

Строительство объектов топливно-энергетического комплекса в районах распространения ледяных линз и скальных грунтов

Антипина Д.А.

ООО «Тюменский нефтяной научный центр» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Тюмень, Россия
daantipina2@tnnc.rosneft.ru

Аннотация

В статье описываются особенности проектирования и устройства фундаментов зданий и сооружений в сложных геологических условиях, возникающая проблематика при производстве работ и возможные пути ее решения. Рассмотрены варианты стабилизации грунтов основания для предотвращения развития опасных негативных инженерно-геокриологических процессов. Приведены результаты прогнозного моделирования температурного режима грунтов основания исследуемого объекта.

Материалы и методы

Анализ грунтовых условий, проведение теплотехнических расчетов грунтов основания и работоспособности термостабилизатора грунта, погруженного в цементно-песчаный раствор, обеспечение безопасной и безаварийной эксплуатации зданий и сооружений, технико-экономическое сравнение вариантов.

Ключевые слова

термостабилизация, многолетнемерзлые грунты, вентилируемое подполье, расчет прогнозных температур грунта

Для цитирования

Антипина Д.А. Строительство объектов топливно-энергетического комплекса в районах распространения ледяных линз и скальных грунтов // Экспозиция Нефть Газ. 2024. № 9. С. 40–46. DOI: 10.24412/2076-6785-2024-9-40-46

Поступила в редакцию: 29.10.2024

CONSTRUCTION

UDC 624/625 I Original Paper

Construction of the fuel and energy complex facilities in zones of ice lenses and rocky soils

Antipina D.A.

“Tyumen petroleum research center” LLC (“Rosneft” PJSC Group Company), Tyumen, Russia
daantipina2@tnnc.rosneft.ru

Abstract

The paper describes the features of the design and installation of foundations of buildings and structures under complex geological conditions, the challenges that arise during the work, and possible ways to address them. Options for stabilizing the bottom soils to prevent the development of dangerous negative engineering and geocryological processes are considered. The results of predictive modeling of the bottom soils temperature schedule for the studied facility are described.

Materials and Methods

Analysis of soil conditions, thermal calculations of bottom soils, ensuring safe and trouble-free operation of buildings and structures, trade-off study of options.

Keywords

thermal stabilization, permafrost soils, ventilated understructure, estimation of soil temperatures

For citation

Antipina D.A. Construction of the fuel and energy complex facilities in zones of ice lenses and rocky soils. Exposition Oil Gas, 2024, issue 9, P. 40–46. (In Russ). DOI: 10.24412/2076-6785-2024-9-40-46

Received: 29.10.2024

Введение

Одной из наиболее актуальных проблем проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений в северных и восточных регионах России является обеспечение их эксплуатационной надежности в условиях криолитозоны.

Освоение северных газовых, газоконденсатных и нефтяных месторождений, строительство систем магистральных трубопроводов и других объектов развитой инфраструктуры осуществляется в основном по I принципу строительства с сохранением грунтов оснований в мерзлом состоянии. Ввиду значительной протяженности месторождений и трубопроводов с севера на юг геокриологическое строение территорий освоения крайне неоднородно. Одни сооружения располагаются в пределах островного и массивно-островного распространения многолетнемерзлых грунтов (ММГ) с температурами от минус 0,1 °С до минус 3,0 °С, а другие — в зоне сплошного распространения ММГ с температурами до минус 5 °С.

Изменение геокриологических условий грунтов оснований объектов, как в процессе строительства, так и в период эксплуатации оказывает существенное воздействие на стабильность оснований и фундаментов и, соответственно, на устойчивость самих сооружений. Развитие опасных негативных инженерно-геокриологических процессов, в том числе пучения, термокарста, просадок

при оттаивании мерзлых грунтов и др. начинается даже при незначительных изменениях установившегося теплового баланса в геотехнической системе «атмосфера – сооружение – ММГ».

В процессе многолетних обследований выявлены многочисленные случаи деформаций и подвижек фундаментов различных сооружений как следствие ошибок, допущенных при проектировании, отклонений от проектных решений при строительстве, так и техногенного влияния в процессе эксплуатации этих объектов.

Режимные наблюдения за температурой грунтов и сопоставления их фактического состояния с материалами инженерно-геологических изысканий прошлых лет позволили в ряде случаев выявить изменения температурных режимов грунтов, глубин сезонного промерзания (оттаивания), что и определило причины деформаций сооружений.

Основная часть

Площадка строительства расположена в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов и строительно-климатической зоне с суровыми условиями. Категория сложности инженерно-геокриологических условий участка работ — III.

Геологическое строение представлено твердомерзлыми глинами, суглинками, супесью, щебенистым грунтом, пластичномерзлыми торфами различной степени льдистости и льдами.

По данным термокаротажа среднегодовые температуры грунтов на глубине 10,0 м от поверхности изменяются от минус 5,4 до минус 7,7 °С

На площадке строительства выделяется несколько характерных типов грунтовых условий. Наиболее сложным является разрез с присутствием в основании объекта проектирования торфа и льда (тип Б) (рис. 2).

Объект проектирования: резервуар 30 000 м³ диаметром 45,6 м. Конструкция фундамента сборные железобетонные плиты на металлических балках по сваям с устройством вентилируемого подполья (рис. 3).

