

УДК 624.139+624.15

А.Н. Сапсай, В.В. Павлов*, В.Д. Кауркин*, А.В. Коргин**

ОАО «АК "Транснефть"», *ОАО «Гипротрубопровод»,

**ФГБОУ ВПО «МГСУ»

ВНЕДРЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ГРУНТОВ НА ОБЪЕКТАХ НПС-2 МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА «КУЮМБА — ТАЙШЕТ»

Представлен опыт проектирования оснований и фундаментов площадки НПС-2 магистрального трубопровода «Куюмба — Тайшет». Даны обоснования выбора технических решений по результатам проведения комплексных теплотехнических расчетов.

Ключевые слова: магистральный трубопровод, Куюмба — Тайшет, теплотехнический расчет, несущая способность, свайные фундаменты, термостабилизатор грунтов, проветриваемое подполье, эквивалентная температура.

Территория строительства НПС-2 магистрального трубопровода «Куюмба — Тайшет» характеризуется сложными инженерно-геокриологическими условиями. Практически вся территория сложена многолетнемерзлыми грунтами (ММГ) сливающегося и несливающегося типов. Талые грунты распространены локально и занимают не более 20 % территории. Геологический разрез площадки представлен суглинками с включениями щебня и гравия, а также щебенистыми грунтами. По температурному состоянию грунты пластичномерзлые (биогенные, глинистые и песчаные грунты) и твердомерзлые (крупнообломочные и скальные — полускальные грунты). Температура грунтов на глубине 10 м изменяется от положительных значений до $-0,8$ °C (среднее значение $-0,2$ °C).

На основании анализа данных инженерно-геологических изысканий, в качестве принципа использования грунтов основания был выбран Принцип I, т.е. использование ММГ в мерзлом состоянии в процессе строительства и эксплуатации зданий и сооружений [1—7]. Выбор принципа использования грунтов основания обосновывается следующими факторами:

- 1) наличие ММГ на 80 % территории площадки;
- 2) отсутствие достаточно широкого распространения скальных грунтов неглубокого заложения под проектируемыми зданиями и сооружениями;
- 3) переход суглинистых грунтов в текучее состояние при оттаивании (по результатам испытаний грунтов горячим штампом показатель текучести суглинистого заполнителя $I_L > 1$).

Учитывая перечисленные факты все каркасные здания и блок-боксы на площадке НПС-2 запроектированы с вентилируемым подпольем. Исключение составляет «Подпорная насосная станция», запроектированная без вентилируемого подполья (плитно-свайный фундамент, низ плиты заглублен на 3 м от поверхности планировки). Здания и сооружения запроектированы на свайном типе фундамента с высоким жестким ростверком. Диаметр свай составляет 325 и 426 мм, общая длина свай 9...12 м (рис. 1). Полная проектная вертикальная нагрузка, передаваемая на сваю, составляет от 10,6 до 50,4 тс.



Рис. 1. Монтаж буропускных свай на НПС-2 трубопровода «Куюмба — Тайшет»

По результатам расчетов, для обеспечения необходимой несущей способности свай, обеспечивающей восприятие передаваемых проектных нагрузок, эквивалентная температура грунта по боковой поверхности свай (T_e) должна составлять не выше $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Учитывая, что на большей территории проектируемой площадки температуры грунтов изменяются в интервале от $-0,1$ до $-0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ необходимы мероприятия по понижению температуры грунтов до расчетных проектных значений.

Для обеспечения понижения температуры грунтов рассматривались следующие варианты технических решений [8—10]:

- применение проветриваемого подполья под зданиями и сооружениями;

- применение проветриваемого подполья совместно с установкой сезоннодействующих охлаждающих устройств (термостабилизаторов грунтов).

Термостабилизаторы грунтов — сезоннодействующие охлаждающие устройства парожидкостного типа, предназначенные для поддержания расчетного температурного режима ММГ оснований зданий и сооружений. Технология монтажа и конструкция проветриваемого подполья с применением термостабилизаторов грунтов были ранее разработаны при проектировании магистрального трубопровода «Заполярье — НПС Пурпе» [11].

