



Анализ результатов численного моделирования конструкций пролетного строения

Е.Н. Сорокина, А.Н. Леонова

Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар

Аннотация: В статье представлено сравнение способов моделирования фундамента конструкции пролетного строения технологического перехода на вечномерзлых грунтах в программном комплексе ЛИРА-САПР 2015. Численное моделирование такими способами, как защемление (наложение связей) и моделирование свайного фундамента и грунтового основания показали значительную разницу в расчетных значениях. Проведенные исследования подтверждают необходимость расчета подобного типа строительных конструкций с учетом влияния грунтового основания.

Ключевые слова: пролетное строение, технологический переход, свая, основание, фундамент, мерзлый грунт, ЛИРА-САПР 2015, прочность, жесткость, устойчивость, модель грунта.

В настоящее время расчет строительных конструкций и их проектирование сложно представить без использования автоматизированных средств, таких, как расчетные программные комплексы. Особенно это касается расчета сооружений сложной конструктивной системы или сооружений, при расчете которых необходимо учесть множество различных факторов, одновременно влияющих на работу конструкции. Один из таких факторов - основание и фундамент сооружения. Под основанием сооружения понимают вечномерзлые грунты, сложенные слоями с нетипичными физико-механическими характеристиками [1].

В данной работе рассмотрен способ моделирования свайного фундамента и грунтового основания в программном комплексе ЛИРА-САПР 2015 и сопоставление его с моделированием свайного фундамента и расчетом способом наложения связей.

В качестве объекта исследования была выбрана расчетная модель технологического перехода через реку пролетом 60 метров, фундаментом которого являются металлические сваи, обвязанные балочным ростверком.

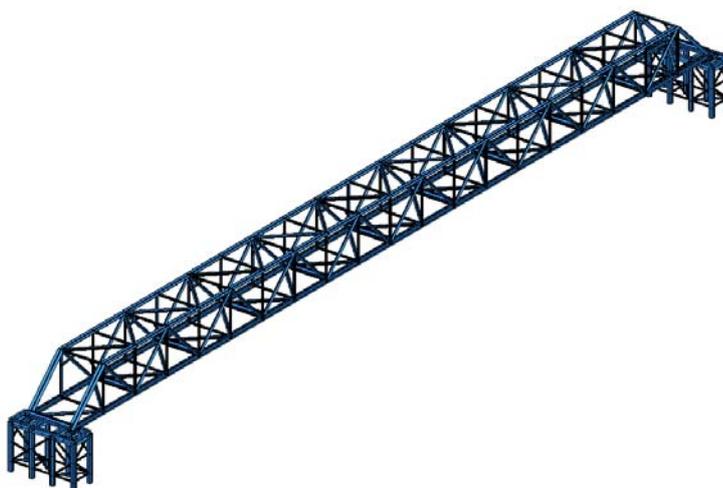


Рис. 1 - 3д модель технологического перехода

В административном отношении конструкция перехода находится в северной части Ненецкого автономного округа Архангельской области Российской Федерации, имеет длину 60 метров со свайным фундаментом. В качестве сваи принята металлическая труба сечением 325x8 по ГОСТ 8732-78, марка стали 09Г2С, длиной 12 метров [2] в соответствии с требованиями табл. 6.1 СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах». Глубина промерзания-оттаивания составляет 3 метра.

Геологические условия: основание сложено следующими инженерно-геологическими элементами (далее ИГЭ):

ИГЭ-1. Суглинок твердомерзлый, слабобльдистый, слоистой криотекстуры, с включением гальки и гравия до 3-10%. В талом состоянии легкий песчанистый, текучепластичный, сильно - и чрезмернопучинистый, незасоленный.

ИГЭ-2. Суглинок твердомерзлый, слабобльдистый, слоистой криотекстуры, с включением гальки и гравия до 3-10%. В талом состоянии легкий песчанистый, тугопластичный, среднепучинистый, незасоленный.

