

Технические решения ОАО «Гипротюменнефтегаз» при проектировании объектов нефтегазового комплекса на многолетнемерзлых грунтах (часть 1)

И.А. Щербинин,
И.З. Фахретдинов,
С.С. Иванов, К.Т.Н.,
И.А. Жолобов

(ОАО «Гипротюменнефтегаз»,
Группа ГМС)

Адрес для связи: ivanov@gtnng.ru

Ключевые слова: многолетнемерзлый грунт, теплотехнический расчет, способы сохранения мерзлоты.

В соответствии со стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации [1] будущее нашего государства прочно связано с освоением территорий Крайнего Севера, где сосредоточены значительные запасы углеводородного сырья. Сложные климатические, геологические и геокриологические условия на таких территориях предъявляют высокие требования к разработке новых и модернизации существующих технологий строительства и безопасной эксплуатации зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах (ММГ). Большой опыт ОАО «Гипротюменнефтегаз» показывает, что не все известные проектные решения по строительству объектов добычи и транспорта нефти и газа отвечают высоким современным требованиям.

Проблемы фундаментостроения в районах распространения ММГ в первую очередь определяются особенностями инженерно-геокриологических условий площадок размещения промысловых зданий и сооружений. ММГ являются нестабильными, динамичными во времени, характеризуются специфическими свойствами: просадочными, пучинистыми и др.

По длительности существования ММГ подразделяются на [2]:

- кратковременномерзлые – существуют в течение нескольких часов, суток, толщина слоя составляет от нескольких сантиметров до нескольких десятков сантиметров;
- сезонномерзлые – существуют в течение нескольких месяцев, толщина слоя составляет от десятков сантиметров до нескольких метров;
- многолетнемерзлые – существуют годы, сотни и тысячи лет, толщина слоя достигает нескольких сотен метров.

В зависимости от комплекса природных факторов, формирующих геокриологические условия, грунты могут находиться также в талом и переохлажденном состояниях, а следовательно, обладать различными прочностными и деформационными свойствами.

Giprotyumenneftegaz engineering solutions
for construction of oil and gas industrial facilities
in permafrost areas (part 1)

I.A. Shcherbinin, I.Z. Fakhretdinov, S.S. Ivanov, I.A. Zholobov
(Giprotyumenneftegaz, HMS Group, RF, Tyumen)

E-mail: ivanov@gtnng.ru

Key words: permafrost soil, thermal design, safety methods permafrost.

To date, due to the increased volume of construction in permafrost areas and unstable soils, the urgency of developing new methods of construction of buildings and structures is constantly increasing. Existing construction methods require further development and updating in accordance with the new requirements.

Кроме того, мерзлые породы классифицируются [2]:

- по сплошности промерзания (сливающиеся, несливающиеся и многослойные мерзлые толщи);
- по площади распространения (сплошная, островная мерзлота);
- по температурному режиму (высоко- и низкотемпературная мерзлота).

К основным особенностям, осложняющим освоение районов с ММГ, относятся:

- распространение льдистых и сильнольдистых мерзлых пород, при протаивании которых возможны тепловые осадки;
- присутствие в мерзлых породах подземного льда в зоне влияния инженерных сооружений;
- высокая динамичность природной среды;
- активное проявление опасных криогенных процессов, вызывающих деформации инженерных сооружений, а также необратимые изменения природной среды.

Строительство и эксплуатация тепловыделяющих нефтегазовых объектов в зоне распространения ММГ могут привести к растеплению мерзлоты и последующим негативным последствиям, в том числе к возможным аварийным ситуациям, негативному воздействию на экологию и др. При проектировании и строительстве в таких условиях необходимо учитывать множество различных факторов [3]. Здания, сооруженные на ММГ без учета взаимодействия с грунтами основания, могут через непродолжительный период их эксплуатации прийти в аварийное состояние. В частности, к сезонному протаиванию грунта из-за положительной температуры воздуха добавляется тепловое воздействие самого сооружения, часто очень значительное. При протаивании мерзлого грунта могут происходить его неравномерные осадки под сооружением, что нередко более опасно, чем равномерные. В холодное время года слой сезонного промерзания вновь будет охлаждаться под действием отрицательных температур и не исключаются процессы пучения