Прогнозные теплотехнические расчеты выполнялись по специальной компьютерной программе TermoStab 67-87 (сертификат соответствия РОСС RU.СП15.Н00723) позволяющей моделировать изменения температурного режима вечномёрзлых грунтов в процессе строительства и эксплуатации объекта [12]. Программа позволяет применять как двух-, так и трехмерную схему, что при расчетах, учитывающих работу сезоннодействующих охлаждающих устройств, является определяющим фактором. Прогноз производится для ограниченного грунтового массива путем последовательного расчета температурных полей в этом массиве, с заданным шагом во времени. Прогнозируемый температурный режим в грунтовом массиве определяется совокупностью задаваемых тепловых воздействий на границах расчетной области, а также воздействием внутренних источников тепла (системы термостабилизации грунтов). Подробно, процесс моделирования теплового взаимодействия сооружений с грунтами основания описывается в [13].

Расчеты выполнялись для конкретных мерзлотно-грунтовых условий с учетом изменений температуры воздуха в годовом цикле, условий теплообмена на поверхности (возможное наличие снежного покрова) и в толще грунтового массива (работа термостабилизаторов) [14, 15].

Выполненные прогнозные теплотехнические расчеты показали, что при работе только вентилируемых подполий в основании сооружений площадки НПС-2 (без использования термостабилизаторов) прогнозируется понижение температуры мерзлых грунтов, однако требуемые расчетные температуры для обеспечения несущей способности свай ($-0,5^{\circ}\text{C}$ по боковой поверхности свай и ниже) за один холодный сезон не достигаются. Для участков распространения ММГ сливающегося типа необходимые температуры достигаются только к пятому году эксплуатации (рис. 2), а для участков распространения ММГ несливающегося типа не достигаются и к 10 году (рис. 3).

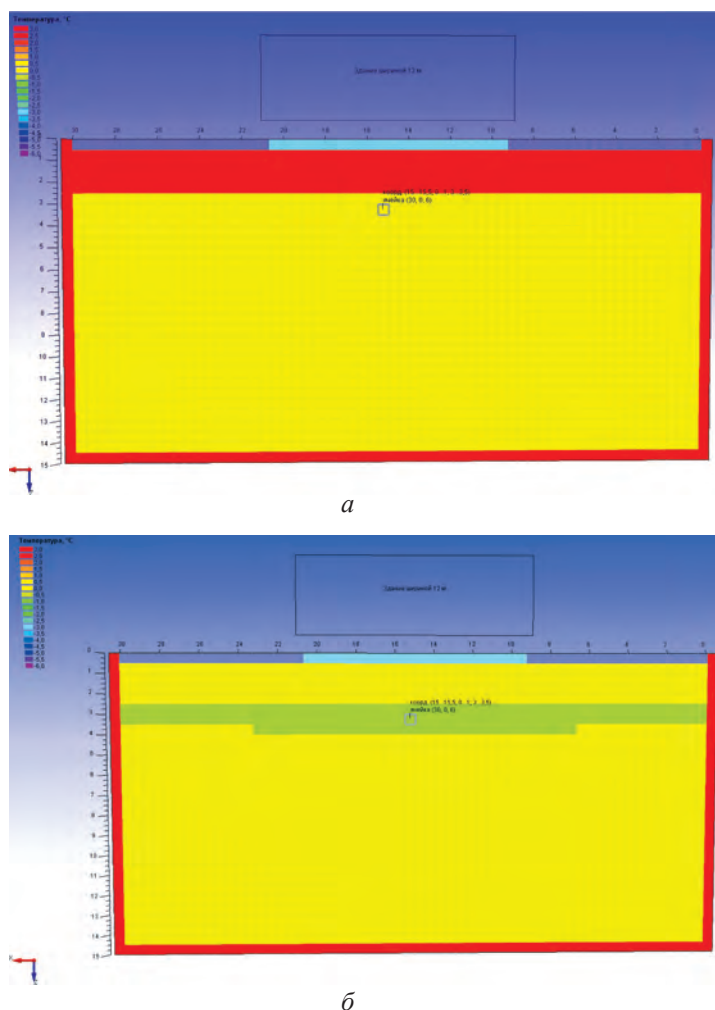


Рис. 2. Фрагменты температурных полей, формирующихся в процессе эксплуатации сооружения с вентилируемым подпольем (без применения термостабилизаторов). ММГ сливающегося типа (начало): а — начальное состояние грунтов основания (температура грунтов от $-0,1$ до $-0,2^{\circ}\text{C}$); б — через 1 год эксплуатации