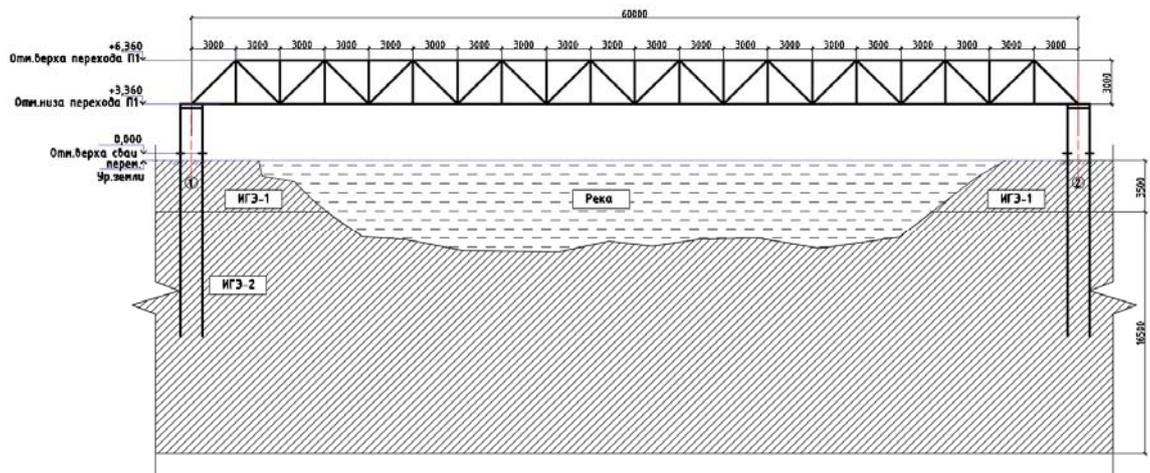


Рис.2 - Инженерно-геологический разрез

Расчет пролетного строения производился в программном комплексе ЛИРА-САПР 2015. В первом случае закрепление конструкции осуществлялось наложением связей по шести направлениям в точках опирания несущих конструкций на сваи [3]. Были получены усилия, действующие на оголовки свай, и дальнейший расчет производился согласно СП25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах»:

- на вдавливающую нагрузку в соответствии с п. 7.2.2. В результате расчета несущая способность основания F_u , вертикально нагруженной висячей сваи равна $F_u = 138,92$ т;

- на выдергивающую нагрузку. В соответствии с 7.4.2 расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания $F_r = 347$ кН = 34,7 т.

- на поперечную силу и изгибающий момент по методикам изложенным в приложении Ж СП 25.13330.2012 и приложении В СП 24.133330.2011 «Свайные фундаменты».

В результате расчетов проверки на воздействие сил морозного пучения и воздействие поперечной силы и изгибающего момента пройдены.

Моделирование свайного фундамента в программном комплексе ЛИРА-САПР 2015 проводилось также с помощью конечного элемента №57[4].

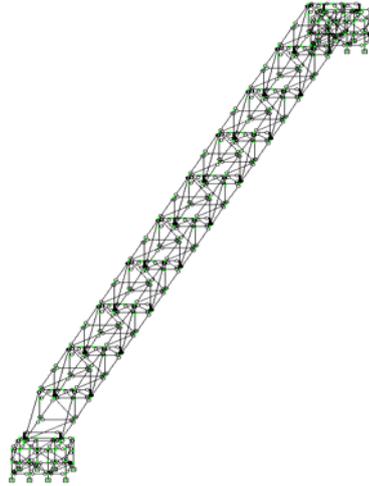


Рис.3 - Расчетная модель при моделировании свай КЭ 57

После создания расчетной модели вычисляется жесткость свай, т.к. данная характеристика позволяет закрепить сооружение на основании.

