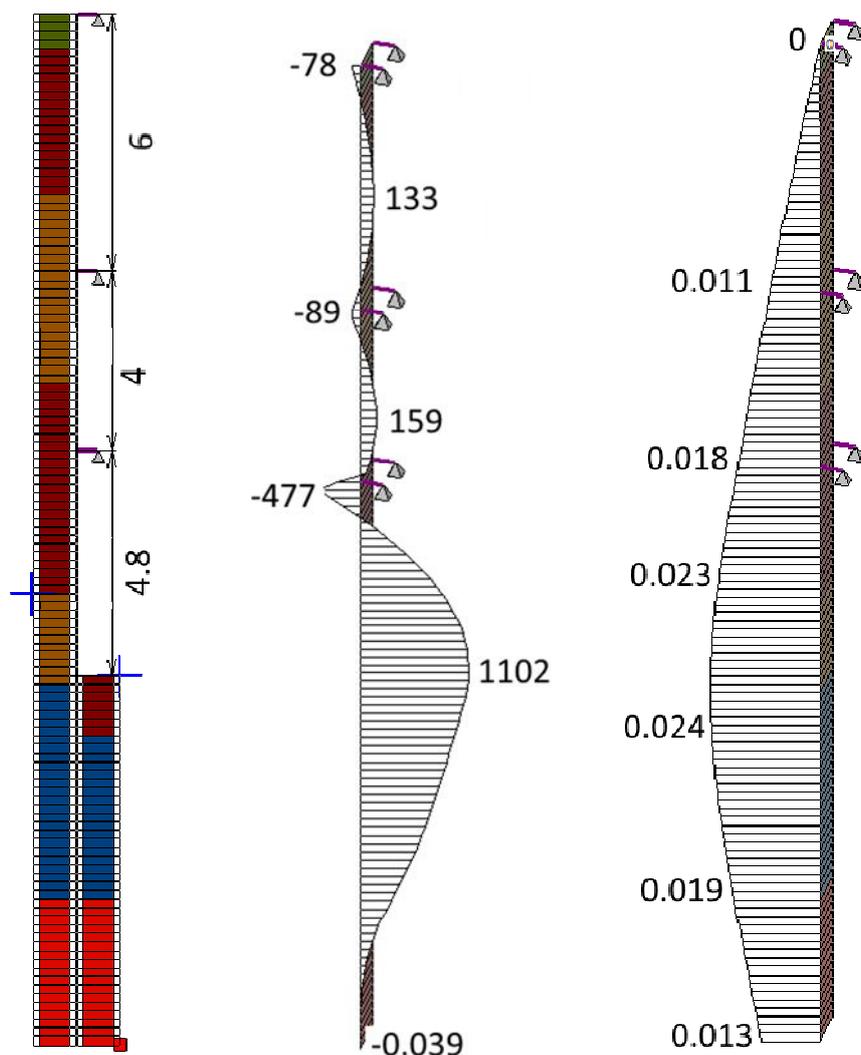


Рис.2. Результаты расчета ограждения котлована из буронабивных свай с устройством распорной системы

1 – расчетная схема с экскавацией грунта до глубины 14.8 м, 2 – эпюра изгибающих моментов (кНм) ; 3 – эпюра горизонтальных перемещений (м)

В таблице 1 приведены результаты численного моделирования устройства ограждения котлована из буронабивных свай диаметром 1200 мм с нагрузкой по поверхности равной 20 кПа и с сооружением распорной системы для трех уровней экскавации грунта.

Таблица 1

Сводная таблица по максимальным и минимальным значениям

Уровни экскавации	Мах перемещение за этап, м	Накопленные перемещения, м	Min момент, кНм	Мах момент, кНм	Глубина развития Мах момента, м	Мах усилие в распорке, кН
- 6.0 м	0,014	0,014	-419	+580	5,6	-
-10.0 м	0,006	0,020	-436	+868	11,48	161,7
-14.8 м	0,006	0,026	-423	+1102	15	285,2

В результате общего анализа численного моделирования получены следующие результаты с учетом коэффициентов надежности γ_n и условий работы γ_c :

Максимальный изгибающий момент составил 110 тсм.

Расчетный изгибающий момент – $\gamma_n/\gamma_c * 110 = 1.15/0.9 * 110 = 140,5$ тсм.

Максимальное усилие в распорке № 1 составило 29 тсм/пог. м.

Расчетное усилие $\gamma_n/\gamma_c * 29 = 1.15/0.9 * 29 = 37,05$ тсм/пог. м.

Максимальное усилие в распорке № 2 составило 66 тсм/пог. м.

Расчетное усилие $\gamma_n/\gamma_c * 66 = 1.15/0.9 * 66 = 84,33$ тсм/пог. м.

Максимальное усилие в распорке № 3 составило 92 тсм/пог. м.