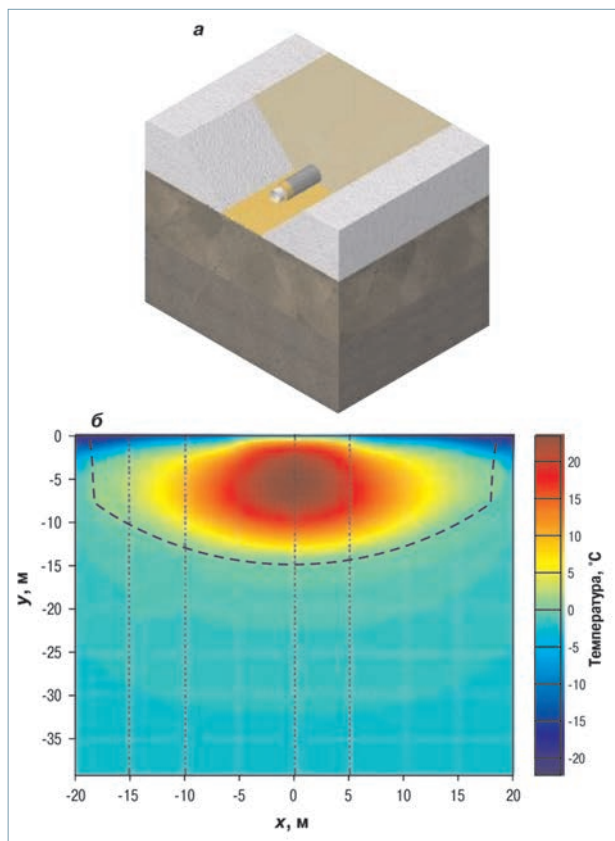


Рис. 1. Схема расположения подземного трубопровода (а) и результаты теплового расчета (б)

грунта. Наличие ММГ на огромных территориях нашей страны ставит перед учеными много задач, решение которых имеет большое практическое значение [4].

Согласно СП 25.13330.2012 существуют два принципа строительства на мерзлоте:

- принцип I – ММГ основания используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации сооружения;
- принцип II – ММГ основания используются в оттаянном или оттаивающем состоянии (с предварительным оттаиванием на расчетную глубину до начала возведения сооружения или с допущением их оттаивания в период эксплуатации сооружения).

Принцип использования ММГ в качестве основания сооружений, а также способы и средства, необходимые для обеспечения проектного положения сооружения, следует выбирать исходя из сравнительных технико-экономических расчетов по результатам теплотехнических расчетов с учетом глубины залегания, сплошности, температурного режима грунтов и других факторов.

Особенности распространения мерзлоты на конкретной территории обуславливает особенности и ограничения при проектировании сооружений. При проектировании сооружений, строящихся на ММГ различных форм залегания, с индивидуальным температурным режимом, большинство проектных решений унифицировано. Отдельно стоит проблема «взлой» (высокотемпературной) мерзлоты, когда выбор защитных мероприятий возможен только на основе технико-экономического расчета. При чрезмерных затратах на сохранение мерзлоты возможен отказ от I принципа строительства.

Выбор способа сохранения ММГ зависит от множества факторов: типа здания; температурного режима; грунтов

основания и др. Для сооружений с повышенным тепловыделением (факельные установки) или с высоким уровнем ответственности возможно применение различных комбинаций защитных мероприятий. Наиболее часто применяемыми защитными мероприятиями для таких сооружений, как добывающие скважины, линейные сооружения (трубопроводы различного назначения, автодороги) и площадные объекты (резервуары, подземные емкости, прочие здания и сооружения), являются теплоизоляция зданий и сооружений, термостабилизация грунтов основания, альтернативные методы.

Теплоизоляция тепловыделяющих элементов зданий и сооружений (рис. 1) позволяет снизить их тепловое воздействие на грунты и сохранить мерзлоту. Сущность метода заключается в использовании материалов с относительно низким коэффициентом теплопроводности, размещаемых непосредственно на тепловыделяющих элементах сооружений, контактирующих с грунтами основания. Применяются различные способы теплоизоляции сооружений: полная, частичная, дифференцированная (например, переменной толщины, по длине трубопровода). Наиболее востребованные в настоящее время теплоизоляционные материалы изготавливаются из вспененного полистирола. Данный вид теплоизоляции обладает высокими теплоизоляционными свойствами, хорошими показателями прочности и низким водопоглощением. К недостаткам относится довольно узкий рабочий температурный диапазон до 75 °С, что не позволяет применять материал для теплоизоляции высокотемпературных трубопроводов, емкостного оборудования и оснований факельных установок. В случае высоких температурных нагрузок возможно применение альтернативных материалов. Для подземной емкости одним из вариантов является использование теплоизоляционных материалов на основе вспененного каучука, обладающих более широким температурным диапазоном.