Погонная вертикальная жесткость R_z вычисляется на основании пунктов 7.4.2-7.4.3 СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты»:

$$R_z = \frac{G_1 \cdot L}{\beta},$$

где G_1 – усредненный модуль сдвига вдоль длины сваи $G_1 = \frac{E_o}{2(1+\nu)}$,

где E_o – модуль общей деформации грунта, мПа;

ν – коэффициент Пуассона;

Погонные жесткости $R_x, R_y, R_{ux}, R_{uy}, R_{uz}$ вычисляются при помощи стержневого суперэлемента, моделирующего тело сваи совместно с окружающим грунтом. Нижний узел (нижний узел пята сваи) суперэлемента закреплен от поворота вокруг оси Z . Выполняется расчет суперэлемента на единичные силы, приложенные вдоль осей X, Y и единичные моменты, приложенные вокруг осей X, Y, Z в пяти загрузениях:

$$R_x = \frac{1}{D_x}; R_y = \frac{1}{D_y}; R_{ux} = \frac{1}{D_{ux}}; R_{uy} = \frac{1}{D_{uy}}; R_{uz} = \frac{1}{D_{uz}}$$

Таким образом, модуль общей деформации грунта E_o и коэффициент Пуассона ν являются характеристиками грунтового основания, позволяющими вычислить жесткости свай, которые в дальнейшем присваиваются конечному элементу №57, тем самым закрепляя сооружение на основании.

Для расчета жесткости свай ЛИРА предлагает пользователю ввести ряд исходных данных, а также создать модель грунта [5].

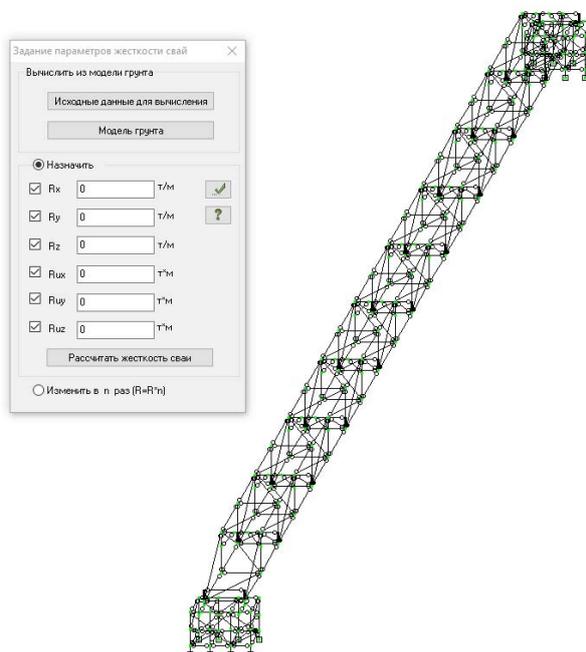


Рис.4 - Задание жесткостей свай

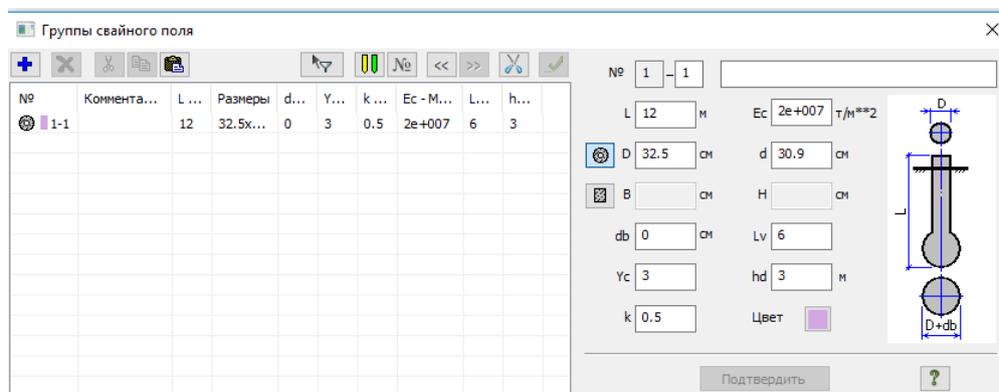


Рис.5 - Задание параметров для расчета жесткостей свай

где: L – длина свай; E_c – модуль упругости стали; D – наружный диаметр свай; d – внутренний диаметр свай; d_b – уширение пяты свай; L_v – количество участков разбиения.

