

УДК 624.139

Оптимизация решений по термостабилизации грунтов оснований

Е. А. Посконина^{1*}, А. Н. Курчатова^{1,2}

¹АО «Мессояханефтегаз», г. Тюмень, Россия

²Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия

*e-mail: Poskonina.EA@tmn.gazprom-neft.ru

Аннотация. При использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований сооружений по принципу I в проектах оснований и фундаментов необходимо предусматривать мероприятия по устранению или уменьшению теплового воздействия сооружений на мерзлые грунты.

При выборе решений по термостабилизации грунтов (ТСГ) обычно стоит задача не только обеспечить надежность оснований и фундаментов на мерзлых грунтах, но и снизить затраты на строительство и эксплуатацию сооружений за счет оптимизации принятых решений. Для этого требуется выполнение прогнозных теплотехнических расчетов грунтов основания. Анализ нормативной литературы показал отсутствие утвержденных требований к алгоритму выполнения данных расчетов.

В статье рассмотрены основные проблемы, возникающие при выполнении теплотехнических расчетов, и ошибки при выборе решений по ТСГ. Приведены примеры оптимизации решений по ТСГ. Также определены пути решения выявленных проблем: типизация инженерно-геокриологических условий; типизация сооружений по интенсивности теплового воздействия; выбор оптимальных решений по ТСГ для каждого выделенного типа; разработка регламента на выполнение прогнозных расчетов температурного режима грунтов оснований.

Ключевые слова: многолетнемерзлые грунты; прогнозные расчеты; температурный режим грунтов основания; температурная стабилизация грунтов; геотехнический мониторинг

Optimization of thermal stabilization of soils applications

Elena A. Poskonina^{1*}, Anna N. Kurchatova^{1,2}

¹Messoyakhaneftgaz JSC, Tyumen, Russia

²Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

*e-mail: Poskonina.EA@tmn.gazprom-neft.ru

Abstract. To provide the first principle of usage the permafrost ground as the base it is necessary to design methods that eliminate or decrease structures thermal influence on permafrost.

Usually choosing thermal stabilization solutions the task is to ensure foundation reliability on permafrost but also decrease the construction and operation expenses due to optimization of adopted decisions. Forecast modeling of soil bases temperature regime is required for this. Analysis of norms and standards showed the absence of standardized requirements to the calculations algorithm.

The article is devoted to the main problems of forecast modeling of soil base temperature regime and mistakes in selecting of thermal stabilization solutions. We give the examples of optimization of thermal stabilization solutions. Also, we determine the ways to solve the identified problems; these include typification of engineering and geocryological conditions, typification of structures by intensity of thermal influence, selecting of optimal thermal stabilization solutions for each type, standard elaboration of making forecast modeling of soil base temperature regime.

Key words: permafrost; forecast modeling; soil base temperature regime; thermal stabilization of soil; geotechnical monitoring

Введение

При использовании многолетнемерзлых грунтов (ММГ) в качестве оснований сооружений по принципу I в проектах оснований и фундаментов необходимо предусматривать мероприятия по устранению или уменьшению теплового воздействия сооружений на мерзлые грунты.

К объектам, оказывающим тепловое воздействие на грунты, относятся эксплуатационные скважины; трубопроводы подземной и наземной прокладки; подземные емкости; сооружения с полами по грунту; факельные установки и др.

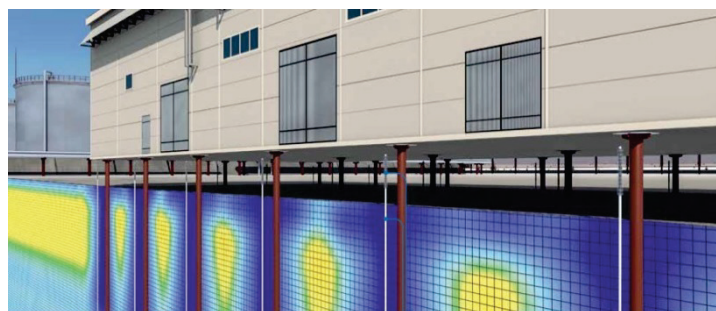
Также существенное влияние на повышение температуры грунтов оказывает изменение климатических параметров [1–7].



