

delenija prochnosti po kontrolnym obrazzham [Concretes. Methods for determining the strength of the control samples]. Moscow, Standartinform, 2013. 30 p.

8. Timoshenko S.P., Goodier J. Teorija uprugosti [Theory of elasticity]. Moscow, Nauka, 1975. 576 p.

Краснощечков Юрий Васильевич (Омск, Россия) – доктор технических наук, профес-

сор кафедры строительных конструкций ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: kras1942@mail.ru)

Yuri V. Krasnoshchekov (Omsk, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of building structures, Omsk «SibADI» (644080, Mira, 5 prospect, Omsk, Russian Federation, e-mail: kras1942@mail.ru)

УДК 624.154.1

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА НЕРАВНОМЕРНОСТИ ВЫПУЧИВАНИЯ ВИНТОВЫХ СВАЙ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ НА МЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

В. Н. Кузнецова, М. В. Орёл
Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Россия, г. Омск

Аннотация. Статья посвящена исследованию проблемы потери устойчивости винтовых свай и деформации надземных нефтегазопроводов под действием сил морозного пучения грунтов. Проанализированы характерные особенности неравномерного выпучивания свай. Выявлена и обоснована необходимость разработки методики для оценки неравномерности выпучивания свай на территориях распространения мерзлых грунтов. На основе проведенного исследования предлагаются расчетные формулы, учитывающие нагрузки на винтовую лопасть свай. Приведены результаты расчетов и графические зависимости. На основе проведенного анализа сформулированы соответствующие выводы.

Ключевые слова: винтовая свая, грунт, морозное пучение, нефтегазопровод.

ВВЕДЕНИЕ

Вечномерзлые или многолетнемерзлые грунты обладают рядом особенностей, которые оказывают негативное влияние на любой вид строительства, в том числе и трубопроводное. Для мерзлых, или криогенных, грунтов [1] характерно такое явление, как морозное выпучивание свайных опор нефтегазопроводов, которое происходит за счет перехода накопившейся при оттаивании в грунте влаги в лёд. Оно чаще всего проявляется в местах глубокого сезонного промерзания грунтов [2]. Главной проблемой при этом является то, что выпучивание свай на участках трубопровода происходит неравномерно, что приводит как к деформации самого трубопровода, так и к деформациям различных элементов конструкций опор (ригели, крепежные хомуты и т.д.). В последнее время при возведении газонефтепроводов в условиях Севера и Арктики стали широко применяться винтовые сваи, которые имеют следующие преимущества [3]:

1. выдерживают повышенные нагрузки;
2. винтовая лопасть повышает несущую способность свай;
3. возможен быстрый монтаж свай, а, следовательно, и высокая производительность завинчивающих и буровых машин;
4. отсутствие работ с использованием бетона, как, например, для возведения буронабивных свай;
5. создают меньшее тепловое воздействие на грунт при их завинчивании.

В связи с активным применением винтовых свай в трубопроводном строительстве появилась необходимость в разработке методики для оценки неравномерного выпучивания таких свай на мерзлых грунтах.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА

Механизм неравномерного выпучивания свай достаточно просто выявляется с учетом

РАЗДЕЛ III. СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

концепции пучения цельного мерзлого массива, которая ранее была предложена для объяснения одинакового выпучивания столбов с разной засыпкой. На основе этой концепции в [4] были предложены расчетные схемы для оценки неравномерности выпучивания трубчатых стальных свай.

В связи с изложенным выше необходимо привести расчетную схему винтовой сваи, находящейся в мерзлом пучинистом грунте. На рис. 1 показана одиночная винтовая свая, погруженная в мерзлый грунт на глубину L_{II} . Неподвижность сваи обеспечивается условием:

$$F_{CM} \leq F_{CII} + N, \quad (1)$$

где F_{CM} – сила смерзания сваи с мерзлым грунтом, кН; F_{CII} – сила сцепления сваи с талым грунтом, кН; N – сумма собственного веса сваи и нагрузки на нее, кН.