Проектирование свайных фундаментов ведется в соответствии с требованием СП 24.133330.2011 «Свайные фундаменты»: при определении расчетных сопротивлений грунтов на боковой поверхности свай пласты грунтов следует расчленять на однородные слои толщиной не более 2 метров (в соответствии с табл. 7.3 прим.2).

γ_c – коэффициент условий работы. В соответствии с приложением В СП 24.133330.2011 «Свайные фундаменты» для отдельно стоящей сваи равен 3.

h_d – глубина от поверхности земли, на которой не учитывается сопротивление грунта по боковой поверхности. При мерзлых грунтах равно глубине промерзания – оттаивания.

k – коэффициент глубины под пятой сваи; позволяет управлять толщиной учитываемого слоя грунта под пятой сваи при вычислении вертикальной жесткости; принимается равным 0,5 на основании пункта 7.4.3 СП 24.133330.2011 «Свайные фундаменты».

При задании физико-механических свойств грунта коэффициент пропорциональности принимается в зависимости от вида грунта, окружающего сваю, по таблице В.1 СП 24.133330.2011 «Свайные фундаменты». Данный коэффициент необходим при расчете свай на поперечную силу и изгибающий момент[6], но в СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» данный коэффициент определяется по приложению Ж. В итоге, на основании данного приложения значения из таблицы В.1 его понижают на 30%.

Результаты расчета показали следующие расхождения при использовании двух вышеописанных методик закрепления сооружения [7,8,9]:

1. При моделировании свай и грунтового основания опоры перехода прошли проверку по 1 и 2 группам предельных состояний, в то время как при «защемлении» опор процент использования по I ГПС состояний превышал допустимое значение.

2. При моделировании свай и грунтового основания нагрузки, действующие на оголовки свай значительно меньше.

3. При моделировании свай и грунтового основания расчет показал отсутствие выдергивающей нагрузки, действующей на оголовки свай. Так как сваи на вечномёрзлых грунтах рассчитываются на выдергивание [10] с учетом действия сил морозного пучения, то отсутствие выдергивающей нагрузки значительно улучшает работу как отдельно стоящей сваи, так и всего сооружения в целом.

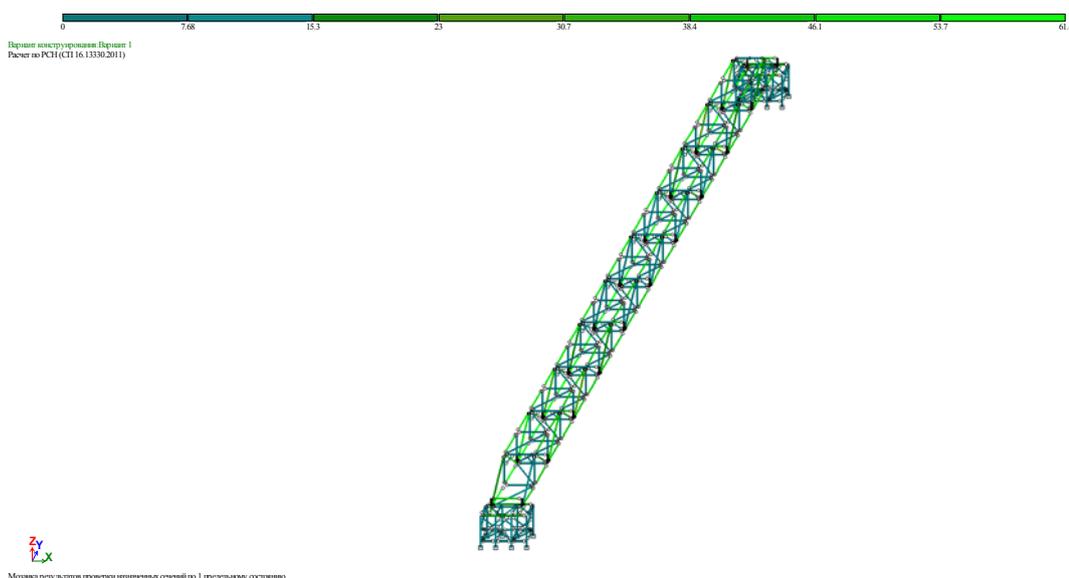


Рис.6 - Проверка сечений по первой группе предельных состояний (при моделировании свайного фундамента и грунтового основания)