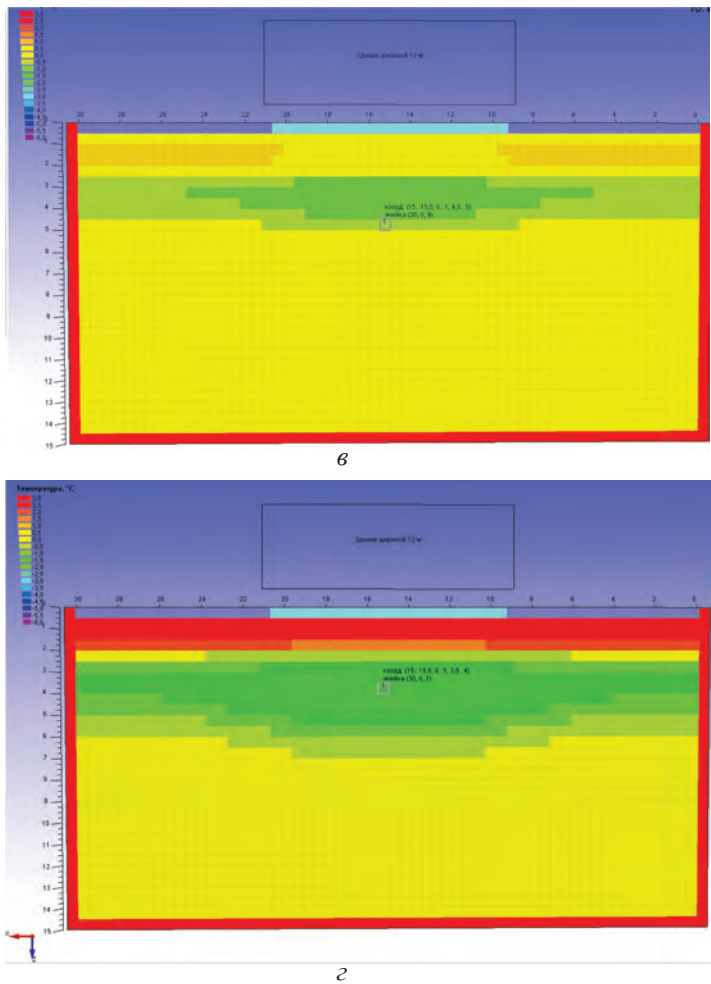


Рис. 2. Фрагменты температурных полей, формирующихся в процессе эксплуатации сооружения с вентилируемым подпольем (без применения термостабилизаторов). ММГ сливающегося типа (окончание): в — через 2 года эксплуатации; г — через 5 лет эксплуатации

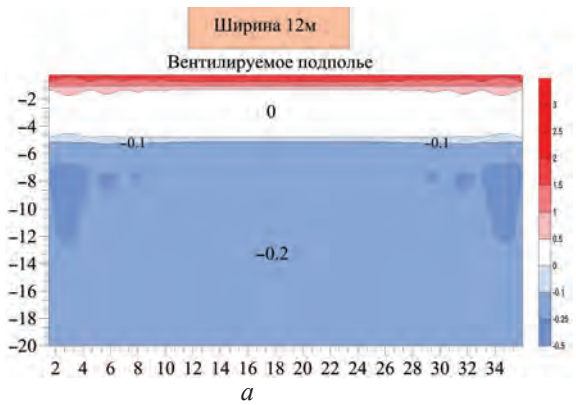


Рис. 3. Фрагменты температурных полей, формирующихся в процессе эксплуатации сооружения с вентилируемым подпольем (без применения термостабилизаторов). ММГ несливающегося типа (начало): а — начальное состояние грунтов основания;

