

Моделирование работы козловых свай путепровода в грунтовом массиве

О.В. Коптева¹, Е.А. Муравьева¹, Г.Т. Серажетдинова^{1,2}

¹*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва*

²*ООО СЗ «ПСФ "КРОСТ"», Москва*

Аннотация: Статья написана по результатам научного исследования по моделированию работы системы «фундамент – грунтовый массив» особого вида фундамента глубокого заложения – козловых свай в условиях грунтового массива при возведении путепровода трассы М-12 «Восток». Козловые наклонные сваи предназначены для передачи большей нагрузки на основание, чем традиционные сваи вертикального исполнения. Цель данного исследования – выбор угла наклона козловых свай для опоры путепровода на основе математического моделирования. Научная новизна заключается в выборе методами математического моделирования конструкции фундамента из козловых свай для опоры автомобильного путепровода.

Ключевые слова: козловые сваи, фундамент глубокого заложения, путепровод, моделирование, метод конечных элементов, грунтовый массив, напряжения, деформации, ростверк, система «фундамент – грунтовый массив».

Козловые сваи [1] были разработаны в 30-х годах XX века и впервые опробованы в Москве в 1936 году, после чего с 1938 по 1940 годы активно применялись при реконструкции и строительстве морского порта в г. Архангельск. Козловые сваи много раз модифицировались, например [2, 3], с целью увеличения их несущей способности, а также глубинного уплотнения слабых геологических слоев [4]. Специфика козловых свай заключается в том, что они установлены под наклоном к вертикали, что увеличивает площадь соприкосновения с грунтом и меняет условия их взаимодействия с основанием [5, 6]. Это немного повышает способность свай противостоять вертикальным нагрузкам и значительно улучшает устойчивость к горизонтальным воздействиям [7]. Несущая способность фундамента с козловыми сваями обусловлена сопротивлением грунта под их острием, трением по боковым поверхностям и дополнительным сопротивлением от давления грунта по нижней наклонной боковой стороне сваи на участке, расположенном в верхней половине [8].

В данном научном исследовании рассматриваются козловые сваи фундамента опоры путепровода на трассе М-12 «Восток» (рис. 1), разработанные на основе имеющегося современного опыта в проектировании подобных конструкций [9].



Рис. 1. – Фундамент из козловых свай путепровода трассы М-12 в районе д. Полтево – д. Дятловка (съемка январь 2022 г.)

Короткие козловые сваи могут использоваться для создания фундаментов под стены и колонны. В ленточных ростверках допустимо применять как парные, так и одиночные сваи. Для фундаментов под опоры мостов и путепроводов могут быть использованы парные козловые сваи или сваи, погружаемые под наклоном в разные стороны от центра фундамента.

Для создания фундаментов на козловых сваях иногда применяют призматические сваи с односторонней заостренностью, которые погружают парами. При погружении таких свай в грунт из-за возникновения реактивного сопротивления грунта на скошенной поверхности сваи возникает момент, который поворачивает сваю в грунте относительно шарнирного закрепления головки сваи в наголовнике. Ввиду больших моментов в самой свае и невозможности значительного поворота длинных

свай в грунте, рекомендуется ограничивать длину таких свай. В данном проекте использовались сваи длиной 12 м, которые забивались на отметку 10 м ниже дневной поверхности. Для данного исследовательского проекта первоначально были выбраны три варианта наклона свай: 7° , 13° , 20° по отношению к вертикали. В дальнейшем для уточнения полученных результатов был добавлен четвертый эксперимент – 10° (рис. 2).

Моделирование производится методом конечных элементов в программе для геомеханических исследований [10]. Путепровод моделируется равномерно распределенной нагрузкой.