В виду отсутствия объемов местных карьеров с песком, сложности и высокой стоимости доставки песка инженерная подготовка запроектована из местного глинистого грунта и щебня фракции 0–50 мм (слоями различной мощности и фракций). Высота насыпи в зависимости от рельефа варьируется в пределах от 0,7 м до 7,5 м.

Возникающие проблемы при производстве работ

Строительство на многолетнемерзлых грунтах сложный процесс, требующий применения специальных технологий, учета множества факторов на этапе проектирования, соблюдения технологий производства работ и принятия технических решений для устранения или минимизации последствий возникающих проблем.

На данном объекте так же не обошлось без возникновения проблем.

В процессе проведения работ по инженерной подготовке площадки, возникла проблема с производством и доставкой



Рис. 1. Карта распространения многолетнемерзлых грунтов на территории Российской Федерации. Масштаб 1:2 500 000

Fig. 1. A map of the permafrost soils distribution on the territory of Russian. Scale 1:2 500 000

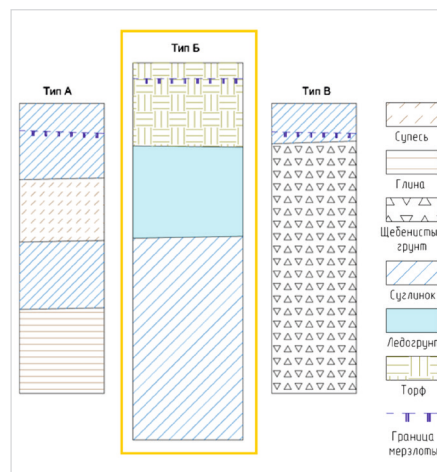


Рис. 2. Характерные типы грунтовых условий

Fig. 2. Standard types of soil conditions

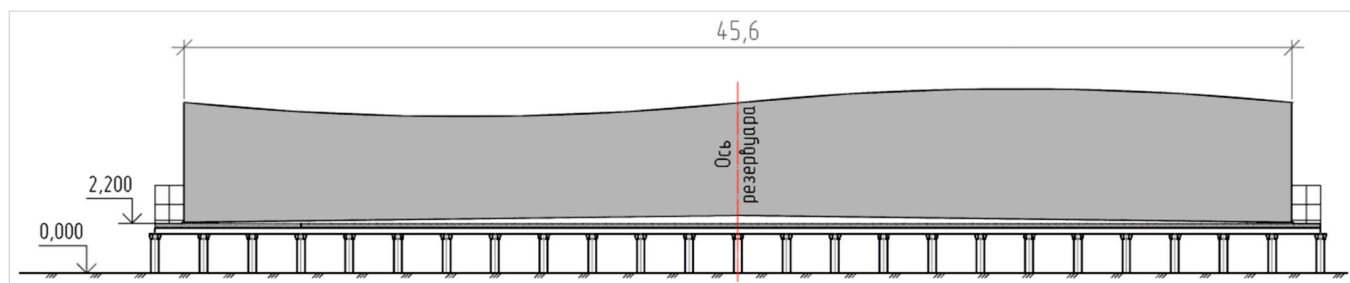


Рис. 3. Объект проектирования

Fig. 3. Designed facility

требуемого объема щебня фракции до 50 мм. Принято решение о применении в устройстве насыпи крупнообломочной скальной породы с фракцией до 300 мм с заклинкой верхнего слоя фракцией 20–40 мм (рис. 4). Что в свою очередь создает сложности с устройством СТСГ и ее дальнейшей эксплуатацией. В частности, это возможность повреждения подземных труб СТСГ при уплотнении и сложность бурения вертикальных скважин диаметром до 100 мм под вертикальные трубы СТСГ.

Также, при бурении скважин для устройства буроопускных свай столкнулись с неоднородностью геологических элементов, а именно с включением скальных пород (валуны, глыбы). При таких обстоятельствах возникли сложности с подобранными ранее механизмами для производства работ (очень низкая производительность) и экономической целесообразностью бурения скважин для термостабилизаторов.

Уделим особое внимание техническим решениям по термостабилизации грунтов основания при устройстве насыпи из крупнообломочных скальных пород.

Мероприятия по стабилизации грунтового основания

Учитывая наличие льда и сильноточистых грунтов в инженерно-геологическом строении возможно развитие таких негативных инженерно-геокриологических процессов как: термокарст, просадка при оттаивании мерзлых грунтов. Следовательно, для обеспечения эксплуатационной надежности в условиях криолитозоны требуется предусмотреть дополнительные проектные решения по минимизации теплового влияния от объекта проектирования и стабилизации грунтов основания.