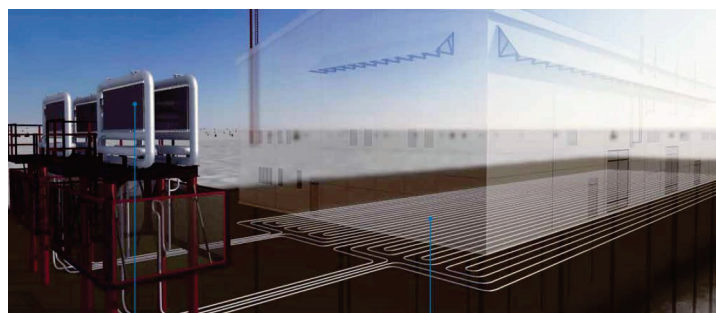
Рис. 1. Снегонакопление на объектах нефтегазовых месторождений в тундровой зоне

По данным метеостанции Тазовский, в последние годы среднегодовая температура воздуха превышает среднемноголетние значения на величину от 1,0 до 5,3 °С^{1,2,3}.

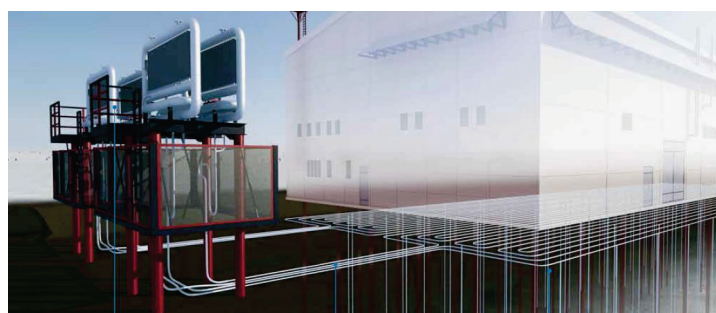
На объектах нефтегазовых месторождений в тундровой зоне высота снежного покрова зачастую выше климатической нормы в 2–3 раза из-за влияния метелевого переноса и конструктивных особенностей сооружений (рис. 1).



а)



б)



в)

Рис. 2. Активные методы ТСГ: а) СОУ; б) ГЕТ; в) ВЕТ

¹ Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3: Многолетние данные. Части 1–6. Выпуск 17. Тюменская и Омская области. – СПб.: Гидрометеиздат, 1998. – 703 с.

² СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200095546>.

³ Расписание погоды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rp5.ru/>.

При выборе решений по термостабилизации грунтов (ТСГ) перед проектировщиком обычно стоит задача не только обеспечить надежность оснований и фундаментов на мерзлых грунтах, но и снизить затраты на строительство и эксплуатацию сооружений за счет оптимизации принятых решений.

Методы термостабилизации делятся на пассивные и активные.

Пассивные методы:

- устройство вентилируемого подполья;
- теплоизоляция: в виде плоских экранов или трубчатая (теплоизоляция скважин и трубопроводов).

К активным методам (рис. 2) относятся [8]:

- индивидуальные сезоннодействующие охлаждающие устройства (СОУ);
- горизонтальные естественнодействующие трубчатые системы (ГЕТ);
- вертикальные естественнодействующие трубчатые системы (ВЕТ).

Чтобы принять решение о необходимости ТСГ, требуется выполнение прогнозных теплотехнических расчетов как на этапе проектирования, так и на этапе эксплуатации, в случае если не обеспечивается проектный температурный режим грунтов.

Анализ нормативной литературы показал отсутствие утвержденных требований к алгоритму выполнения прогнозных расчетов температурного режима грунтов^{4,5,6,7}.

В статье рассмотрены основные проблемы, возникающие при выполнении теплотехнических расчетов, и ошибки при выборе решений по термостабилизации грунтов, приведены примеры оптимизации решений по ТСГ, а также определены пути решения выявленных проблем.

Моделирование температурного режима грунтов оснований

Разработка раздела проектной документации «Температурная стабилизация грунтов» подразделяется на следующие этапы:

1 этап. Сбор исходных данных, выбор программного комплекса.