Для сохранения грунтов оснований в мерзлом состоянии (при выборе I принципа строительства) могут применяться теплозащитные экраны (рис. 2). Сущность метода заключается в заглублении экрана в насыпь под сооружением или зданием на некотором расстоянии от основания, что препятствует передаче тепловыделений сооружений в грунт. Теплоизоляционные экраны могут применяться как отдельно, так и вместе с другими защитными мероприятиями. Широкое распространение также получили материалы на основе вспененного полистирола благодаря высоким физико-механическим показателям, позволяющим без ухудшения теплоизоляционных свойств воспринимать значительные механические нагрузки. Материалы применяются в насыпях, основаниях автодорог и др. Когда тепловое влияние на насыпь и ее основание от сооружения значительно, оправданным будет использование теплоизоляционного материала из вспененного стекла из-за невозможности применения вспененного полистирола. Вспененное стекло можно использовать при температуре до 500 °С.

Термостабилизация грунтов основания может применяться при недостаточности теплоизоляции сооружения или чрезмерности требуемого объема теплоизоляционного материала. Сущность метода заключается в применении замкнутых парожидкостных систем различной пространственной конфигурации, работающих за счет разности температур наружного воздуха и грунтов основания.

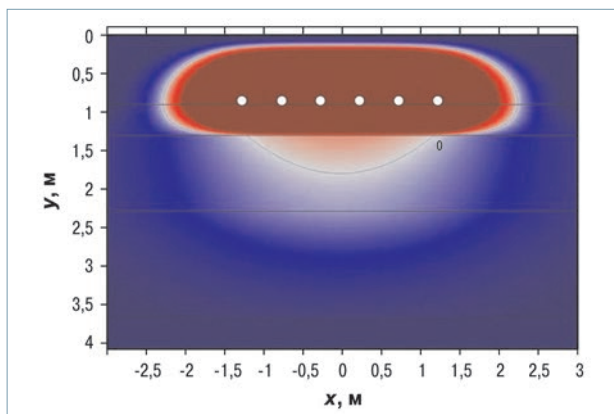


Рис. 2. Применение теплового экрана для снижения теплового воздействия коридора коммуникаций на мерзлоту

Существует множество видов термостабилизаторов: одиночные (рис. 3); глубинные; площадные. Одиночные термосифоны применяются для точечного промораживания или поддержания отрицательного температурного режима, например, вокруг свай. Глубинные системы применяются для промораживания глубинных слоев грунта, например, в гидротехнических сооружениях. Площадные системы используются для компенсации теплового воздействия значительных по площади оснований сооружений, например резервуарного парка, отапливаемых производственных и жилых зданий. Применение таких систем в отдельных случаях может быть экономически более целесообразным по сравнению с классическими методами, например проветриваемым подпольем, в последнее время они находят широкое применение в связи с небольшими сроками возведения, объемами работ и возможностью поддерживать необходимый температурный режим даже в летний период за счет применения холодильных установок.

Имеющийся научный потенциал ОАО «Гипротюменнефтегаз» позволяет разрабатывать принципиально новые методы решения актуальных задач. Например, для широко применяющихся горизонтальных факельных установок (ГФУ) разработан метод стабилизации основания насыпи и недопущения растепления ММГ [5]. Сущность метода заключается в обустройстве в основании насыпи слоя вентиляционных труб, что позволяет отводить за пределы обваловки факела тепло, передаваемое им в насыпь. При значительном тепловом воздействии возможны обустройство несколько рядов труб, расположенных перпендикулярно или Х-образно, а также применение теплоизоляционного экрана и принудительной вентиляции труб. Данный метод позволяет без использования дорогостоящих теплоизоляционных материалов достичь требуемого температурного режима основания ГФУ и в отдельных случаях снизить высоту подсыпки под ГФУ.