Расчетное усилие $\gamma_n/\gamma_c * 92 = 1.15/0.9 * 92 = 117,55$ тсм/пог. м.

Исходя из результатов численного моделирования сконструирована схема устройства, подобран материал и сечение распорной системы для разработки котлована на глубину 14.8 м (рис.3).

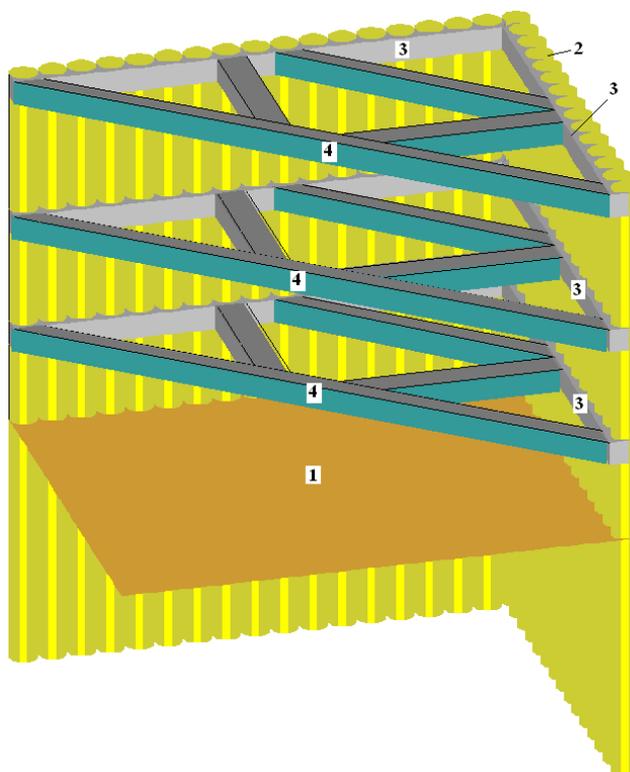


Рис.3. Схема устройства распорной системы разработки котлована

1 – дно котлована на отметке -14.8; 2 - буронабивные сваи, 3 металлические пояса в трех уровнях; 4 – металлические распорки в трех уровнях

Выводы

1. В результате проведенных аналитических и численных расчетов необходимой глубины ограждений котлована и установлены силовые факторы, действующие в конструкции ограждения.

2. Расчеты выполнялись полуаналитическим методом с использованием коэффициента постели по методике Шмита, что позволило определить перемещения и эпюры моментов на каждом из этапов строительства.

3. Численное моделирование устройства подземного пространства сооружения проводилось с использованием программного комплекса FEM models, разработанного геотехниками Санкт-Петербурга.

4. Исходя из результатов численного моделирования: сконструирована схема устройства; подобран материал и сечение распорной системы для разработки котлована на глубину 14.8 м.

Список литературы

1. Kudriavtcev S.A., Berestyanyy Y.B. Goncharova E.D. Engineering and Construction of Geotechnical Structures with Geotechnical Materials in Coastal Arctic Zone of Russia. The 23rd International Offshore (Ocean) and Polar Engineering Conference Anchorage. Alaska, USA. June 30–July 5, 2013. P.562-566.
2. Kudriavtcev S.A., Berestyanyy Y.B., Valtseva T.U. Mihailin R.G, Tsvigunov D.G. Designs of the railway roadbed of thawing permafrost soils in condition of the Far East. 18th International conference on soil mechanics and geotechnical engineering. Proceedings of the TC207 workshop on “Soil-Structure Interaction and Retaining Walls”. 4 September 2013. Challenges and innovations in geotechnics. Paris. P.156-162.
3. Kudriavtcev S.A., Berestyanyy Y.B., Goncharova E.D. Valtseva T.Y., Mikhailin R. G. Motorway Structures Reinforced with Geosynthetic Materials in Polar Regions of Russia. The 24rd International Offshore (Ocean) and Polar Engineering Conference. Bussan, Korea. June 26 -30, 2014. P.502-506.
4. Kudriavtcev S.A., Valtseva T.Y., Goncharova E.D., Berestianyi Y.B. Development of reinforcement structure of high embankment on weak soils that approaches bridge across amurskaya river branch. Computer methods and recent advances in geomechanics. The 14th international conference of the international association for computer methods and advances in geomechanics. September 22-25, 2014. Kyoto, Japan. P.415.
5. Kudryavtsev S.A., Kazharsky A.V, Shishkina, K.M, Bakharev V.I. Study the changes of the strength of the soil properties of soil moisture stabilometry during thawing. Scientific and technical problems of transport, industry and education. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference. April 21-23, 2010. At 6 tons;. Ed. OL Rudykh. - Khabarovsk. T. 2. - Acad FESTU, 2010. P.62-65.

Рецензенты:

Сахаров И.И., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Геотехника», ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г.Санкт-Петербург;

Чехонин К.А., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой «Информационные технологии и системы» ГОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», г. Хабаровск.