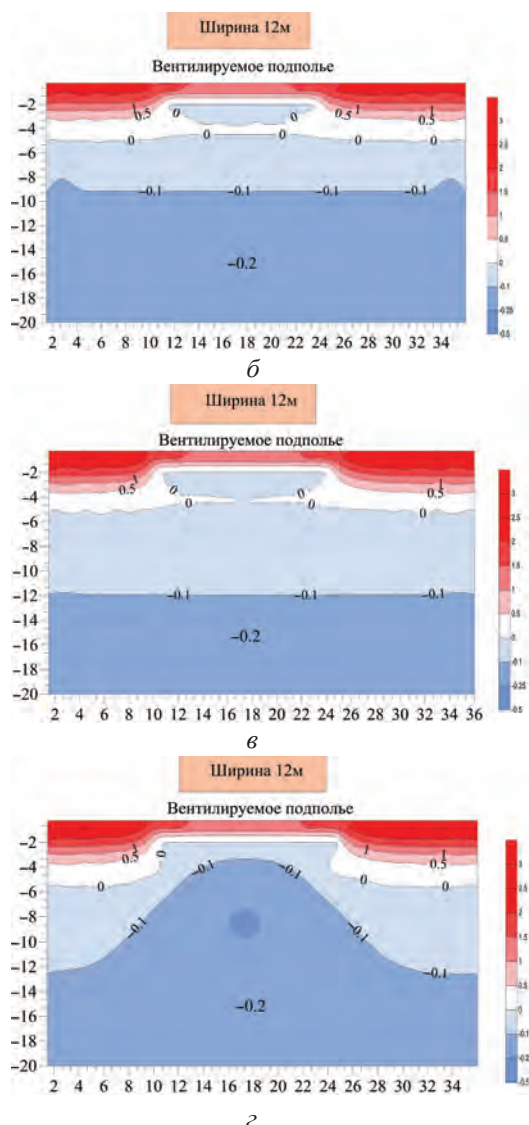


Рис. 3. Фрагменты температурных полей, формирующихся в процессе эксплуатации сооружения с вентилируемым подпольем (без применения термостабилизаторов). ММГ несливающего типа (окончание): а — через 1 год эксплуатации; б — через 5 лет эксплуатации; в — через 10 лет эксплуатации

Прогнозные теплотехнические расчеты для варианта применения проветриваемого подполья совместно с установкой сезонно-действующих охлаждающих устройств (термостабилизаторов) выполнялись для всех зданий и сооружений площадки НПС-2 с учетом геологического разреза, температурного режима грунтов основания, а также схемы расположения свай и нагрузок на сваи.

Схема расстановки термостабилизаторов (ТСГ) подбиралась исходя из необходимости понижения температур грунта до расчетных значений за один полный цикл работы ТСГ. Рассматривались две основные схемы расстановки:

- устройство одного ТСГ возле свай;
- устройство двух ТСГ возле свай.

Общая схема установки ТСГ в подполье здания и сооружений приведена на рис. 4.

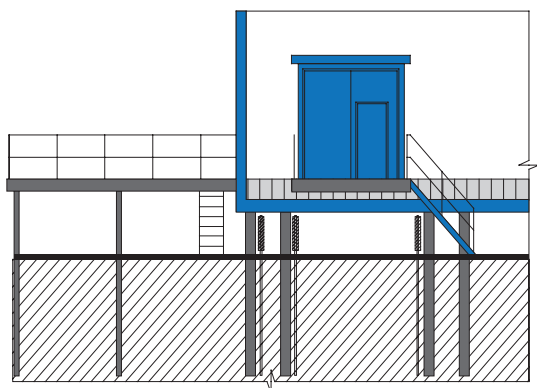


Рис. 4. Схема установки ТСГ в подполье здания и сооружения

Результаты теплотехнических расчетов приведены в виде графиков и фрагментов температурных полей на рис. 5 и 6.