Для снижения теплового влияния от сооружения на многолетние грунты могут быть применены следующие основные мероприятия:

- выполнение тепловой изоляции днища резервуара. Необходимость в тепловой изоляции определяется по ряду критериев (температура среды, климатические условия, специфика технологических процессов);
- устройство теплоизоляционных экранов. При размещении здания на песчаной подушке или по грунту предусматривается котлован и на дно выкладывается

теплоизоляционный экран, ограничивающий тепловое влияние от объекта;

- устройство вентилируемого подполья. Вентилируемое подполье - открытое пространство под зданием между поверхностью грунта и перекрытием первого (цокольного, технического) этажа. Вентилируемые подполья с естественной или побудительной вентиляцией следует применять для сохранения мерзлого состояния грунтов в основаниях жилых и промышленных зданий и сооружений, в том числе сооружений с повышенными тепловыделениями;
- применение сезонно-действующих охлаждающих устройств. Сезонно-действующие охлаждающие устройства (СОУ) предназначены для охлаждения, замораживания и поддержания грунтов в мерзлом состоянии. В основе технологии СОУ лежит устройство передачи тепла (термосифон), которое в зимний период извлекает тепло из почвы и передает его в окружающую среду. Важной особенностью этой технологии является то, что она естественно-действующая, т.е. не нуждается во внешних источниках энергии;
- применение систем температурной стабилизации грунтов. Система температурной стабилизации грунтов (СТСГ) — это герметичная конструкция из труб, заполненных хладагентом, и состоящая из надземной части — конденсатора и подземной части — испарителя (криогенопроводы), предназначенная для охлаждения грунтов, с целью поддержания проектного температурного режима грунтов и обеспечения несущей способности многолетнемерзлых грунтов в основании сооружений в течение всего периода строительства и эксплуатации.

Все из перечисленных мероприятий и др., а также их комбинации, широко используются при обустройстве объектов топливно-энергетического комплекса.

Наиболее распространённым и протяженным объектом нефтегазовой промышленности является трубопроводный транспорт. В районах распространения ММГ линейные трубопроводы, как подземные, так и надземные, требуют применения мероприятий по термостабилизации грунтов основания, если не допускается применение II-го принципа использования грунтов основания. Для трубопроводов в зависимости от геокриологических условий при I принципе, чаще всего, применяются следующие мероприятия или их комплекс (согласно ТЭО): теплоизоляция трубопровода; теплозащитный экран; устройство СОУ.

Для площадочных объектов при тех же условиях: теплоизоляция объекта; вентилируемое подполье; теплозащитный экран; устройство СОУ или СТСГ.

Использование термоизолированных лифтовых труб и термокейсов и для обеспечения устойчивого положения устьев скважин (добывающих, нагнетательных и др.).

Топливо-энергетический комплекс не может обойтись без транспортной инфраструктуры — автомобильных дорог. Для термостабилизации дорожного полотна в районах распространения ММГ также имеется комплекс мероприятий, включающий в себя применение различных геосинтетических материалов, устройство теплоизоляции в основании, применение СОУ и др.

При выборе мероприятий для минимизации теплового влияния от объекта, обеспечения сохранения ММГ и эксплуатационной надежности сооружения требуется учитывать такие факторы как:

- климатические условия района строительства;
- инженерно-геологические, -геокриологические условия;
- изменение условий в следствии производственной деятельности;
- температурный режим объекта строительства;
- проблему изменения климата — потепление (согласно данным из доклада Росгидромета об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2023 г.).

Также, немаловажными факторами являются комплекс мероприятий по инженерной подготовке объекта и соблюдение технологии производства работ на каждом этапе строительства.

Анализ и проведение прогнозных теплотехнических расчетов изменения температурного режима в грунтовом основании с учетом вышеперечисленных факторов (согласно п 4.7 СП 25.13330.2020) позволяют определить необходимость применения тех или иных мероприятий по термостабилизации грунтов основания или их экономическую нецелесообразность для рассматриваемого объекта в рамках технико-экономического обоснования (ТЭО) и, как следствие, необходимость поиска новых решений.

Для проектируемого объекта рассмотрим несколько комбинаций из вышеописанных мероприятий при наихудших грунтовых условиях — тип Б (рис. 2):

- устройство резервуара на свайном основании с вентилируемым подпольем и СТСГ;
- устройство резервуара на грунтовой



Рис. 4. Устройство насыпи из крупнообломочной скальной породы фракции 0–300 мм

Fig. 4. Laying an embankment made of coarse-grained 0-300 mm rock

Табл. 1. Достоинства и недостатки применения СТСГ

Tab. 1. Advantages and disadvantages of the Soil Temperature Stabilization System

Достоинства
Обеспечивают устойчивость грунтового основания сооружения
Установка конденсаторных блоков в удалении от здания
Сокращение сроков строительства
Недостатки
Риск повреждения смонтированной системы в период строительства и эксплуатации
Не ремонтпригодность (большие затраты на проведение ремонта или замету СТСГ)
Необходимость подвоза большого объема песка

подушке с теплоизоляционным экраном и СТСГ;

- устройство резервуара на свайном основании с вентилируемым подпольем и СОУ.

Вариант 1. Устройство резервуара на свайном основании с вентилируемым подпольем и СТСГ

Согласно проектным решениям, размещение резервуара принято на свайном основании с вентилируемым подпольем и монтажом СТСГ на песчаной подушке для исключения повреждения криогенопроводов при уплотнении щебня.

Теплотехнический расчет прогнозных температур грунтов основания выполнен в ПК «Frost 3D», в расчете учтены:

- тепловая изоляция днища (предусмотрена из условия обеспечения технологических процессов, уменьшения теплотерь хранимого продукта и уменьшения затрат на обеспечение требуемой температуры);
- вентилируемое подполье (предусмотрено для исключения теплового влияния резервуара на грунты основания);
- теплоизоляционный экран (предусмотрен для уменьшения проникновения положительных температур в летний период);
- СТСГ (предусмотрена для стабилизации залегающих торфа и льда).
- изменение климатических условий — тренд потепления 0,04.