2 этап. Выполнение теплотехнических расчетов без применения мероприятий по ТСГ.

3 этап. Анализ результатов и решение о необходимости ТСГ.

Если по результатам расчета на весь расчетный срок эксплуатации несущая способность и устойчивость фундамента не обеспечивается, анализируется возможность изменения конструкции фундамента (увеличение длины свай, их диаметра и т. д.) или выполняется расчет при условии применения пассивных методов термостабилизации.

4 этап. Выбор мероприятий по ТСГ (при необходимости) и разработка чертежей.

В случае неэффективности пассивных методов разрабатывают мероприятия по ТСГ.

5 этап. Расчеты с учетом применения мероприятий по ТСГ.

⁴ СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88 [Электронный источник]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200095519>.

⁵ СТО Газпром 2-3.1-072-2006. Регламент на проведение геотехнического мониторинга объектов газового комплекса в криолитозоне [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elima.ru/docs/?id=6209>.

⁶ СТО Газпром 2-2.3-435-2010. Проектирование оснований, фундаментов, инженерной защиты и мониторинга объектов ОАО «Газпром» в условиях Крайнего Севера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.skonline.ru/doc/72467.html>.

⁷ РСН 67-87. Инженерные изыскания для строительства. Составление прогноза изменений температурного режима вечномерзлых грунтов численными методами [Электронный ресурс]. – Введ. 1988-01-01. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901708505>.

На этапе разработки проектной документации должны выполняться типизация инженерно-геокриологических условий в пределах площадки, типизация сооружений по конструктивным особенностям и тепловому воздействию на грунты.

Для каждой группы выбирается сооружение, для которого выполняются теплотехнические расчеты и, в случае необходимости, разрабатываются технические решения по ТСГ.

На стадии проектирования рабочей документации для сооружений, оказывающих тепловое воздействие на грунты оснований, а также для сооружений повышенного уровня ответственности является обязательным выполнение теплотехнических расчетов на весь срок эксплуатации (либо до наступления стабилизации температурного режима грунтов).

В настоящее время при проектировании на вечномёрзлых грунтах используются современные программные комплексы, такие как Frost 3D Universal, Permafrost 3D, TermoStab, Termoground и др., которые позволяют выполнять моделирование температурного режима грунтов численными методами.

Основным требованием, предъявляемым к численным методам, является решение уравнения теплопроводности с заданной точностью за приемлемое время. Сезонные колебания климатических параметров (температуры воздуха, скорости ветра, высоты снежного покрова) на верхней границе расчетной области задаются граничными условиями третьего рода. На нижней границе принимается постоянная температура, равная среднегодовой температуре грунта, принятой по данным изысканий. На боковых гранях расчетной области задается нулевой тепловой поток, что соответствует условию симметрии. Работа охлаждающих устройств моделируется внутренними граничными условиями третьего рода с параметрами, зависящими от времени. Выбор теплофизических параметров определяется типом грунта, его льдистостью/влажностью, значение температуры начала фазового перехода зависит от концентрации солей в поровой влаге [9].

Одной из основных проблем при выполнении прогнозных расчетов температурного режима грунтов оснований является выбор начальных условий. Низкое качество исходных данных, а также отсутствие единых, закрепленных в нормативных документах требований к выполнению данных расчетов приводят к ошибкам при выборе конструкции оснований и фундаментов.

Согласно требованиям^{8,9}, для всех зданий и сооружений, расположенных в районах распространения ММГ, необходимо проводить геотехнический мониторинг (ГТМ), который предусматривает контроль температурного и гидрогеологического (при необходимости) режима грунтов, перемещений конструкций фундаментов.

Примеры оптимизации решений по термостабилизации грунтов

1) Рассмотрим в качестве примера *результаты прогнозного расчета для сооружения с вентилируемым подпольем* — блока комплектной трансформаторной подстанции (размером 6,8 × 12,0 м).

По итогам выполнения прогнозного расчета проектной организацией представлены графики распределения температуры грунтов в основании сооружения на начало эксплуатации (рис. 3) и на конец тридцатого года эксплуатации (рис. 4). Анализ графиков показал значительное повышение температуры

⁸ СП 25.13330.2012.