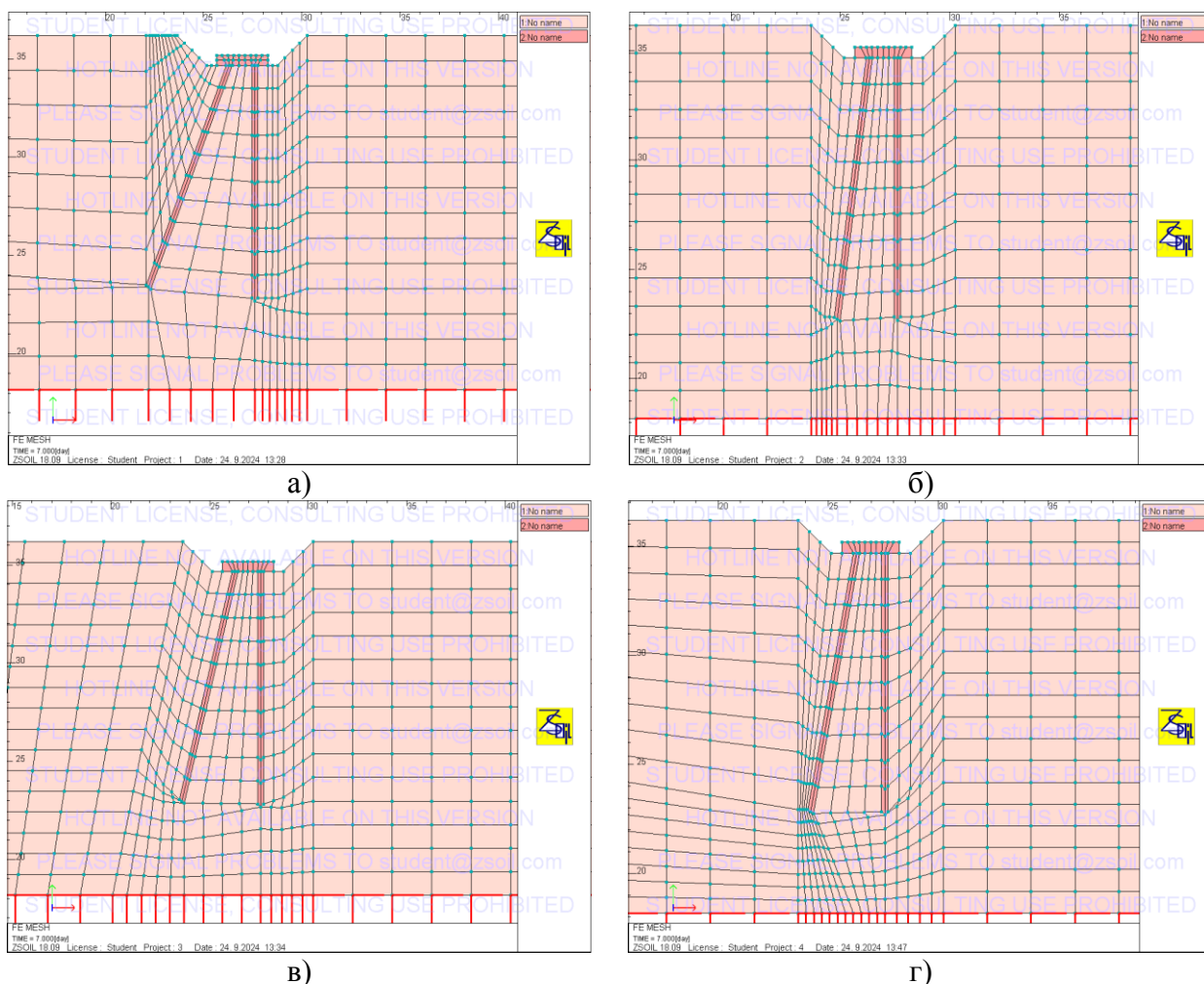


Рис. 2. – Расчетные схемы эксперимента: а) 20° , б) 7° , в) 13° , г) 10°

Такие углы наклона были выбраны по рекомендации [11] справочника для расчета свайных фундаментов.

Первоначально (рис.2, а) был выбран угол наклона 20° , как максимально рекомендованный для козловых свай. Далее (рис.2, б) было проведено моделирование с минимальным углом наклона свай. Третий эксперимент осуществлялся с применением свай под углом 13° к вертикали (рис.2, в), как некое среднее значение угла наклона, в соответствии с рекомендациями.