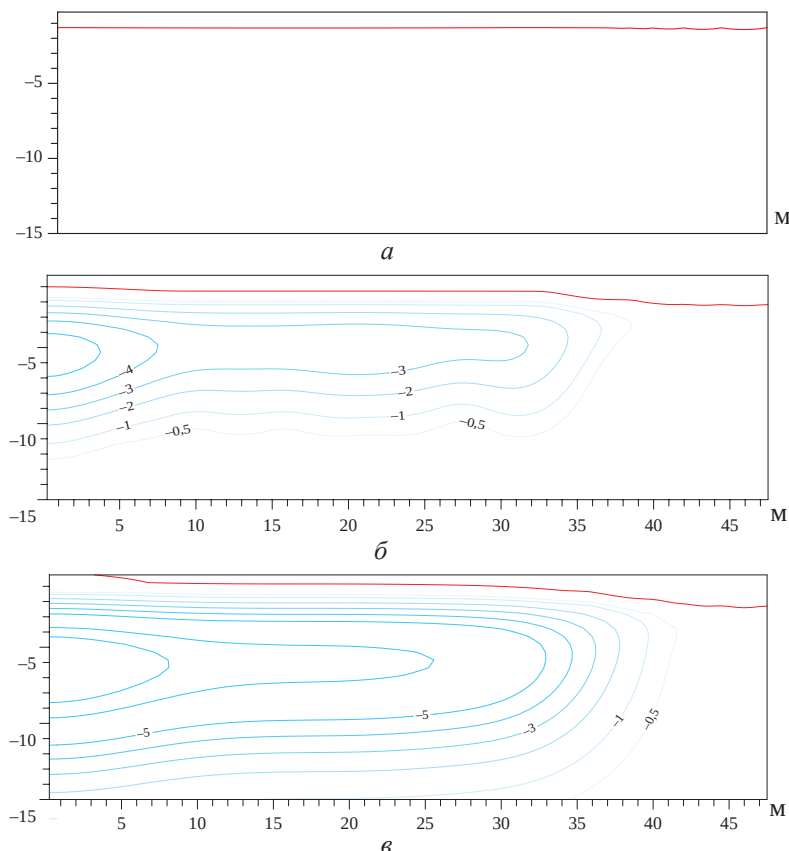


Рис. 5. Фрагменты температурных полей, формирующихся в процессе эксплуатации сооружения при применении термостабилизаторов. Температурные поля приведены по поперечному разрезу сооружения: а — начальное состояние температурного поля грунтов (температура ММГ $-0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$); б — через 1 полный цикл работы ТСГ на 1 октября; в — через 5 полных циклов работы ТСГ на 1 октября

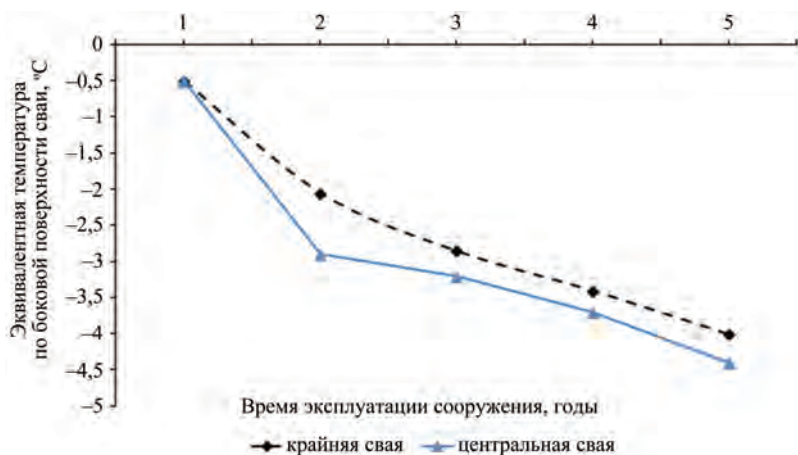


Рис. 6. График изменения эквивалентной температуры грунта T_e , °C, по боковой поверхности свай в процессе эксплуатации сооружения с применением термостабилизаторов

Как показали результаты прогнозных теплотехнических расчетов, при использовании термостабилизаторов грунтов и работы вентилируемых подполей под зданиями площадки НПС-2 происходит понижение температуры грунтов основания до требуемых значений, при которых обеспечивается несущая способность свай за один холодный сезон (эквивалентная температура грунта по боковой поверхности свай должна быть $-0,5$ °C).

Выводы. Выбор Принципа I использования грунтов основания зданий и сооружений площадки НПС-2 магистрального трубопровода «Куюмба — Тайшет» основывается на анализе материалов инженерных изысканий свидетельствующих:

- о наличии ММГ на 80 % территории площадки;
- отсутствии достаточно широкого распространения скальных грунтов неглубокого заложения под проектируемыми зданиями и сооружениями;
- переходе суглинистых грунтов в текучее состояние при оттаивании (по результатам испытаний грунтов горячим штампом показатель текучести суглинистого заполнителя $I_L > 1$).

По результатам выполненных расчетов, для обеспечения необходимой несущей способности свай, обеспечивающей восприятие передаваемых проектных нагрузок, эквивалентная температура грунта по боковой поверхности свай T_e должна составлять не выше $-0,5$ °C. Учитывая, что на большей территории проектируемой площадки температуры грунтов изменяются в интервале от $-0,1$ до $-0,3$ °C, необходимы мероприятия по понижению температуры грунтов до расчетных проектных значений.

Выполненные теплотехнические расчеты показали что применение только вентилируемого подполья в основании сооружений площадки НПС-2 прогнозируется понижение температуры мерзлых грунтов, однако требуемые расчетные температуры для обеспечения несущей способности свай ($-0,5$ °C по боковой поверхности свай и ниже) за один холодный сезон не достигаются.

Достижение требуемых расчетных температур за один холодный сезон обеспечивается совместной работой вентилируемого подполья и систем термостабилизации грунтов, что подтверждается результатами теплотехнических расчетов.