По результатам расчета прогнозных температур к концу первого зимнего периода, в результате принятых мероприятий по стабилизации грунтов, под резервуаром происходит понижение температуры до минус $8 \div 10$ °С. Понижение температуры относительно начального температурного распределения $0,1 \div 5,0$ °С.

На конец первого летнего периода (СТСГ автоматически отключилась) за счет перераспределения температур в массиве грунтового основания под резервуаром устанавливаются температуры минус $4,5 \div 8,5$ °С.

Через 30 лет эксплуатации на конец летнего периода (рис. 5) устанавливаются температуры минус $10 \div 16$ °С.

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод, что применение вентилируемого подполья, теплоизоляционного экрана и системы СТСГ эффективно для обеспечения стабилизации грунтов основания и несущей способности свай.

В сложившихся условиях строительной площадки с учетом выполнения отсыпки из крупнообломочных скальных пород выделим следующие достоинства и недостатки (табл. 1).

При рассмотрении возможности устройства свайного фундамента и СТСГ совместно с Заказчиком и организацией, выполняющей строительство, учитывая недостатки, пришли к вопросу о поиске альтернативных вариантов стабилизации грунтов основания.

Вариант 2. Устройство резервуара на грунтовой подушке с теплоизоляционным экраном и СТСГ

Одним из таких вариантов рассматривалось устройство резервуара на песчаной подушке высотой 2,2 м без применения свайного основания и монтажом СТСГ.

Теплотехнический расчет прогнозных температур грунтов основания выполнен в ПК «Frost 3D», в расчете учтены:

- тепловая изоляция днища (предусмотрена из условия обеспечения технологических процессов, уменьшения теплотерь

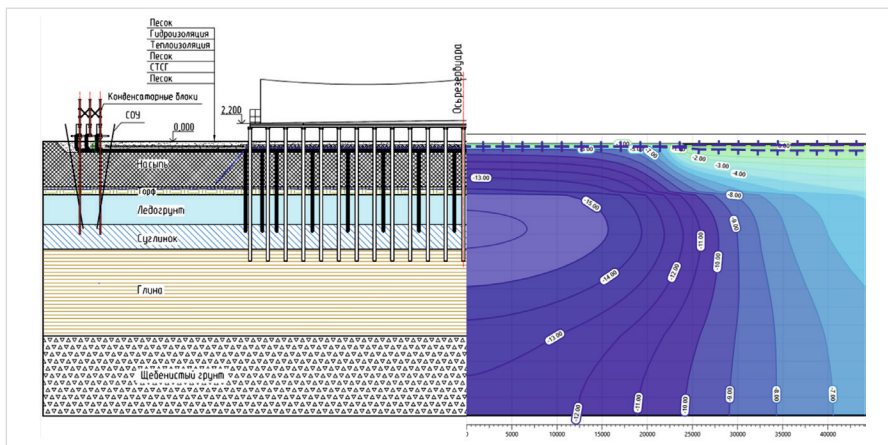


Рис. 5. Температурное распределение грунтов основания на конец эксплуатации (30 год, летний период)

Fig. 5. Temperature distribution of the base soils at the end of the operation period (30th year, summer period)

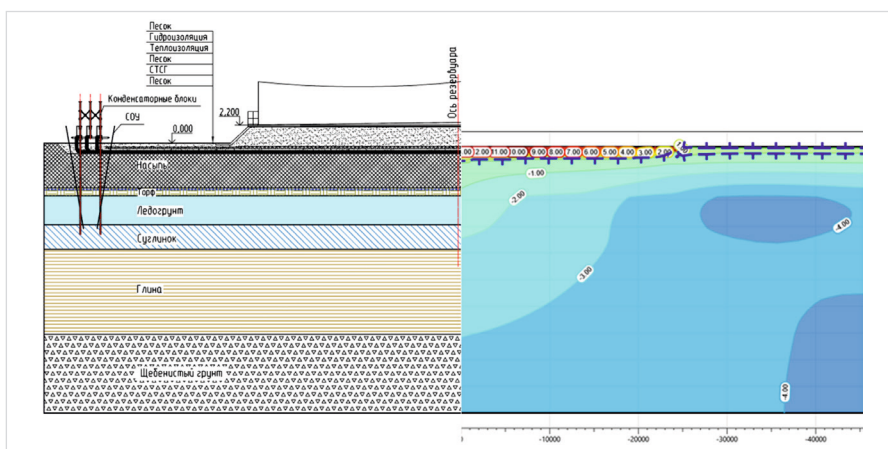


Рис. 6. Температурное распределение грунтов основания на конец эксплуатации (30 год, летний период)

Fig. 6. Temperature distribution of the base soils at the end of the operation period (30th year, summer period)

хранимого продукта, уменьшения затрат на обеспечение требуемой температуры и уменьшения теплового влияния на грунты основания);

- грунтовая подушка (предусмотрен для обеспечения проектных отметок обвязки трубопроводов);
- теплоизоляционный экран (предусмотрен для уменьшения теплового влияния резервуара на грунты основания);
- СТСГ (предусмотрена для стабилизации грунтов основания вне зависимости от наличия торфа или льда, СТСГ без вертикальных криогенопроводов для исключения устройства скважин).
- изменение климатических условий — тренд потепления 0,04;

По результатам расчета прогнозных температур к концу первого зимнего периода, в результате принятых мероприятий по стабилизации грунтов, под резервуаром не происходит изменения температур.