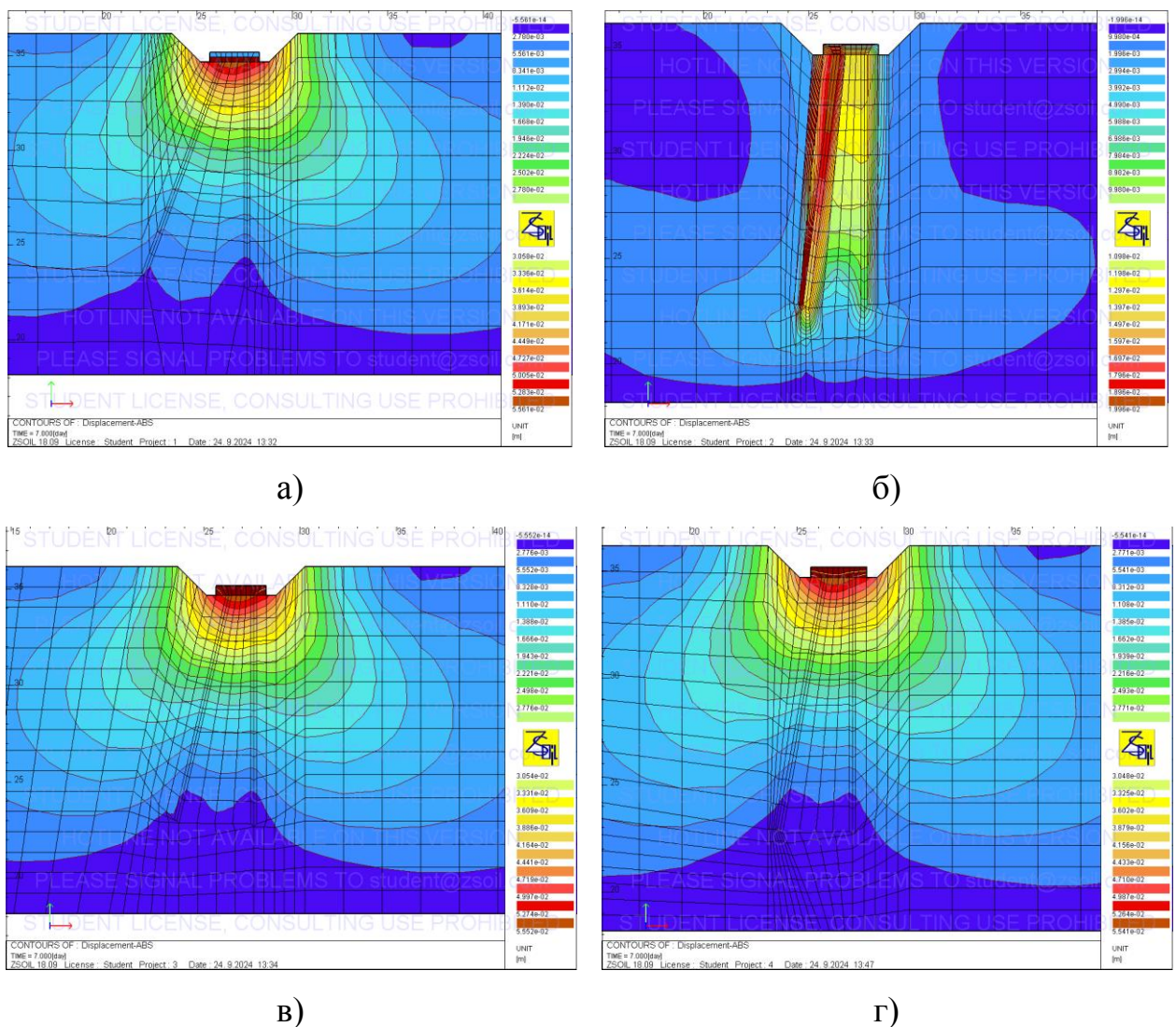


Рис. 3. – Абсолютные перемещения в массиве и конструкции фундамента из козловых свай при их наклоне в: а) 20° , б) 7° , в) 13° , г) 10°

В результате анализа абсолютных перемещений (рис.3) было выявлено значительное расхождение в полученных результатах между 7° и 13° и

поэтому было принято решение сделать расчет с углом наклона козловых свай 10° к вертикали.