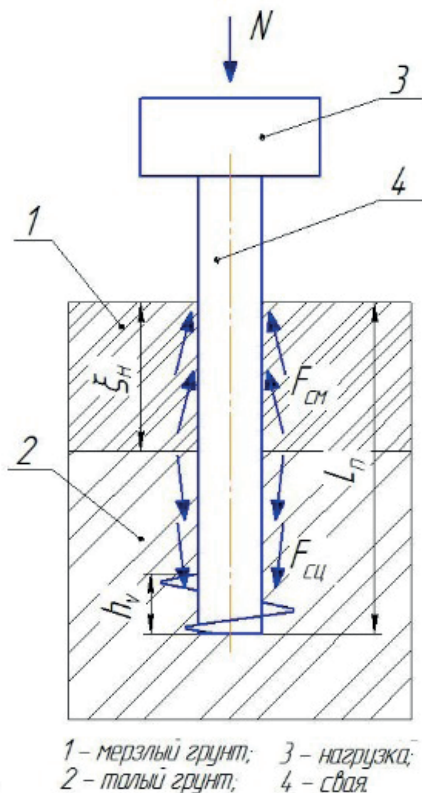


Рисунок 1 – Винтовая свая с нагрузкой в промерзающем грунте

Сумма собственного веса сваи и нагрузки на нее определяется по формуле:

$$N = N_C + N_D, \quad (2)$$

где N_C – вес подземной части сваи, кН; N_D – дополнительная нагрузка, кН.

Вес надземной части сваи учитывается в величине дополнительной нагрузки.

Вес подземной части сваи с учетом [4] определяется по формуле:

$$N_C = 0,91 \cdot L_{II}, \quad (3)$$

где 0,91 – вес 1 метра винтовой сваи, кН; L_{II} – глубина погружения сваи.

В условии (1) F_{CM} не равна силе пучения, а лишь определяет возможность реализации этой силы. О том, что нельзя отождествлять силу смерзания и силу пучения, например, упоминается в [5].

Сила смерзания сваи с мерзлым грунтом по рекомендациям [3] определяется по формуле:

$$N_C = 0,91 \cdot L_{II}, \quad (4)$$

а сила сцепления сваи с талым грунтом определяется из зависимости:

$$N_C = 0,91 \cdot L_{II}, \quad (5)$$

где τ_{CM} – удельная сила смерзания материала сваи с мерзлым грунтом, кПа; τ_{CII} – удельная сила сцепления материала сваи с талым грунтом, кПа; ξ_H – глубина промерзания поверхности грунта, м; P – периметр винтовой сваи по диаметру ствола, м; A_{sh} – площадь поверхности сцепления сваи в талом грунте в пределах винтовой части, м²; A_{fh} – площадь поверхности сцепления сваи в талом грунте без учета винтовой части, м².

Периметр винтовой сваи по диаметру ствола определяется по формуле:

$$P = \pi \cdot d, \quad (6)$$

где d – диаметр ствола винтовой сваи, м.

Площадь поверхности сцепления сваи в талом грунте в пределах винтовой части с учетом [6] и [7] определяется по формуле:

$$A_{sh} = \pi \cdot D \cdot (h_v + D), \quad (7)$$

где D – диаметр лопасти винтовой сваи, м; h_v – высота винтовой части, м.

Площадь поверхности сцепления сваи в талом грунте без учета винтовой части определяется по формуле:

$$A_{\text{пр}} = P \cdot (L_{\text{п}} - \xi_{\text{н}} - h_{\text{в}}), \quad (8)$$

С учетом выполнения равенства левой и правой части условия (1) и формул (2) – (8) можно определить критическое значение глубины промерзания $\xi_{\text{н}}$:

$$\xi_{\text{н}} = \frac{\tau_{\text{цц}} \cdot (A_{\text{ш}} + A) + N}{P \cdot (\tau_{\text{цц}} + \tau_{\text{см}})}, \quad (9)$$

где A – площадь поверхности сваи, погруженной в грунт без учета винтовой части, м².