На конец первого летнего периода (СТСГ автоматически отключилась) под тепловым влиянием резервуара происходит повышение температуры в пределах $0,5$ °С.

Через 30 лет эксплуатации на конец летнего периода (рис.6) несмотря на применение теплоизоляции днища резервуара, теплоизоляционного экрана и СТСГ температура грунтов основания повышается до минус

$0,5 \div 3$ °С. Чаша оттаивания не образуется. С повышением температур грунты переходят в пластичномерзлое состояние, что может привести к неравномерным осадкам.

Обобщая полученные результаты можно сделать вывод, что отказ от свайного основания и вентилируемого подполья негативно сказывается на обеспечении стабилизации грунтов основания.

Так же отмечены следующие недостатки:

- отсутствие песка в районе площадки строительства. Устройство подушки из крупнообломочных пород недопустимо. Необходимо фракция грунта $0-10$ мм;
- предполагается использование верхних слоев грунтового основания с наиболее нестабильными характеристиками (стабильность характеристик увеличивается с глубиной), которые зависят от периодичности изменения температуры продукта в РВС температуры наружного воздуха, скорости ветра величины снеготаносов и других факторов (данные параметры либо отсутствуют в НТД, либо даются усредненные значения по результатам многолетних наблюдений). Для предлагаемого варианта (устройства РВСП на грунтовой подушке), подтвердить надежность сооружения основываясь на расчетных выводах не представляется возможным. В материалах изысканий нет

характеристик насыпных грунтов для расчета фундаментов. Характеристики могут быть определены после стабилизации грунтов. Период стабилизации грунтов от 6 месяцев до 1 года;

- после стабилизации насыпных грунтов необходимы дополнительные материалы изысканий (статическое и динамическое зондирование и штамповые, прессиометрические или трехосные испытания) для получения модуля деформации. Срок проведения изысканий — 3 месяца;
- грунтовая подушка также должна стабилизироваться после ее устройства. После стабилизации должна быть вторая ступень изысканий для получения модуля деформации грунтовой подушки;
- после получения материалов изысканий будет выполнено конструирование

фундаментов. На площади резервуара возможны различные модули деформации, что создает неравномерную осадку. При разнице осадки превышающей нормативно допустимую — применение грунтовой подушки недопустимо. Возможное основание — только свайные фундаменты;

- обязательное применение термостабилизации. Необходимость резервной системы;
 - при уплотнении грунтовой подушки возможно повреждение систем термостабилизации. Системы термостабилизации неремонтопригодны без демонтажа РВСП.
- Данный вариант рассматривался в связи с единственным преимуществом — отсутствием необходимости бурения скважин в виду длительности сроков

погружения из-за неоднородности инженерно-геологических элементов (включения валунов, глыб).

Таким образом, устройство резервуара на грунтовой подушке в данных геологических условиях не обеспечивает безопасной эксплуатации сооружения.

Вариант 3. Устройство резервуара на свайном основании с вентилируемым подпольем и СОУ

Следующим альтернативным вариантом рассматривалось устройство резервуара на свайном основании с применением индивидуальных термостабилизаторов грунта.

В более однородных грунтовых условиях СОУ погружают в пробуренную скважину диаметром 80 мм на небольшом расстоянии от сваи равным 0,5÷1,0 м. В условиях данной строительной площадки с учетом неоднородности инженерно-геологических элементов (включения валунов, глыб) и устройства насыпи из крупнообломочных скальных пород бурение скважин для погружения СОУ являлось затрудняющим фактором. В целях уменьшения количества бурения скважин рассматривался вариант увеличения диаметра скважины под сваю для погружения СОУ совместно со сваей (рис. 7)

Данный способ погружения не является типовым, возник вопрос об эффективной работе СОУ в данных условиях и возможность реализации при производстве работ. Для получения ответов на эти вопросы первым этапом были выполнены теплотехнические расчеты оценки работоспособности СОУ. В расчет принят термостабилизатор грунта, погруженный в цементно-песчаный раствор, общей длиной 13 м, с теплоизоляционной вставкой 5 м, конденсатором 1,1 м и испарителем 6 м. Ввиду близкого расположения конденсаторной части СОУ к телу сваи для лучшего обдува после установки сваи и СОУ в проектное положение выполнить наклон конденсаторной части на 10° относительно вертикали. Несмотря на наклон для увеличения обдува в расчетной модели характеристики конденсаторной части (площадь) СОУ, отвечающие за мощность работы, уменьшены на 30% для учета непрогнозируемых

Табл. 2. Распределения температуры на расстоянии 1 м от термостабилизатора в ЦПП
Tab. 2. Temperature distribution at a distance of 1 m from a thermostat in the cement slurry