⁹ СТО Газпром 2-3.1-072-2006.

грунтов под нижним концом свай: с $-2,6$ до $-1,6$ °С. Повышение температуры грунтов вызвано тем, что в расчетах значительно ухудшены исходные условия: предусмотрена укладка талой насыпи на непромерзший грунт, что противоречит нормативным требованиям¹⁰.

Помимо этого, одновременно учтено изменение температуры воздуха за счет глобального потепления климата [10–13] и применен температурный коэффициент $\gamma_t = 0,22$, учитывающий изменение температуры грунтов основания из-за случайных изменений температуры наружного воздуха, что существенно снизило несущую способность свай.

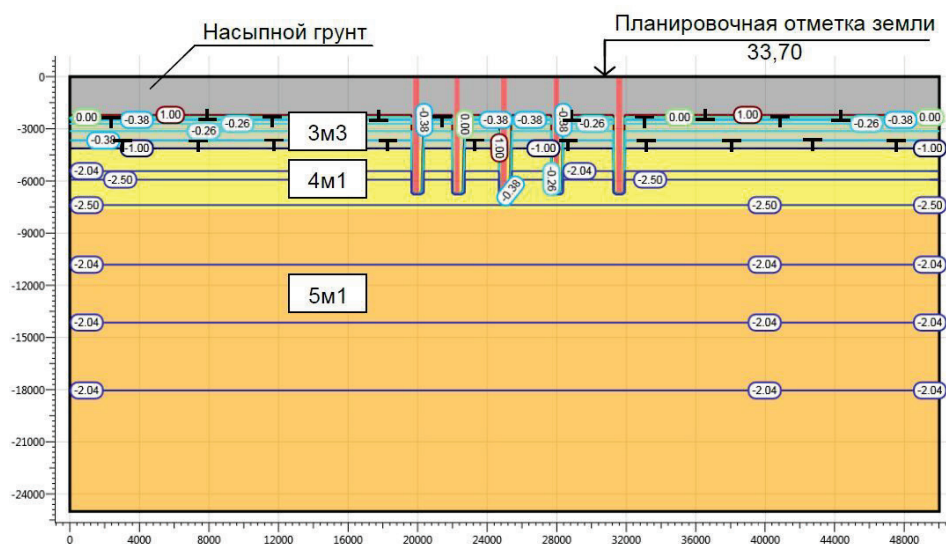


Рис. 3. Температура грунта на начало эксплуатации

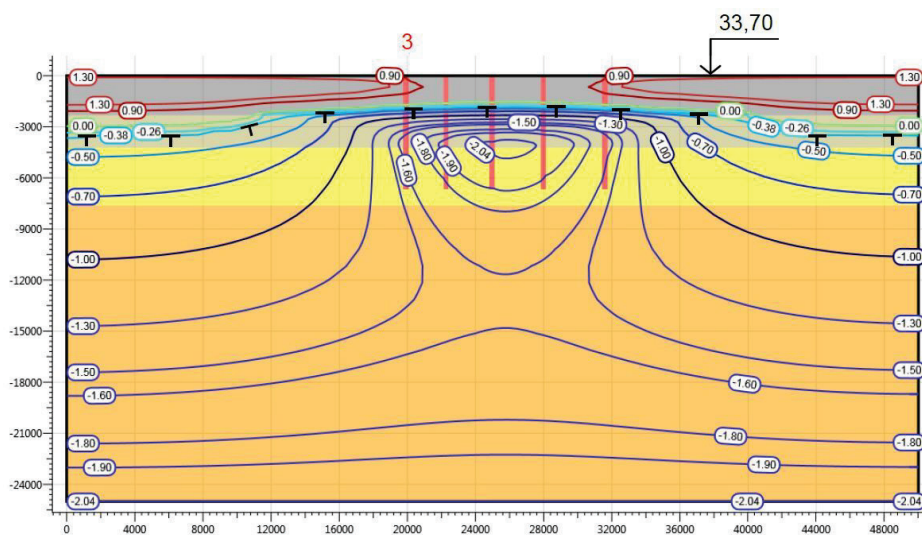


Рис. 4. Температура грунта на конец тридцатого года эксплуатации

¹⁰ СП 25.13330.2012.