Площадь поверхности сваи, погруженной в талый и мерзлый грунт без учета винтовой части определяется по формуле:

$$A = P \cdot (L_{\text{п}} - h_{\text{в}}), \quad (10)$$

Параметры $\tau_{\text{см}}$ и $\tau_{\text{цц}}$ зависят от физико-механических характеристик грунтов: литологического состава, влажности, плотности, температуры грунта и других [5]. Эти параметры могут изменяться даже на небольших расстояниях, а, следовательно, и величина

$\xi_{\text{н}}$. Поэтому критическая глубина промерзания, при которой начинается процесс пучения у двух винтовых свай с одинаковыми параметрами N и D может различаться. Свая с меньшей величиной $\xi_{\text{н}}$ подвержена более раннему выпучиванию.

Разница в величине выпучивания двух свай в см по рекомендациям [4] определяется по формуле:

$$\Delta = 100 \cdot \delta \cdot (\xi_{\text{н}1} - \xi_{\text{н}2}),$$

где δ – модуль пучения грунта; $\xi_{\text{н}1}$ – глубина промерзания поверхности грунта для 1-ой сваи, м; $\xi_{\text{н}2}$ – глубина промерзания поверхности грунта для 2-ой сваи, м.

Для оценки возможной разницы в величине выпучивания были произведены расчеты для двух одинаковых винтовых свай типа ВСЛМ по ТУ 5264-006-05773342-2007. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

В расчетах принималось условие, что обе сваи являются опорами наземного нефтегазопровода, сооруженного на территории распространения мерзлых грунтов с определенными физико-механическими характеристиками. Диаметр ствола свай равен 325 мм, диаметр лопасти винта – 408 мм, длина каждой

свай – 6 м и толщина стенки – 10 мм. Высота винтовой части свай равна 400 мм. Для обеих

свай также принимается $\tau_{\text{цц}1} = \tau_{\text{цц}2} = 30$ кПа; удельное смерзание второй сваи с мерзлым

грунтом $\tau_{\text{см}2} = 60$ кПа; удельное смерзание

первой сваи с мерзлым грунтом $\tau_{\text{см}1}$ изменяется и условно составляет 80 и 100 кПа; модуль пучения принимаем 0,15. Для анализа полученных данных и сравнения результатов при расчетах изменяются также глубина погружения обеих свай, которая условно составляет 2, 3 и 4 м; и величина дополнительной нагрузки – 2, 6 и 10 кН.

Полученные значения дают оценку неравномерного выпучивания двух винтовых свай, происходящего за год эксплуатации возведенного нефтегазопровода.

Для двух винтовых одиночных свай, находящихся в грунтах с различными характеристиками, по полученным значениям построены соответствующие графики. Зависимость величины неравномерности выпучивания от нагрузки на винтовые сваи при одинаковой глубине погружения (2 м) представлена на рис. 2, на рис. 3 – зависимость неравномерности выпучивания от глубины погружения свай в грунт при постоянной нагрузке, например, 2 кН.

Данная методика в большей степени применима для расчета деформаций свайного основания в супесях, глинистых и суглинистых грунтах. В песчаных грунтах явление выпучивания наблюдается при обильном насыщении талых грунтов водой [8]. Талый грунт образует замкнутую систему, поскольку мерзлый грунт не пропускает воду. Во время промерзания этого замкнутого пространства, возрастает давление грунта вместе с водой, которые образуют одну структуру. Когда величина этого давления становится больше силы промерзания замкнутой полости, свая выдавливается вверх.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов расчета по представленной выше методике позволяет сделать следующие выводы:

1. Неравномерность выпучивания двух винтовых свай, расположенных в разных грунтовых условиях, в большей степени зависит от различий в силе смерзания материала свай с промерзающим грунтом. При увеличении силы смерзания материала одной сваи с грунтом на