Библиографический список

1. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений // Минрегион России. М. : ОАО «ЦПП», 2011. 164 с
2. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты // Минрегион России. М. : ОАО «ЦПП», 2011. 90 с.
3. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. М. : Минрегион России, 2012. 123 с.
4. Руководство по проектированию оснований и фундаментов на вечномёрзлых грунтах / НИИ оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова. М. : Стройиздат, 1980. 305 с.
5. *McFadden T.T., Lawrence Bennett F.* Construction in Cold Regions: A Guide for Planners, Engineers, Contractors, and Managers (Wiley Series of Practical Construction Guides). Wiley-Interscience; 1 edition. October 1991. 640 p.
6. *Tiratsoo J.* Trans Alaska Pipeline System. Pipelines International, ISSUE 004. June 2010. Режим доступа: http://pipelinesinternational.com/news/trans_alaska_pipeline_system/041523. Дата обращения: 05.04.2014.
7. Modelling tools aid in Arctic pipeline design // Pipeline international magazine. September 2009. Pp. 48—49.
8. Основы геокриологии. Ч. 5. Инженерная геокриология / под ред. Э.Д. Ершова. М. : Изд-во МГУ, 1999. 526 с.
9. *Хрусталева Л.Н.* Основы геотехники в криолитозоне. М. : Изд-во МГУ, 2005. 544 с.
10. *Карнаухов Н.Н., Кушинир С.Я., Горелов А.С., Долгих Г.М.* Механика мерзлых грунтов и принципы строительства нефтегазовых объектов в условиях Севера. М. : Изд-во ЦентрЛитНефтеГаз, 2008. 430 с.
11. *Лисин Ю.В., Сощенко А.Е., Павлов В.В., Коргин А.В., Суриков В.И.* Технические решения по температурной стабилизации многолетнемерзлых грунтов оснований объектов трубопроводной системы «Заполярье — НПС «Пур-Пе» // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 1. С. 65—68.
12. РСН 67—87. Инженерные изыскания для строительства. Составление прогноза изменений температурного режима вечномёрзлых грунтов численными методами. М. : Госстрой РСФСР, 1988. 40 с.
13. *Лисин Ю.В., Сапсай А.Н., Павлов В.В., Зотов М.Ю., Кауркин В.Д.* Выбор оптимальных технических решений по прокладке нефтепровода для обеспечения надежной эксплуатации трубопроводной системы «Заполярье — НПС Пурпе» на основе прогнозных теплотехнических расчетов // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2014. № 1. С. 3—7.
14. *Пархаев Г.В., Щелоков В.К.* Прогнозирование температурного режима вечномёрзлых грунтов на застраиваемых территориях. Л. : Стройиздат, 1980. 112 с.
15. *Стрижков С.Н.* Снижение техногенного воздействия зданий и сооружений на грунтовые основания и их геомониторинг в криолитозоне // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 11. С. 8—12.

Поступила в редакцию в июле 2014 г.

Об авторах: **Сапсай Алексей Николаевич** — вице-президент, **ОАО «АК «Транснефть»**, 119180, г. Москва, ул. Большая Полянка, д. 57, 8 (495) 950-81-78, transneft@ak.transneft.ru;

Павлов Вячеслав Владимирович — главный инженер, **ОАО «Гипротрубопровод»**, 119334, г. Москва, ул. Вавилова, д. 24, корп. 1, 8 (495) 950-86-50, gtp@gtp.transneft.ru;

Кауркин Василий Дмитриевич — кандидат геолого-минералогических наук, главный специалист отдела инженерной защиты, **филиал ОАО «Гипротрубопровод» — «Москагипротрубопровод»**, 119334, г. Москва, ул. Вавилова, д. 24, корп. 1, 8 (495) 950-87-51 вн. 14-81, KaurkinVD@gtp.transneft.ru;

Коргин Андрей Валентинович — доктор технических наук, профессор, научный руководитель Научно-образовательного центра инженерных исследований и мониторинга строительных конструкций кафедры испытаний сооружений, **Московский государственный строительный университет (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, 8 (499) 183-56-83, korguin@mgsu.ru.

Для цитирования: *Сапсай А.Н., Павлов В.В., Кауркин В.Д., Коргин А.В.* Внедрение и развитие технологий термостабилизации грунтов на объектах НПС-2 магистрального трубопровода «Куюмба — Тайшет» // Вестник МГСУ. 2014. № 8. С. 62—72.

A.N. Sapsay, V.V. Pavlov, V.D. Kaurkin, A.V. Korgin

INTRODUCTION AND DEVELOPMENT OF SOIL THERMAL STABILIZATION TECHNOLOGIES AT THE OBJECTS OF OIL PUMPING STATION-2 (OPS-2) OF "KUYUMBA — TAYSHET" TRUNK OIL PIPELINE

The article deals with the questions of designing the foundations for the Oil Pumping Station-2 site of "Kuyumba — Tayshet" trunk oil pipeline. The problems of choice and grounds for technical solutions are considered basing on the results of complex thermo-technical calculations.