2) *Расчет минимального расстояния между эксплуатационными скважинами.*

Как известно, тепловое воздействие от добывающих скважин является серьезной проблемой при их эксплуатации в условиях Крайнего Севера. При этом происходит вытаивание льда, содержащегося в мерзлом грунте, проседание грунта и формирование приустьевой воронки вблизи дневной поверхности, что может привести к нарушению устойчивости колонны скважины при ее возможных горизонтальных перемещениях [14–19].

В нормативно-методических документах, регламентирующих строительство и эксплуатацию скважин на мерзлых грунтах, предусматривается выполнение следующего условия: радиусы оттаивания мерзлых грунтов вокруг устьев соседних скважин не должны сливаться в течение всего периода эксплуатации¹¹.

Для этого необходимо выполнение прогнозных расчетов температурного режима грунтов оснований. На данный момент отсутствует единая методика, что зачастую приводит к ошибкам. Рассмотрим их на примере первоначальной версии расчетов, выполненных для кустовых площадок 4-й очереди. Анализ представленных проектной организацией прогнозных теплотехнических расчетов выявил следующие ошибки:

- не учтено взаимное тепловое влияние скважин при кустовом расположении;
- не учтена конвекция воздуха между насосно-компрессорной трубой и эксплуатационной колонной.
- отсутствует информация о сроках укладки насыпи и ее свойствах;
- использованное программное обеспечение не учитывает влияние сезонных изменений климата на верхней границе расчетной области.

Все это привело к сокращению радиусов растепления. Сравнение результатов расчетов для кустовых площадок 3-й и 4-й очереди показало, что значения радиусов оттаивания для 4-й очереди меньше примерно в два раза.

На основании выполненных расчетов проектным институтом было принято неверное решение о возможности применения конструкции скважины без термокейса при расстоянии между скважинами 14 м и температуре флюида 30 и 40 °С.

3) *Площадка сброса воды, площадка технологических аппаратов.*

Для площадки сброса воды и площадки технологических аппаратов I и II очереди Центрального пункта сбора были приняты следующие решения по ТСТ: для сооружений I очереди принят теплоизоляционный экран из Пеноплэкса толщиной 200 мм; для сооружений II очереди предлагается установка СОУ совместно с укладкой Пеноплэкса толщиной 100 мм.

Для оценки эффективности и экономической целесообразности предлагаемых проектных решений было выполнено следующее:

- сравнение инженерно-геологических условий и температуры грунтов на период изысканий для сооружений I и II очереди;
- сравнение длины свай в грунте;
- анализ прогнозных расчетов температурного режима грунтов основания;
- анализ данных ГТМ для сооружений I очереди.

Был сделан вывод, что для сохранения грунтов оснований сооружений в мерзлом состоянии достаточно укладки теплоизоляции из Пеноплэкса толщиной 200 мм, нет необходимости в применении СОУ.

¹¹ Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности» (утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12.03.2013 № 101). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499011004>.

Оптимизация мероприятий по ТСГ позволила существенно сократить капитальные затраты на строительство данных сооружений. Экономический эффект составил 6,4 млн руб. (таблица).

Экономический эффект

Показатель	Значение, тыс. руб.
Уменьшение затрат за счет исключения установки СОУ	8 474,63
Увеличение затрат за счет укладки слоя Пеноплэкса толщиной 200 мм	2 065,64
Экономический эффект	6 408,99

Результаты

Анализ проектных решений по температурной стабилизации грунтов оснований различных сооружений выявил типовые ошибки выполнения прогнозных теплотехнических расчетов, которые могут привести как к недооценке теплового влияния сооружения, так и к принятию избыточных решений, требующих значительных ресурсных и, следовательно, финансовых затрат.