**РАЗДЕЛ III.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**

Таблица 1 – Оценка неравномерного выпучивания винтовых свай

$\tau_{см1}$, кПа	L_{II} , м	N_C , кН	N_D , кН	$N = N_C + N_D$, кН	ξ_{H1} , м	ξ_{H2} , м	Δ , см
80	2	1,82	2	3,82	0,747	0,913	2,5
	3	2,73	2	4,73	1,028	1,256	3,4
	4	3,64	2	5,64	1,309	1,599	4,4
100	2	1,82	2	3,82	0,632	0,913	4,2
	3	2,73	2	4,73	0,870	1,256	5,8
	4	3,64	2	5,64	1,070	1,599	7,4
80	2	1,82	6	7,82	0,783	0,956	2,6
	3	2,73	6	8,73	1,063	1,300	3,6
	4	3,64	6	9,64	1,344	1,643	4,5
100	2	1,82	6	7,82	0,662	0,956	4,4
	3	2,73	6	8,73	0,900	1,300	6
	4	3,64	6	9,64	1,137	1,643	7,6
80	2	1,82	10	11,82	0,818	1,000	2,7
	3	2,73	10	12,73	1,099	1,343	3,7
	4	3,64	10	13,64	1,380	1,686	4,6
100	2	1,82	10	11,82	0,692	1,000	4,6
	3	2,73	10	12,73	0,930	1,343	6,2
	4	3,64	10	13,64	1,168	1,686	7,8

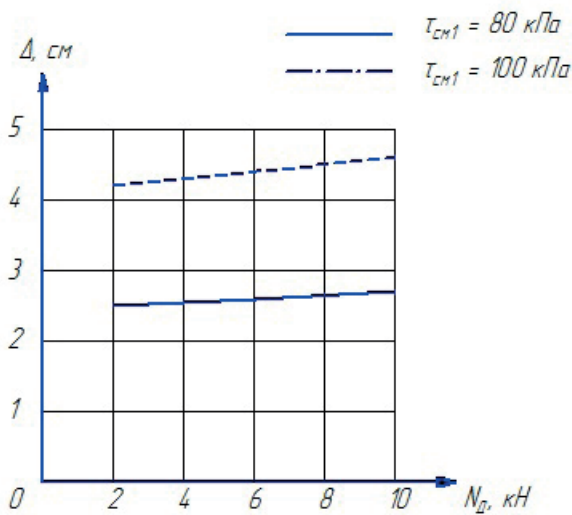


Рисунок 2 – Зависимость разности в величине выпучивания от нагрузки на сваи

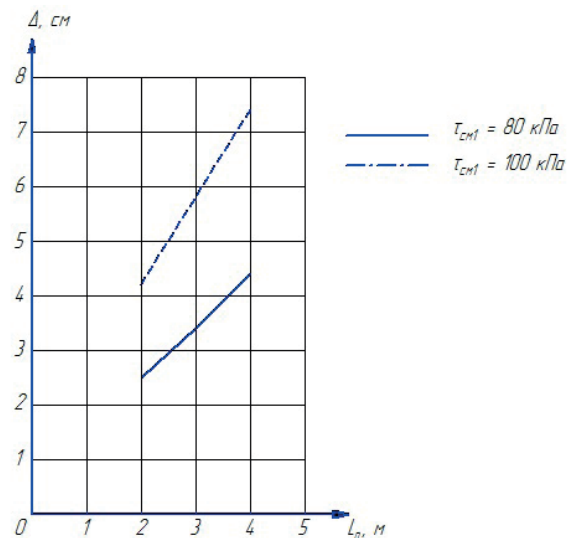


Рисунок 3 – Зависимость разности в величине выпучивания от глубины погружения свай

20 кПа неравномерность выпучивания увеличивается в пределах от 1,7 до 3,2 см в год.