Глубина, м	Прогнозные температуры, °С													
	01.окт	01.ноя	01.дек	01.январ	01.фев	01.мар	01.апр	01.май	01.июн	01.июл	01.авг	01.сен	01.окт	
1	0,0	0,0	-5,7	-11,1	-12,7	-15,4	-13,9	-9,8	-4,1	-1,0	-0,4	-0,1	-0,1	
2	0,0	0,0	0,0	-1,1	-3,4	-7,0	-7,2	-6,6	-3,3	-1,2	-0,7	-0,5	-0,4	
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,6	-2,5	-1,4	-0,7	-0,4	-0,3	-0,3	
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	
6	-2,0	-1,8	-1,8	-2,1	-2,4	-2,6	-2,7	-2,7	-2,4	-2,1	-2,0	-1,8	-1,7	
7	-4,9	-4,3	-4,5	-5,1	-5,7	-6,0	-6,0	-5,7	-5,1	-4,6	-4,3	-4,1	-3,9	
8	-5,4	-5,4	-5,9	-6,6	-7,1	-7,3	-7,2	-6,8	-6,1	-5,9	-5,7	-5,5	-5,4	
9	-5,4	-5,5	-6,0	-6,7	-7,1	-7,3	-7,2	-6,8	-6,2	-6,0	-5,9	-5,8	-5,7	
10	-5,4	-5,6	-6,1	-6,7	-7,1	-7,2	-7,1	-6,8	-6,3	-6,1	-6,0	-5,9	-5,9	
12	-5,6	-5,7	-5,8	-6,0	-6,2	-6,4	-6,4	-6,4	-6,3	-6,2	-6,2	-6,1	-6,1	
14	-5,9	-6,0	-6,1	-6,2	-6,2	-6,2	-6,3	-6,3	-6,3	-6,3	-6,3	-6,3	-6,3	
16	-6,2	-6,4	-6,4	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	
18	-6,8	-6,7	-6,7	-6,7	-6,7	-6,7	-6,7	-6,7	-6,7	-6,7	-6,7	-6,7	-6,7	

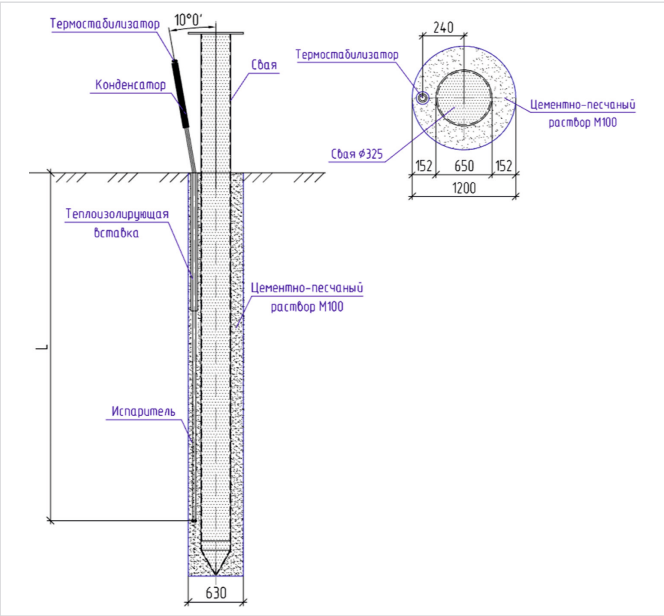


Рис. 7. Схема погружения СОУ совместно со сваей
Fig. 7. A diagram of driving a seasonal cooling device with a pile

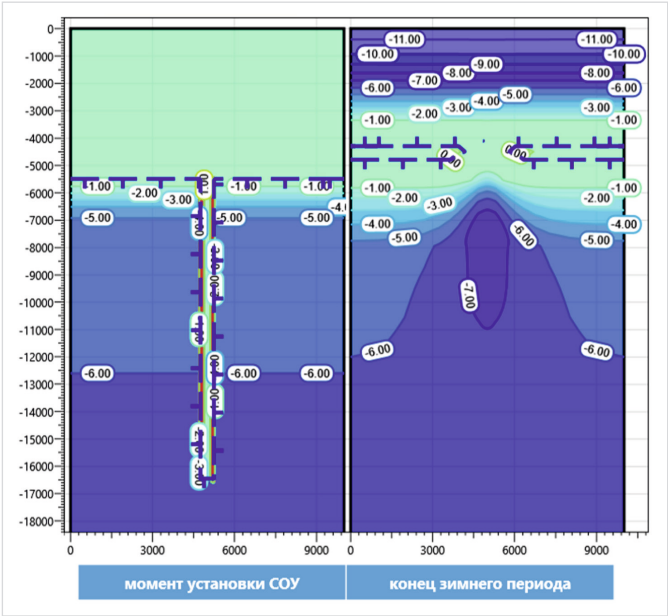


Рис. 8. Распределение температуры
Fig. 8. Temperature distribution

факторов, таких как направление и сила воздушных потоков и др.

По результатам расчета при погружении СОУ в цементно-песчаный раствор (ЦПР) наблюдается понижение температуры грунтов в радиусе более 1 м, что подтверждает его работоспособность (рис. 8, табл. 2).

Следующим этапом стало пробное погружение СОУ со сваей на площадке строительства. СОУ крепится к свае с помощью хомутов из арматуры и наконечника приваренных к телу сваи (рис. 9), конденсаторная часть закрывается защитным кожухом, выполненным из слоя утеплителя толщиной 15 мм покрытого защитной пленкой, и опускаются в пробуренную скважину с установленной в ней обсадной трубой, защищающей стенки скважины от обсыпания (рис. 10). Скважина заполняется цементно-песчаным раствором с последующим извлечением обсадной трубы.