При анализе результатов математического моделирования можно сделать вывод о том, что при углах наклона свай в 10° , 13° и 20° (рис.3) они не работают как козловые, а преимущественно работают как свайно-плитный фундамент. Что, в свою очередь, ведет к повышенным напряжениям в бетоне, большим деформациям конструкций и перемещениям в грунтовом массиве. При угле наклона сваи в 7° (рис.3, б) изменяется граница зоны влияния системы «фундамент – грунтовый массив», величина перемещений в массиве и деформации конструкции фундамента.

При данных начальных условиях в качестве основного варианта фундамента путепровода следует принять свайно-ростверковый фундамент из козловых свай с углом наклона в 7° по отношению к вертикали.

Литература

1. Еренчинов С.А. Рамно-козловые ленточные фундаменты в условиях слабых глинистых грунтов: специальность 05.23.02 «Основания и фундаменты, подземные сооружения»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Тюмень, 2015. 22 с.

2. Голубков В.Н., Кинашенко Р.С., Тугаенко Ю.Ф., Демчук С.Е. Козловая свая. Авторское свидетельство № SU 1213132 A1. Заявление № 3778703. 1986. Заявитель: Одесский инженерно-строительный институт. URL: elibrary.ru/download/elibrary_40382962_60859506.pdf.

3. Баранов И.И., Савошик А.Т., Драненко Н.И. Гидротехническое сооружение. Авторское свидетельство № SU 1323639 A1. Заявление № 3986074. 1987. Заявитель: Предприятие П/Я М-5828. URL: elibrary.ru/download/elibrary_40484966_22232949.pdf.

4. Плахотный, Г. Н. Работа козловых свай уплотнения в различных инженерно-геологических условиях : специальность 05.23.02 «Основания и фундаменты, подземные сооружения» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Одесса, 1986. 218 с.

5. So A.K.O. Performance of high capacity socketed H-piles with long rock socket // Soils and Foundations. 2024. Volume 64, Issue 4, №8. URL: doi.org/10.1016/j.sandf.2024.101481.

6. Utkin V. S. Friction piles behavior in soil base and piles settlement calculation // Vestnik MGSU. №8. 2018. URL: doi.org/10.22227/1997-0935.2018.9.1125-1132.

7. Бай В.Ф., Еренчинов С.А. Численный Анализ деформации основания рамно-козловых фундаментов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2014. № 2. С. 219-228.

8. Бай В.Ф., Питенков В.С., Елисеева Д.Е. Анализ работы анкерного козлового фундамента методом конечных элементов // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2021. С. 36-39.

9. Макаров А.В., Тянь В.Ю., Журавлев А.В. Астраханский мост в Волгограде: символ и проблемы // Инженерный вестник Дона. 2018. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5320/.

10. Толмачев Д.А., Рамазанов А.Г. Определение несущей способности одиночной сваи путем моделирования испытаний в программном комплексе Plaxis 2D // Инженерный вестник Дона. 2023. № 7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2023/8578/.

11. Бахолдин Б.В., Илькевич Л.Я., Коновалов П.А., Кульчицкий Г.Б., Мариупольский Л.Г., Фаянс Б.Л., Федоровский В.Г., Экимян Н.Б., Князев В.С., Стуров В.И., Трофименков Ю.Г., Кисин Б.Ф., Лещин Г.М., Пярнпуу

З.К., Соколова В.Ф., Соминская Б.С., Ханин Р.Е., Шерман А.А., Луга А.А., Глотов Н.М., Завриев К.С., Голосов В.Н., Коровин Н.Н., Якушин В.А., Тимофеев С.В., Гольдфельд И.З., Трофимов В.Л., Берман В.И., Перлей Е.М., Серебро А.Я., Ковалев Ю.И., Воробков Л.Н., Дорошкевич Н.М., Лекумович Г.С., Лучковский И.Я., Хамов А.П., Бойко И.П., Швец В.Б., Феклин В.И., Вассерман С.Н., Шахирев Б.В., Рыжков И.Б., Тарасов В.Л., Бартоломей А.А., Григорян А.А., Сорочан Е.А., Юшин А.И., Ильичев В.А., Монголов Ю.В., Шаевич В.М., Гриб С.И., Жуков Н.В., Балов И.Л., Карабанова Л.Н. Руководство по проектированию свайных фундаментов. М.: Стройиздат, 1980. 153с.