2. В одинаковых грунтовых условиях величина неравномерного выпучивания имеет почти прямо пропорциональную зависимость от глубины погружения сравниваемых свай, т.е. при увеличении глубины погружения свай на 1 м неравномерность выпучивания за год возрастает примерно на 1 см.

3. Возрастание нагрузки от нефтегазопровода на сравниваемые сваи мало влияет на

величину неравномерного выпучивания. Так, при увеличении нагрузки на сваи от 2 до 10 кН неравномерность выпучивания за год увеличивается на 0,2 см.

Предлагаемые зависимости и результаты проведенных расчетов могли бы использоваться при проектировании новых и оценке деформаций уже возведенных свайных оснований трубопроводов различного назначения на территориях распространения мерзлых грунтов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов А.П. К вопросу о типовых технических решениях по основаниям и фундаментам для криолитозоны / А.П. Попов, В.И. Милованов, В.В. Жмулин, В.А. Рябов, М.А. Бережной // Инженерная геология, 2008, № 3. – С. 22 – 38.

2. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях / под ред. В. А. Кудрявцева. – М.: Изд-во МГУ, 1974. 431 с.

3. Железков В. Н. Винтовые сваи в энергетической и других отраслях строительства: монография – СПб.: Прага, 2004. – 150 с.

4. Марахтанов В. П. Криогенные деформации свайного основания трубопроводов / В. П. Марахтанов // Трубопроводный транспорт. – 2013. – № 5. – С. 18 – 22.

5. Свод правил: СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88. – Введ. 29.12.2011. – Минрегион России, 2011. – 123 с.

6. Стандарт организации: СТО ФСК ЕЭС 56947007-29.120.95-050-2010. Нормы проектирования фундаментов из винтовых свай. – Введ. 18-06-2010. – М.: ОАО «ФСК КЭС», 2010. – 33 с.

7. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов / Н.А. Цытович – М.: Высшая школа. – 1973. – 448 с.

8. Пазиняк В. В. Экспериментальные исследования устойчивости трубопроводов на крупномасштабной грунтовой модели / В. В. Пазиняк, Н. Б. Кутвицкая, М. А. Минкин // Криосфера земли, 2006. т. X, № 1. – С. 51 – 55.

FEATURES OF CALCULATION OF UNEVEN SWELLING SCREW PILES OF OIL AND GAS PIPELINES IN FROZEN GROUND

V. N. Kuznetsova, M. V. Oryol

Abstract. The article is devoted to the problem of buckling of helical piles and deformation of the superstructure of oil and gas pipelines under the action of forces of frost heaving of soils. Analyzed the characteristics of the nonuniform buckling of the piles. Revealed and substantiated the necessity of development of methods for the assessment of uniformity of buckling of piles on the distribution of frozen soils. On the basis of this study offers the calculation formula, taking into account the helical blade of the piles, the results of the calculations, built the graphical dependence, formulates relevant conclusions.

Keywords: screw pile, soil, frost heave, oil and gas pipelines.

REFERENCES

1. Popov A.P. On the issue of standard technical solutions on the basis and foundation for the permafrost zone / A.P. Popov, V.I. Milovanov, V.V. Zhmulin, V.A. Ryabov, M.A. Berezhnaya // Engineering geology, 2008, number 3. – P. 22 – 38.

2. Basis of permafrost prognosis in geotechnical studies / ed. V.A. Kudryavtseva. – M.: MGU, 1974. 431 p.

3. Zhelezkov V.N. Screw piles in the energy and other sectors of construction: monograph / V.N. Zhelezkov – SPb.: Pragma, 2004. – 150 p.

4. Marakhtanov V.P. cryogenic deformation of pile foundation piping / V.P. Marakhtanov // Pipeline transportation. – 2013. – № 5. – P 18 – 22.

5. Rulebook: SP 25.13330.2012. Bases and foundations on permafrost. The updated edition of SNiP 2.02.04-88. – Enter. 29.12.2011. – Russian Ministry of Regional Development, 2011. – 123 p.