Основные группы ошибок при выполнении теплотехнических расчетов:

1. Выполнение расчетов в программных комплексах, не прошедших верификацию с опытными данными, в том числе не учитывающих сезонную изменчивость метеорологических параметров (температура воздуха, снежный покров, скорость ветра).
2. Неправильный выбор исходных данных: инженерно-геологических условий и начальной температуры грунта; моделирование укладки насыпи на талый грунт, что приводит к повышению температуры грунтов и, следовательно, к уменьшению несущей способности свай.
3. Ошибки при построении расчетной модели: выбор размеров, граничных условий, шага сетки; учет взаимного влияния скважин при кустовом расположении и т. д.

Выводы

При проектировании сооружений на ММГ существуют следующие проблемы:

- отсутствие единых требований к выполнению прогнозных расчетов;
- отсутствие типовых решений по ТСГ;
- избыточность либо недостаточность мероприятий по ТСГ, предлагаемых проектировщиком.

Пути решения выявленных проблем:

- типизация инженерно-геокриологических условий;
- типизация сооружений по интенсивности теплового воздействия;
- выбор оптимальных решений по ТСГ для каждого выделенного типа;
- разработка регламента на выполнение прогнозных расчетов температурного режима грунтов оснований.

Библиографический список

1. Стрелецкий Д. А., Шикломанов Н. И., Гребенец В. И. Изменение несущей способности мерзлых грунтов в связи с потеплением климата на севере Западной Сибири // Криосфера Земли. – 2012. – Т. XVI, № 1. – С. 22–32.
2. Effect of snow cover on pan-Arctic permafrost thermal regimes / H. Park [et al.] // Climate Dynamics. – 2015. – Vol. 44, Issue 9–10. – P. 2873–2895. DOI: 10.1007/s00382-014-2356-5
3. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем: моногр. / О. А. Анисимов [и др.]; под ред. С. М. Семенова; Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). – М.: НИЦ «Планета», 2012. – 512 с.
4. Малкова Г. В., Павлов А. В., Скачков Ю. Б. Оценка устойчивости мерзлых толщ при современных изменениях климата // Криосфера Земли. – 2011. – Т. XV, № 4. – С. 33–36.
5. О роли некоторых природных факторов в промерзании грунтов / Н. И. Осокин [и др.] // Материалы гляциологических исследований. – 2000. – Вып. 88. – С. 41–45
6. Осокин Н. И., Сосновский А. В. Пространственная и временная изменчивость толщины и плотности снежного покрова на территории России // Лёд и Снег. – 2014. – Т. 54, № 4. – С. 72–80. DOI: 10.15356/2076-6734-2014-4-72-80
7. Осокин Н. И., Сосновский А. В. Влияние динамики температуры воздуха и высоты снежного покрова на промерзание грунта // Криосфера Земли. – 2015. – Т. XIX, № 1. – С. 99–105.
8. Системы температурной стабилизации грунтов оснований в криолитозоне: актуальные вопросы исследований, расчетов, проектирования, производства, строительства, авторского надзора и мониторинга: труды ученых и специалистов ООО НПО «Фундаментстройаркос» (за 2010–2014 гг.) / Науч. ред. Г. М. Долгих; НПО «Фундаментстройаркос». – Новосибирск: Гео, 2014. – 217 с.
9. Курчатова А. Н., Посконина Е. А. Моделирование теплового взаимодействия песчаной насыпи и мерзлых грунтов основания // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2018. – № 4. – С. 28–32. DOI: 10.1007/s11204-018-9537-x
10. Анисимов О. А., Жильцова Е. Л. Об оценках изменений климата регионов России в 20 и начале 21 веков по данным наблюдений // Метеорология и гидрология. – 2012. – № 6. – С. 95–107.
11. Израэль Ю. А., Павлов А. В., Анохин Ю. А. Эволюция криолитозоны при современных изменениях глобального климата // Метеорология и гидрология. – 2002. – № 1. – С. 22–34.
12. Васильев А. А., Дроздов Д. С., Москаленко Н. Г. Динамика температуры многолетнемерзлых пород Западной Сибири в связи с изменениями климата // Криосфера Земли. – 2008. – Т. XII, № 2. – С. 10–18.
13. Хрусталев Л. Н., Давыдова И. В. Прогноз потепления климата и его учет при оценке надежности оснований зданий на вечномёрзлых грунтах // Криосфера Земли. – 2007. – Т. XI, № 2. – С. 68–75.
14. Горелик Я. Б., Солдатов П. В., Селезнев А. А. Инженерно-геокриологические условия Ямбургского газоконденсатного месторождения и динамика состояния кустовых площадок эксплуатационных скважин // Криосфера Земли. – 2015. – Т. XIX, № 1. – С. 58–69.
15. Горелик Я. Б., Солдатов П. В. Метод расчета вертикальной нагрузки на крепь скважины при оттаивании вмещающих мерзлых пород // Криосфера Земли. – 2018. – Т. XXII, № 2. – С. 50–60. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2018-2(50-60)
16. Горелик Я. Б., Романюк С. Н., Хабитов А. Х. Учет совместного теплового действия скважин в кусте при расчете параметров области протаивания мерзлых грунтов // Криосфера Земли. – 2019. – Т. XXIII, № 2. – С. 79–87. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2019-2(79-87)
17. Goodman M. A. Arctic well completion. Part 5. Designing casing and wellheads for Arctic service // World Oil. – 1978. – Vol 186. – Available at: <https://www.osti.gov/biblio/6437799>.
18. Xie J. Analysis of Thaw Subsidence Impacts on Production Wells // SIMULIA Customer Conference (May, 18–21). – 2009. – Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/ff15/8bfc58824e50be79270fb75760fe2bb13ff6.pdf>.
19. Xie J. A Study of Strain-Based Design Criteria for Thermal Well Casings. World Heavy Oil Congress (March, 10–12, 2008). – Edmonton. – Available at: https://www.researchgate.net/profile/Jueren_Xie/publication/308709439_A_Study_of_Strain-Based_Design_Criteria_for_Thermal_Well_Casings/links/57ec206908ae92a5dbd06169/A-Study-of-Strain-Based-Design-Criteria-for-Thermal-Well-Casings.pdf.