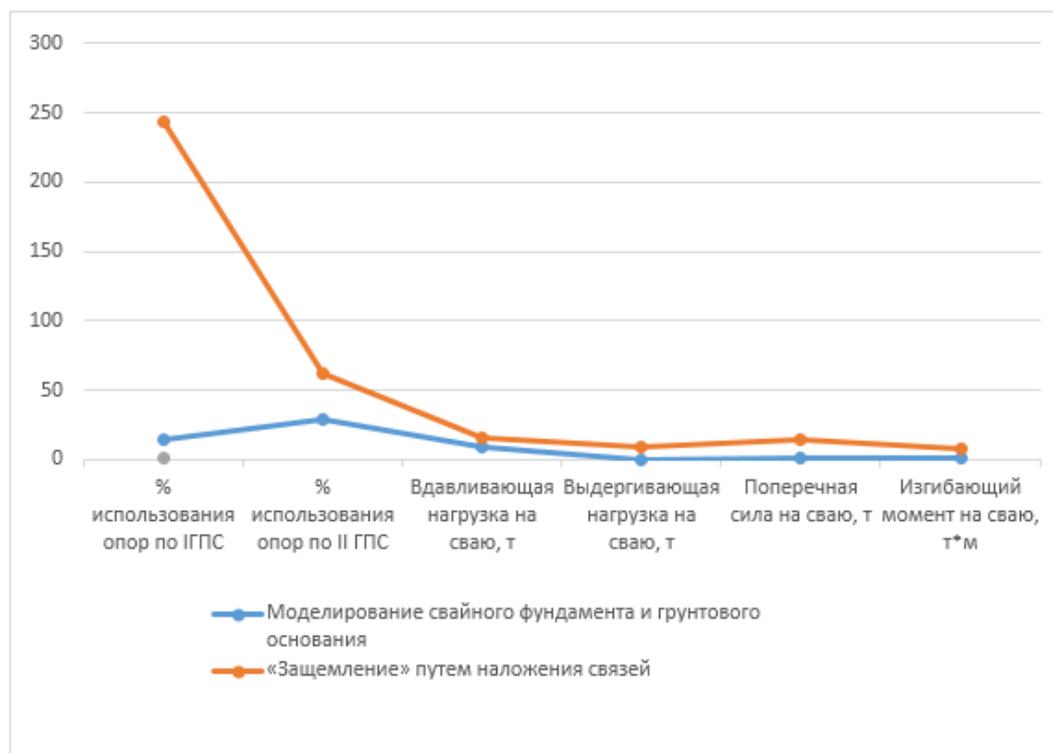


Рис.7 - Сопоставление результатов расчета

Выводы: результаты расчетов показали значительную разницу между нагрузками, действующими на оголовок сваи при двух разных способах моделирования фундамента конструкции пролетного строения в ЛИРА-САПР 2015. Описанные выше результаты исследования подтверждают необходимость расчета строительных конструкций с учетом влияния грунтового основания. Расчет по схеме «сооружение-фундамент-основание» показывает более точные результаты, что в конечном итоге приводит к более грамотному и корректному проектированию такого типа сооружений.

Литература

1. Цытович, Н.А. Механика мерзлых грунтов. Москва: Изд-во Высшая школа, 1973.- 348-353 с.

2. Пассек В.В., Мамчур И.Г., Репко Г.Н. Мостовой переход на вечной мерзлоте. Патент на изобретение RU 2039146 С1, 09.07.1995. Заявка № 93032342/33 от 18.06.1993.