The construction territory of OPS-2 site of "Kuyumba — Tayshet" trunk oil pipeline is characterized by complex engineering and geocryological conditions:

- 1) presence of permafrost soil on 80 % of the site area;
- 2) absence of sufficiently widespread rocky soils under designed buildings and constructions;
- 3) transition of loamy grounds into yield during thawing.

The buildings and facilities are designed on the basis of pile foundation type with high rigid foundation grill. The piles' diameter is 325 mm and 426 mm, the total length of piles is 9—12 m. The full designed vertical loading, transferred to the pile, is ranging from 10.6 to 50.4 tf.

According to the results of the calculations, in order to provide the necessary bearing capacity of piles, securing the perception of transmitted designed loadings, the equivalent temperature of the soil along the side surface of piles (T_e) should not be higher than -0.5°C . Taking into account that the soil temperatures on the projected site mainly range from -0.1 to -0.3°C , in order to lower their temperatures to the calculated values ventilated underground areas are arranged under the buildings and facilities and seasonally active cooling devices (soil thermal stabilizers) are installed.

Assembly technique and construction of ventilated underground areas with application of soil thermal stabilizers were developed earlier while designing the pipeline system "Zapolyarye — Oil Pumping Station Purpe".

For confirmation of the accepted decisions forecasting thermotechnical calculations were performed with the use of a special computer program TermoStab 67-87, which allows simulating the changes of temperature regimes of the permafrost in the process of construction and operation of the facility.

As a result of thermo-technical calculations, in case of operation of ventilated underground areas only, in the foundation of the facilities at the OPS-2 site (without the application of thermal stabilizers) a reduction in temperature of frozen soils is predicted, however, the required design temperatures, necessary for providing the bearing capac-

ity of piles (-0.5°C on their side surfaces and below), in one cold season cannot be achieved. For the areas of the distribution of the confluent type of the permafrost the necessary temperatures are achieved only by the 5th year of operation, and for the areas of distribution of non-confluent type of permafrost such temperatures are not achieved even by the 10th year of operation. A joint operation of the ventilated underground areas and soil thermal stabilization systems is conducive to the reduction of soil temperature of the buildings and facilities' foundations up to the required values, which secure the load-bearing capacity of piles for one cold season.

Key words: major pipeline, "Kuyumba-Tayshet", thermotechnical calculation, bearing capacity, pile foundations, thermal stabilizer of soils, ventilated underground area, equivalent temperature.