References

1. Streletskiy, D. A., Shiklomanov, N. I., & Grebenets, V. I. (2012). Changes of foundation bearing capacity due to climate warming in Northwest Siberia. *Earth's Cryosphere*, XVI(1), pp. 22-32. (In Russian).
2. Park, H., Fedorov, A. N., Zheleznyak, M. N., Konstantinov, P. Y., & Walsh, J. E. (2015). Effect of snow cover on pan-Arctic permafrost thermal regimes. *Climate Dynamics*, 44(9-10), pp. 2873-2895. (In English). DOI: 10.1007/s00382-014-2356-5
3. Anisimov, O. A., Borshch, S. V., Georgievskiy, V. Yu., Insarov, G. E., Kobysheva, N. V., Kostyanov, A. G.,... Shmakin, A. B. (2012). *Metody otsenki posledstviy izmeneniya klimata dlya fizicheskikh i biologicheskikh sistem: monogr.* Moscow, Planeta SRC Publ., 512 p. (In Russian).
4. Malkova, G. V., Pavlov, A. V., & Skachkov, Yu. B. (2011). Otsenka ustoychivosti merzlykh tolshch pri sovremennykh izmeneniyakh klimata. *Earth's Cryosphere*, XV(4), pp. 33-36. (In Russian).
5. Osokin, N. I., Samoylov, R. S., Sosnovskiy, A. V., & Sokratov, S. A. (2000). Role of some natural factors in freezing of soils. *Data of glaciological studies*, (88), pp. 41-45. (In Russian).
6. Osokin, N. I., & Sosnovsky, A. V. (2014). Spatial and temporal variability of depth and density of the snow cover in Russia. *Ice and Snow*, 54(4), pp. 72-80. (In Russian). DOI: 10.15356/2076-6734-2014-4-72-80
7. Osokin, N. I., & Sosnovskiy, A. V. (2015). Impact of dynamics of air temperature and snow cover thickness on the ground freezing. *Earth's Cryosphere*, XIX(1), pp. 99-105. (In Russian).
8. Dolgikh, G. M. (Ed.). (2014). *Sistemy temperaturnoy stabilizatsii gruntov osnovaniy v kriolitozone: aktual'nye voprosy issledovaniy, raschetov, proektirovaniya, proizvodstva, stroitel'stva, avtorskogo nadzora i monitoringa: trudy uchenykh i spetsialistov OOO NPO "Fundament-stroyarkos" (za 2010-2014 gg.).* Novosibirsk, Geo Publ., 217 p. (In Russian).
9. Kurchatova, A. N., & Poskonina, E. A. (2018). Modeling of the thermal interaction of sandy fill and frozen base soils. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, (4), pp. 28-32. (In Russian). DOI: 10.1007/s11204-018-9537-x
10. Anisimov, O. A. & Zhil'tsova, E. L. (2012). Climate Change Estimates for the Regions of Russia in the 20th Century and at the Beginning of the 21st Century Based on the Observation Data. *Meteorologiya i Gidrologiya*, (6), pp. 95-107. (In Russian).
11. Izrael, Yu. A., Pavlov, A. V., & Anokhin, Yu. A. (2002). Evolution of the Cryolithozone under Present-Day Global Climate Changes. *Meteorologiya i Gidrologiya*, (1), pp. 22-34. (In Russian).
12. Vasiliev, A. A., Drozdov, D. S., & Moskalenko, N. G. (2008). Permafrost temperature dynamics of West Siberia in context of climate change. *Earth's Cryosphere*, XII(2), pp. 10-18. (In Russian).