3. Городецкий, А.С; Евзеров, И.Д. Компьютерные модели конструкций. - Киев: Изд-во Факт, 2005.- 46-50 с.

4. Мангушев Р.А., Сахаров И.И., Конюшков В.В., Ланько С.В. Сравнительный анализ численного моделирования системы "здание-фундамент-основание" в программных комплексах Scad и Plaxis Вестник гражданских инженеров. 2010. № 3 (24). С. 96-101.

5. Димитров С.Д. Особенности численного моделирования свайных фундаментов эксплуатируемых объектов. В книге: Смотр-конкурс научных, конструкторских и технологических работ студентов Волгоградского государственного технического университета Тезисы докладов. Редколлегия: Кузьмин С.В. [и др.]. 2019. С. 381.

6. Павлюк А.И., Пархоменко Н.А. Особенности создания внутренней разбивочной сети при сооружение опор мостового перехода через р. УГРА // В сборнике: Молодежная наука 2018: исследования, технологии, инновации по проблемам геодезии, землеустройства и кадастра Ежегодный сборник научных трудов по мат. XXIV Научно-технической студенческой конференции. 2018. С. 173-176.

7. Liu J., Feng X.T., Ding X.L., Zhang J., Yue D.M. Stability assessment of the three-gorges dam foundation, China, using physical and numerical modeling-part i: physical model tests // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2003. Т. 40. № 5. С. 609-631.

8. Kupchikova N. Determination of pressure in the near-ground space pile terminated and broadening of the surface // В сборнике: MATEC Web of Conferences 2018. С. 04062.

9. Гусев Г.Н., Ташкинов А.А. Математическое моделирование систем "здание – фундамент – грунтовое основание"// Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки. 2012. № 4 (29). С. 222-226.

10. Кулешов А.П., Пендин В.В. Влияние методики определения свойств грунтов в численных расчетах деформаций/ Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 12. С. 63-74.

References

1. Cytovich, N.A. Mekhanika merzlyh gruntov [Mechanics of frozen soils] Moskva: Izd-vo Vysshaya shkola, 1973. 348-353 p.

2. Passek V.V., Mamchur I.G., Repko G.N. Mostovoj perekhod na vechnoj merzlotе [Bridge crossing on permafrost] Patent na izobretenie RU 2039146 C1, 09.07.1995. Zayavka № 93032342/33 ot 18.06.1993.

3. Gorodeckij, A.S; Evzerov, I.D. Komp'yuternye modeli konstrukcij [Computer models of structures]. Kiev: Izd-vo Fakt, 2005. Pp. 46-50.

4. Mangushev R.A., Saharov I.I., Konyushkov V.V., Lan'ko S.V. Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2010. № 3 (24). pp. 96-101.

5. Dimitrov S.D. Osobennosti chislennogo modelirovaniya svajnyh fundamentov ekspluatiruemyh ob"ektov v knige: Smotr-konkurs nauchnyh, konstruktorskih i tekhnologicheskikh работ studentov Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta Tezisy dokladov. Redkollegiya: S.V. Kuz'min [i dr.]. 2019. p. 381.

6. Pavlyuk A.I., Parhomenko N.A. Molodezhnaya nauka 2018: issledovaniya, tekhnologii, innovacii po problemam geodezii, zemleustrojstva i kadastra. Ezhegodnyj sbornik nauchnyh trudov po mat. XXIV Nauchno-tekhnicheskoy studencheskoj konferencii. 2018. pp. 173-176.



7. Liu J., Feng X.T., Ding X.L., Zhang J., Yue D.M. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2003. Т. 40. № 5. pp. 609-631.
8. Kupchikova N. Determination of pressure in the near-ground space pile terminated and broadening of the surface: MATEC Web of Conferences 2018. p. 04062.
9. Gusev G.N., Tashkinov A.A. Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Fiziko-matematicheskie nauki. 2012. № 4 (29). pp. 222-226.
10. Kuleshov A.P., Pendin V.V. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2017. Т. 328. № 12. pp. 63-74.