6. Standard Organization: STO FGC UES 56947007-29.120.95-050-2010. The rules of foundations design of screw piles. – Enter. 18-06-2010. – M.: JSC “FGC IES”, 2010. – 33 p.

7. Tsytovich N.A. The mechanics of frozen soils / N.A. Tsytovich – M.: Higher School. – 1973. – 448 p.

8. Pazinyak V.V. Experimental investigation of the stability of pipelines on a large-scale ground model / V.V. Pazinyak, N.B. Kutvitskaya, M.A. Minkin // Earth Cryosphere, 2006 m. X, № 1. – P. 51 – 55.

Кузнецова Виктория Николаевна (Омск, Россия) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5 e-mail: dissovetsibadi@bk.ru)

Орёл Максим Владимирович (Омск, Россия) – магистрант факультета «Нефте-

газовая и строительная техника» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5 e-mail: max_94_17@mail.ru)

Kuznetsova Viktoria Nikolaevna (Omsk, Russia) – doctor of technical Sciences, Professor, Department “Operation and service of transport and technological machines and systems in construction” of the “SibADI” (644080, Mira, 5

prospect. Omsk, Russian Federation e-mail: dissovetsibadi@bk.ru)

Oryol Maxim Vladimirovich (Omsk, Russia) – student of the faculty “Oil-and-gas and building technology” of the “SibADI” (644080, Mira, 5 prospect, Omsk, Russian Federation, e-mail: max_94_17@mail.ru)

УДК 69.07

ОЦЕНКА ЭФФЕКТА И ЭФФЕКТИВНОСТИ УСИЛЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ УГОЛКОВЫМИ ОБОЙМАМИ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОБЖАТИЯ

М.В. Мосин

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Россия, г. Омск

Аннотация. В статье приведены проекты усиления типовой железобетонной колонны обоймами различных типов для повышения её несущей способности. Предоставлены технико-экономические показатели усиления колонн: классической металлической обоймой; металлической обоймой с обжатием колонны и обоймой из композиционных материалов. Проведен анализ расчетов стоимости усиления железобетонных колонн. Обоснована актуальность исследований эффекта обжатия железобетонных колонн металлическими обоймами.

Ключевые слова: Усиление колонн, обжатие колонн, эффект обоймы, металлическая обойма, эффективность усиления, обжатие колонн, железобетонные колонны.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с моральным и физическим износом производственного и жилого фондов существует потребность в усилении несущих конструкций зданий, и в частности железобетонных колонн. В сложных экономических условиях необходимо отдавать предпочтение наиболее эффективным и надежным конструктивным решениям [2,3].

Наиболее распространенным решением усиления железобетонных колонн является использование металлических обойм [4]. С целью повышения эффективности в данной статье предложено использовать обойму с возможностью обжатия. Для оценки эффективности такой обоймы приводится технико-экономическое сравнение с усилениями близкого конструктивного решения. Для сравнения приняты схожие по конструкции способы усиления железобетонных колонн: классическая обойма из прокатных уголков (принятая за прототип) и обойма из композиционных материалов (являющаяся обоймой обжатия).

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ОБОЙМ И ИХ ПРЕДПОСЫЛКИ

При стягивании уголков металлической обоймы возникает эффект внешне схожий с эффектом, возникающим при усилении колонн композиционными материалами, наклеенными в поперечном направлении. Однако, у способа усиления напрягаемыми тяжами имеется существенное преимущество, заключающееся в возможности создания контролируемого предварительного напряжения тяжей, что позволяет обжимать нагруженную конструкцию. Для оценки обжимного действия обоймы учитывается схема работы системы «уголковая обойма – железобетонная колонна». Колонна, обжатая металлической обоймой подвержена сложному напряженному состоянию. Напряжения обжатия образца распределены неравномерно по грани призмы, что связано с особенностью конструктивного исполнения металлической обоймы. Градиент поперечных напряжений обжатия в образце с такой обоймой схож с градиентом в образце,