По результатам выполнения работ сделаны выводы, что реализация решения возможна, но требуется большое внимание уделять погружению сваи и извлечению обсадной трубы для исключения повреждения конденсаторной части СОУ. Продолжается наблюдение за опытными сваями.

Теплотехнический расчет прогнозных температур грунтов основания под резервуар на свайном основании с использованием СОУ выполнен в ПК «Frost 3D», в расчете учтены:

- тепловая изоляция дна (предусмотрена из условия обеспечения технологических процессов, уменьшения теплопотерь хранимого продукта и уменьшения затрат на обеспечение требуемой температуры);
- вентилируемое подполье (предусмотрено для исключения теплового влияния резервуара на грунты основания);
- сезонно-действующие охлаждающие устройства (предусмотрены для стабилизации залегающих торфа и льда).
- изменение климатических условий — тренд потепления 0,04;

По результатам расчета прогнозных температур к концу первого зимнего периода, в результате принятых мероприятий по стабилизации грунтов, под резервуаром происходит понижение температуры до минус $8 \div 10$ °С. Понижение температуры относительно начального температурного распределения $0,1 \div 5,0$ °С.

На конец первого летнего периода (СОУ автоматически отключились) за счет перераспределения температур в массиве грунтового основания под резервуаром устанавливаются температуры минус $4,5 \div 8,0$ °С.

Через 30 лет эксплуатации на конец летнего периода (рис. 11) устанавливаются температуры минус $10 \div 16$ °С.

Обобщая полученные результаты, можно сделать вывод, что применение вентилируемого подполья и СОУ эффективно для обеспечения стабилизации грунтов основания и несущей способности свай.

В сложившихся условиях строительной площадки с учетом выполнения отсыпки из крупнообломочных скальных пород выделим следующие достоинства и недостатки (табл. 3).

Сравнение стоимости вариантов основания объекта

Сравнение стоимости рассматриваемых вариантов устройства фундамента с залеганием в грунтах основания льда и скальных пород выполнено для проектного решения (вариант №1) и для альтернативного решения с применением СОУ (вариант №3).



Рис. 9. Крепление СОУ к телу сваи
Fig. 9. Fastening the seasonal cooling device to the pile body



Рис. 10. Погружение сваи СОУ
Fig. 10. Driving the seasonal cooling device pile

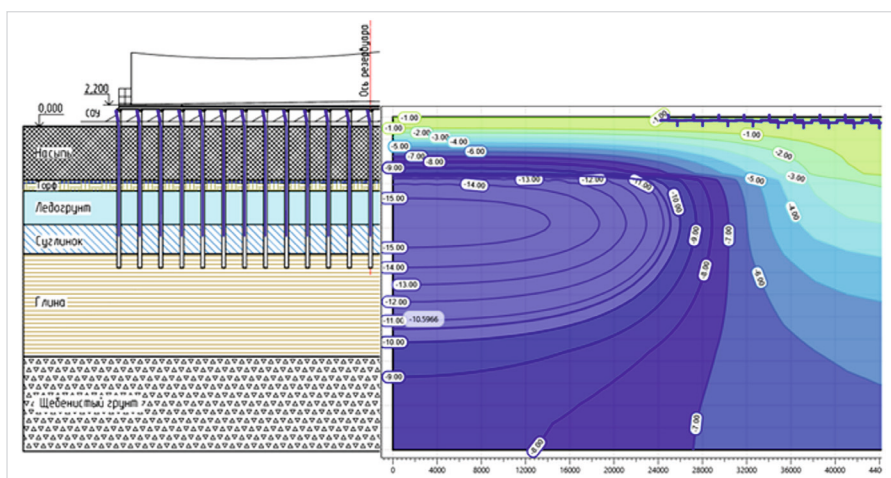


Рис. 11. Температурное распределение грунтов основания на конец эксплуатации (30 год, летний период)
Fig. 11. Temperature distribution of the base soils at the end of the operation period (30th year, summer period)

Табл. 3. Достоинства и недостатки применения СОУ
Tab. 3. Advantages and disadvantages of using seasonal cooling devices

Достоинства
Обеспечивается устойчивость грунтового основания сооружения
Отсутствие необходимости бурения дополнительных скважин
Сокращение сроков строительства
Отсутствие необходимости подвоза песка
Недостатки
Бурение скважин большого диаметра
Возможность повреждения конденсаторной части СОУ при монтаже

Устройство резервуара на грунтовой подушке не принято в технико-экономическом сравнении ввиду того, что устойчивость грунтового основания и безопасная и безаварийная эксплуатация резервуара НЕ ОБЕСПЕЧЕНЫ.

Технико-экономические показатели рассмотрены относительно проектного решения и представлены процентном соотношении (табл. 4).

Строительные работы включают в себя: инженерную подготовку, материалы и работы по устройству свайного основания, работы по устройству работ по температурной стабилизации основания. Раздел ТСГ — стоимость оборудования для термостабилизации основания (ТСГ, СОУ)

По результатам сравнения вариант № 3 является более экономически выгодным на 5,5 %.