13. Khrustalyov, L. N., & Davidova, I. V. (2007). Forecast of climate warming and account of it at estimation of foundation reliability for buildings in permafrost zone. *Earth's Cryosphere*, XI(2), pp. 68-75. (In Russian).
14. Gorelik, J. B., Soldatov, P. V., & Seleznev, A. A. (2015). Engineering and geocriological conditions of the Yamburg gas and condensate reservoir and dynamics of the ground state of boreholes. *Earth's Cryosphere*, XIX(1), pp. 58-69. (In Russian).
15. Gorelik, J. B., & Soldatov, P. V. (2018). Method of calculation of axial load on the well's casing during thawing of frozen host sediments. *Earth's Cryosphere*, XXII(2), pp. 50-60. (In Russian). DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2018-2(50-60)
16. Gorelik, J. B., Romanyuk, S. N., Khabitov, A. H. (2019). Constraining thaw boundary around multiple wells with regard to their joint thermal effect. *Earth's Cryosphere*, XXIII(2), pp. 79-87. (In Russian). DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2019-2(79-87)
17. Goodman, M. A. (1978). Arctic well completion. Part 5. Designing casing and wellheads for Arctic service. *World Oil*, 186. (In English). Available at: <https://www.osti.gov/biblio/6437799>
18. Xie, J. (2009). Analysis of Thaw Subsidence Impacts on Production Wells. *SIMULIA Customer Conference* (May, 18-21). (In English). Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/ff15/8bfc58824e50be79270fb75760fe2bb13ff6.pdf>
19. Xie, J. A (2008). Study of Strain-Based Design Criteria for Thermal Well Casings. *World Heavy Oil Congress* (March, 10-12, 2008). Edmonton. (In English). Available at: https://www.researchgate.net/profile/Jueren_Xie/publication/308709439_A_Study_of_Strain-Based_Design_Criteria_for_Thermal_Well_Casings/links/57ec206908ae92a5dbd06169/A-Study-of-Strain-Based-Design-Criteria-for-Thermal-Well-Casings.pdf

Сведения об авторах

Посконина Елена Александровна, главный специалист отдела по геотехническому мониторингу, АО «Мессояханефтегаз», г. Тюмень, e-mail: Poskonina.EA@tmn.gazprom-neft.ru

Курчатова Анна Николаевна, к. г.-м. н., начальник отдела по геотехническому мониторингу, АО «Мессояханефтегаз», доцент кафедры криологии Земли, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Information about the authors

Elena A. Poskonina, Chief Specialist of the Department of Geotechnical Monitoring, Messoyakhaneftegaz JSC, Tyumen, e-mail: Poskonina.EA@tmn.gazprom-neft.ru

Anna N. Kurchatova, Candidate of Geology and Mineralogy, Head of the Department of Geotechnical Monitoring, Messoyakhaneftegaz JSC, Tyumen, Associate Professor at the Department of the Earth's Cryology, Industrial University of Tyumen