References

1. Erenchinov S.A. Ramno-kozlovye lentochnye fundamenty v usloviyah slabых глинистых грунтов [Frame gantry strip foundations in weak clay soils]: special'nost' 05.23.02 «Osnovaniya i fundamenty, podzemnye sooruzheniya»: avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehnicеских наук. Tjumen', 2015. 22 p.

2. Golubkov V.N., Kinashenko R.S., Tugaenko Ju.F., Demchuk S.E. Kozlovaja svaja [Gantry pile]. Avtorskoe svidetel'stvo № SU 1213132 A1. Zajavlenie № 3778703. 1986. Zajavitel': Odesskij inzhenerno-stroitel'nyj institut. URL: elibrary.ru/download/elibrary_40382962_60859506.pdf.

3. Baranov I.I., Savoshnik A.T., Dranenko N.I. Gidrotehnicеское sooruzhenie [Hydrotechnical structure]. Avtorskoe svidetel'stvo № SU 1323639 A1. Zajavlenie № 3986074. 1987. Zajavitel': Predpriyatие P/Ja M-5828. URL: elibrary.ru/download/elibrary_40484966_22232949.pdf.

4. Plahotnyj, G. N. Rabota kozlovyh svaj uplotneniya v razlichnyh inzhenerno-geologichеских usloviyah [Performance of gantry seal piles in different engineering and geological conditions]: special'nost' 05.23.02 «Osnovaniya i fundamenty,



podzemnye sooruzhenija» : dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskikh nauk. Odessa, 1986. 218 p.

5. So A.K.O. Soils and Foundations. 2024. Volume 64, Issue 4, №8. URL: doi.org/10.1016/j.sandf.2024.101481.

6. Utkin V. S. Vestnik MGSU. №8. 2018. URL: doi.org/10.22227/1997-0935.2018.9.1125-1132.

7. Baj V.F., Erenchinov S.A. Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura. 2014. № 2. pp. 219-228.

8. Baj V.F., Pitenkov V.S., Eliseeva D.E. Jenergosberezhenie i innovacionnye tehnologii v toplivno-jenergeticheskom komplekse. Tjumen': Tjumenskij industrial'nyj universitet, 2021. pp. 36-39.

9. Makarov A.V., Tjan V.Ju., Zhuravlev A.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5320.

10. Tolmachev D.A., Ramazanov A.G. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. № 7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2023/8578.

11. Baholdin B.V., Il'kevich L.Ja., Konovalov P.A., Kul'chickij G.B., Mariupol'skij L.G., Fajans B.L., Fedorovskij V.G., Jekimjan N.B., Knjazev V.S., Sturov V.I., Trofimenkov Ju.G., Kisin B.F., Leshhin G.M., Pjarnpuu Z.K., Sokolova V.F., Sominskaja B.S., Hanin R.E., Sherman A.A., Luga A.A., Glotov N.M., Zavriev K.S., Golosov V.N., Korovin N.N., Jakushin V.A., Timofeev S.V., Gol'dfel'd I.Z., Trofimov V.L., Berman V.I., Perlej E.M., Serebro A.Ja., Kovalev Ju.I., Vorobkov L.N., Doroshkevich N.M., Lekumovich G.S., Luchkovskij I.Ja., Hamov A.P., Bojko I.P., Shvec V.B., Feklin V.I., Vasserman S.N., Shahirev B.V., Ryzhkov I.B., Tarasov V.L., Bartolomej A.A., Grigorjan A.A., Sorochan E.A., Jushin A.I., Il'ichev V.A., Mongolov Ju.V., Shaevich V.M., Grib S.I., Zhukov N.V., Balov I.L., Karabanova L.N. Rukovodstvo po proektirovaniju svajnyh



fundamentov [Guidelines for the design of pile foundations]. М.: Strojizdat, 1980.
153р.

Дата поступления: 15.09.2024

Дата публикации: 29.10.2024