Итоги

Использование проектного решения с учетом возможности повреждения СТСГ при применении крупнообломочной скальной породы фракции 0–300 мм еще до ввода объекта в эксплуатацию и как следствие отсутствие стабилизации грунтов основания привело к поиску альтернативных вариантов устройства фундамента резервуара и стабилизации грунтового основания.

Проведен анализ и теплотехнические расчеты возможных методов решения, рассмотрены технические возможности реализации альтернативных вариантов с выполнением контрольных свай и последующим наблюдением. Расчеты показали, что альтернативный вариант № 2 устройства фундамента резервуара на грунтовой подушке высотой 2,2 м не отвечает требованиям по безопасной и безаварийной эксплуатации резервуара.

Альтернативный вариант № 3 устройства свайного фундамента с применением СОУ отвечает требованиям по безопасной и безаварийной эксплуатации резервуара и снижает экономические затраты на 5,5%.

Выводы

Строительство объектов в сложных инженерно-геологических, -геокриологических условиях требует особого внимания ко множеству факторов: анализу исходных данных и принятию решений на этапе проектирования; соблюдению технологии производства работ; оценке рисков возникающих проблем в процессе строительства и их решению.

По результатам выполнения работ сделаны выводы, что реализация погружения СОУ совместно со сваей возможна, но требуется

Табл. 4. Сравнение технико-экономических показателей
Tab. 4. Comparison of technical and economic indicators

	Вариант 1 Устройство резервуара на свайном основании с вентилируемым подпольем и с применением СТСГ	Вариант 2 Устройство резервуара на грунтовой подушке с теплоизоляционным экраном и с применением СТСГ	Вариант 3 Устройство резервуара на свайном основании с применением СОУ
Строительные работы	100 %	Технико-экономическое сравнение не выполнялось в виду необеспечения безопасной и безаварийной эксплуатации резервуара	97 %
ТСГ	100 %		40 %
Итого	100 %	-	94,5 %

большое внимание уделять погружению свай и извлечению обсадной трубы для исключения повреждения конденсаторной части СОУ. Продолжается наблюдение за опытными сваями.

Литература

1. Горелик Я.Б., Хабитов А.Х. Об эффективности применения термостабилизаторов при строительстве на многолетнемерзлых грунтах // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2019. Т. 5. № 3. С. 25–46.
2. Порхаев Г. В. Тепловое взаимодействие

зданий и сооружений с вечномерзлыми грунтами. М.: Наука, 1970. 208 с
3. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. N 384-ФЗ. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений. Собрание законодательства Российской Федерации, N 1, 04.10.2010, ст. 5
4. Свод правил 25.13330.2020. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. М.: Стандартинформ, 2021. 110 с.
5. Свод правил 131.13330.2020. Строительная климатология. М.: Стандартинформ, 2021. 154 с.
6. Доклад об особенностях климата на территории российской федерации за 2023 год. Москва, 2024. 104 стр.

ENGLISH

Results

The application of the design solution, taking into account the probability of damage to the STSS (Soil Temperature Stabilization System) when using coarse clastic rock of 0–300 mm fraction even before the facility was put into operation and, as a result, the lack of stabilization of the bottom soils led to the search for alternative options for the installation of the tank foundation and stabilization of the bottom soil.

The analysis and thermal calculations of possible solution methods have been carried out, the technical capability of alternative options with the control piles and subsequent monitoring have been considered.

The estimates have shown that Alternative Option № 2 of installing the tank foundation on a 2,2 m high soil bed does not meet the requirements for safe and trouble-free operation of the tank.

Alternative Option № 3 of installing the pile foundation using seasonal

cooling units meets the requirements for safe and trouble-free operation of the tank and reduces the costs by 5,5 %.

Conclusions

The construction of facilities in complex engineering-geological and geocryological conditions requires special attention to a variety of factors: analysis of initial data and decision-making at the design stage; compliance with work technology; assessment of risks and challenges emerging during construction and addressing thereof.

Based on the results of the study, it was concluded that a seasonal cooling device can be driven together with the pile, but great attention must be paid to driving the pile and pulling the casing out to avoid damage to the condenser part of the cooling device. The experimental piles are still being monitored.

References

1. On the efficiency of adapting the the rmostabilizers for building activity in permafrost. Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy, Vol. 5, issue 3, P. 25–46. (In Russ).
2. Porkhaev G.V. Thermal interaction

of buildings and structures with permafrost soils. Moscow: Nauka, 1970, 208 p. (In Russ).
3. Federal Law № 384-FZ, dated December 30, 2009. Technical regulations on the safety of buildings and structures. Collection of Legislative Acts of the Russian Federation, № 1, 04.10.2010,

Article 5. (In Russ).
4. Code of Rules 25.13330.2020. Foundations and basements on permafrost soils. Moscow: Standartinform, 2021, 110 p. (In Russ).
5. Code of Rules 131.13330.2020. Construction climatology. Moscow: Standartinform, 2021, 154 p. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Антипина Дария Александровна, главный специалист, управление по обустройству месторождений, ООО «Тюменский нефтяной научный центр» (ОГ ПАО «НК «Роснефть»), Тюмень, Россия
Для контактов: daantipina2@tnnc.rosneft.ru

Antipina Daria Alexandrovna, chief specialist, field infrastructure division, “Tyumen petroleum research center” LLC (“Rosneft” PJSC Group Company), Tyumen, Russia
Corresponding author: daantipina2@tnnc.rosneft.ru