ОАО «Гипротюменнефтегаз» совместно с ООО «Транс-ИГЭМ» проведена научная работа с целью изучения влияния различных защитных мероприятий на режим теплообмена на поверхности земли [6]: увеличение альбедо поверхности земли; применение солнцезащитного навеса; расчистка снега. Самым эффективным мероприятием оказалась расчистка снега, позволяющая достигать температуры поверхности земли практически равной температуре воздуха, и соответственно существенно увеличивать глубину промерзания грунта в зимний период. Более эффек-

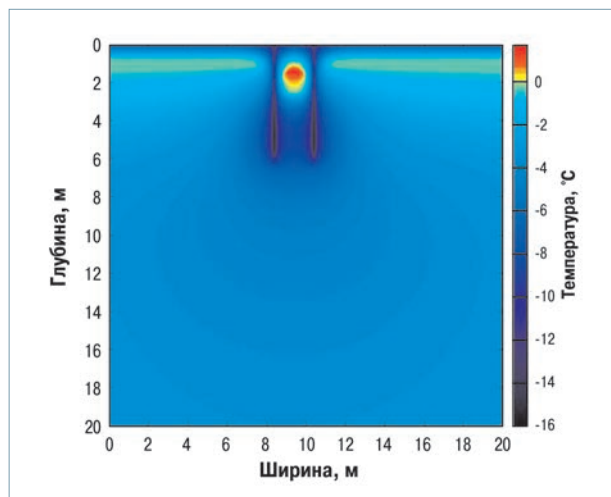


Рис. 3. Распределение температуры грунта вокруг трубопровода через 30 лет эксплуатации с установленными термостабилизаторами

тивным является только совместное применение солнцезащитного навеса и расчистки снега, что позволяет понизить температуру на значительных глубинах до 4 раз по сравнению с естественными условиями. Солнцезащитные навесы применяются как альтернатива термостабилизации грунтов при сооружении авто- и железных дорог.

Использование инновационных методик проектирования на ММГ и постоянная разработка новых, богатый опыт сотрудников позволяют ОАО «Гипротюменнефтегаз» оставаться одним из лидирующих предприятий на рынке проектирования и научного обеспечения строительства на ММГ.

Список литературы

1. Стратегия развития Арктической Зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности до 2020 года: <http://www.government.ru/docs/22846/>
2. Общее мерзлотоведение (геокриология)/под ред. В.А. Кудрявцева. – М.: Изд-во МГУ, 1978. – 464 с.
3. Цытович Н.А. Механика грунтов//2-е изд., дополненное. – М.: Высшая школа, 1973. – 280 с.
4. Вакулин А.А. Основы геокриологии. – Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2011. – 220 с.
5. Пат. 130613 РФ. Устройство основания для факельной установки/И.А. Щербинин, И.З. Фахретдинов, В.С. Зайцев (и др.); заявитель и патентообладатель ОАО «Гипротюменнефтегаз»; №2013103850; заяв. 29.01.13; опубл. 27.06.13.
6. Мероприятия по изменению режима теплообмена на поверхности земли и их влияние на распределение температуры в грунте/В.Г. Кондратьев, А.Г. Перекупка, С.С. Примаков, А.С. Петрова//Нефтяное хозяйство. – 2012. – № 10. – С. 122-125.

References

1. *Strategiya razvitiya Arkticheskoy Zony Rossiyskoy Federatsii i obespecheniya natsional'noy bezopasnosti do 2020 goda* (Strategy of development of the Russian Arctic and national security up to 2020), URL: <http://www.government.ru/docs/22846/>
2. *Obshchee merzlotovedenie (geokriologiya)* (The general permafrostology (geocryology)): edited by Kudryavtseva V.A., Moscow: Publ. of MSU, 1978, 464 p.
3. Tsytoich N.A., *Mekhanika gruntov* (Soil mechanics), Moscow: Vychislitel'naya shkola Publ., 1973, 280 p.
4. Vakulin A.A., *Osnovy geokriologii* (Basics of geocryology), Tyumen: Publ. of TSU, 2011, 220 p.
5. Utility patent no. 130613 RF, *Ustroystvo osnovaniya dlya faket'noy ustanovki* (Construction of basements of flare unit), Inventors: Shcherbinin I.A., Fakhetdinov I.Z., Zaytsev V.S. et al.
6. Kondrat'ev V.G., Perakupka A.G., Primakov S.S., Petrova A.S., *The measures of heat exchange variation on the earth surface and their influence on the temperature distribution in the soil* (In Russ.), *Neftyanoe khozyaystvo = Oil Industry*, 2012, no. 10, pp. 122-125.