References

1. SP 22.13330.2011. *Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy* [Requirements 22.13330.2011. Foundations for Buildings and Structures]. Minregion Rossii, Moscow, OAO «TsPP» Publ., 2011, 164 p.
2. SP 24.13330.2011. *Svaynye fundamenty* [Requirements SP 24.13330.2011. Pile Foundations]. Minregion Rossii, Moscow, OAO «TsPP» Publ., 2011, 90 p.
3. SP 25.13330.2012. *Osnovaniya i fundamenty na vechnomerzlykh gruntakh* [Requirements SP 25.13330.2012. Soil Bases and Foundations on Permafrost Soils]. Moscow, Minregion Rossii, 2012, 123 p.
4. *Rukovodstvo po proektirovaniyu osnovaniy i fundamentov na vechnomerzlykh gruntakh* [Manual for Designing the Bases and Foundations on Permafrost Soils]. The Gershevanova Institute — Research Studies Institute of Foundations and Underground Structures, Moscow, Stroyizdat Publ., 1980, 305 p.
5. McFadden T.T., Lawrence Bennett F. *Construction in Cold Regions: A Guide for Planners, Engineers, Contractors, and Managers* (Wiley Series of Practical Construction Guides). Wiley-Interscience; 1 edition, October 1991, 640 p.
6. Tiratsoo J. Trans Alaska Pipeline System. *Pipelines International*, ISSUE 004, June 2010. Available at: http://pipelinesinternational.com/news/trans_alaska_pipeline_system/041523. Date of access: 05.04.2014.
7. Modelling Tools Aid in Arctic Pipeline Design. *Pipeline International Magazine*. September 2009, pp. 48—49.
8. Ershov E.D., editor. *Osnovy geokriologii. Ch. 5. Inzhenernaya geokriologiya* [Fundamentals of Geocryology. Part 5. Engineering Geocryology]. Moscow, MGU Publ., 1999, 526 p.
9. Khrustalev L.N. *Osnovy geotekhniki v kriolitozone* [Fundamentals of Geotechnical Engineering in Permafrost]. Moscow, MGU Publ., 2005, 544 p.
10. Karnaukhov N.N., Kushnir S.Ya., Gorelov A.S., Dolgikh G.M. *Mekhanika merzlykh gruntov i printsipy stroitel'stva neftegazovykh ob'ektov v usloviyakh Severa* [Frozen Soil Mechanics and Principles of Construction of Oil and Gas Facilities in the North Conditions]. Moscow, TsentrLitNefteGaz Publ., 2008, 430 p.
11. Lisin Yu.V., Soshchenko A.E., Pavlov V.V., Korgin A.V., Surikov V.I. *Tekhnicheskie resheniya po temperaturnoy stabilizatsii mnogoletnemerzlykh gruntov osnovaniy ob'ektov truboprovodnoy sistemy «Zapolyar'e — NPS "Pur-Pe"»* [Technical Solutions for Temperature Stabilization of Permafrost Grounds of the Objects of "Zapolyarye-OPS Purpe" Pipeline System]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2014, no. 1, pp. 65—68.
12. RSN 67—87. *Inzhenernye izyskaniya dlya stroitel'stva. Sostavlenie prognoza izmeneniy temperaturnogo rezhima vechnomerzlykh gruntov chislennymi metodami* [RSN 67—87. Engineering Surveys for Construction. Forecasting Changes in Temperature Regime of Permafrost Soils Using Numerical Methods]. Moscow, Gosstroy RSFSR Publ., 1988, 40 p.
13. Lisin Yu.V., Sapsay A.N., Pavlov V.V., Zotov M.Yu., Kaurkin V.D. *Vybor optimal'nykh tekhnicheskikh resheniy po prokladke nefteprovoda dlya obespecheniya nadezhnoy ekspluatatsii truboprovodnoy sistemy «Zapolyar'e — NPS Purpe» na osnove prognoznnykh teploekhnicheskikh raschetov* [The Choice of Optimal Technical Solutions on Oil Pipeline Laying for Ensuring Reliable Operation of the Pipeline System "Zapolyarye-OPS Purpe" on the Basis of Expected Thermo-Technical Calculations]. *Transport i khraneniye nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya* [Transport and Storage of Oil and Hydrocarbon Feedstock]. 2014, no. 1, pp. 3—7.

14. Parkhaev G.V., Shchelokov V.K. *Prognozirovanie temperaturnogo rezhima vechno-merzlykh gruntov na zastraivaemykh territoriyakh* [Predicting a Temperature Regime of the Permafrost Soil on Built-up Territories]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1980, 112 p.

15. Strizhkov S.N. Snizhenie tekhnogennogo vozdeystviya zdaniy i sooruzheniy na gruntovye osnovaniya i ikh geomonitoring v kriolitozone [Reduction of Technogenic Influence of Buildings and Facilities on the Soil Bases and their Geomonitoring in the Permafrost Zone]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering]. 2013, no. 11, pp. 8—12.

About the authors: **Sapsay Aleksey Nikolaevich** — Vice-President, **JSC "Transneft"**, 57 Bolshaya Polyanka str., Moscow, 119180, Russian Federation; +7 (495) 950-81-78; transneft@ak.transneft.ru;

Pavlov Vyacheslav Vladimirovich — Chief Engineer, **OJSC "Giprotruboprovod"**, 24, 1, Vavilov str, Moscow, 119334, Russian Federation; +7 (495) 950-86-50; gtp@gtp.transneft.ru;

Kaurkin Vasiliy Dmitrievich — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Specialist, Department of Engineering Protection, **OJSC "Giprotruboprovod" branch "Moskvagiprotruboprovod"**, 24, 1, Vavilov str, Moscow, 119334, Russian Federation; +7 (495) 950-87-51 (ext. 1481); kaurkinVD@gtp.transneft.ru;

Korgin Andrey Valentinovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Supervisor, Scientific and Educational Center of Constructions Investigations and Examinations, Department of Test of Structures, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; +7 (499) 183-56-83; korguin@mgsu.ru.

For citation: Sapsay A.N., Pavlov V.V., Kaurkin V.D., Korgin A.V. Vnedrenie i razvitie tekhnologiy termostabilizatsii gruntov na ob"ektakh NPS-2 magistral'nogo truboprovoda «Kuyumba — Tayshet» [Introduction and Development of Soil Thermal Stabilization Technologies at the Objects of Oil Pumping Station-2 (OPS-2) of "Kuyumba-Tayshet" Trunk Oil Pipeline]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2014, no. 8, pp. 62—72.