

УДК 622.691.4

Технология управления рисками аварийных ситуаций на объектах добычи и транспорта газа Ямбургского НГКМ, связанных с воздействием сил морозного пучения на свайные фундаменты

ISSN 1812-5220
© Проблемы анализа риска, 2017

А. К. Арабский,
О. Б. Арно,
Ш. Г. Балтабаев,
Е. П. Серебряков,
ООО «Газпром добыча Ямбург»,
ЯНАО, г. Новый Уренгой
М. С. Лебедев,
ООО «Газпром трансгаз
Ставрополь»
Е. Т. Лебедева,
Северо-Кавказский
федеральный университет,
г. Ставрополь

Аннотация

При эксплуатации объектов газового комплекса в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород существуют риски развития негативных геокриологических процессов и явлений. Один из них — криогенное пучение грунтов, проявляющееся в виде бугров пучения и морозобойных трещин, ведущих к деформациям и перемещениям свайных фундаментов. Контроль и управление этим процессом включает геотехнический мониторинг состояния оснований и фундаментов с принудительной разгрузкой напряжения оснований, что практически исключает риск развития аварийных ситуаций.

Ключевые слова: морозное пучение грунтов, надмерзлотный водоносный горизонт, бугры пучения, морозобойные трещины, водопонижающие колодцы, режимные геотемпературные измерения, зонная гидродинамическая модель.

Содержание

Введение

1. Характеристика объектов и оснований Ямбургского НГКМ
2. Риски воздействия негативных инженерно-геологических процессов на объекты
3. Характеристика явлений, связанных с пучением и осадкой свайных фундаментов
4. Мониторинг состояния объектов и исследования многолетнемерзлых пород
5. Технологии управления рисками морозного пучения на площадках УКПГ

Заключение

Литература

Введение

Ямбургское НГКМ (ЯНГКМ) расположено в Надымском и Тазовском районах ЯНАО (Тазовский п-ов) и входит в северную геокриологическую зону сплошного распространения многолетнемерзлых пород (ММП) мощностью более 300 м. Верхняя часть разреза сложена сильнольдистыми песками, супесями и частично суглинками, перекрытыми сверху биогенными грунтами различного генезиса. Среднегодовые температуры многолетнемерзлых грунтов рассматриваемой территории изменяются от -3 до -5 °С. Мощность деятельного слоя изменяется в пределах первых метров и достигает первых десятков метров в местах развития сточных и бессточных термокарстовых понижений [1]. Строительство зданий и сооружений в таких условиях действующие нормативы допускают лишь по первому принципу: грунты основания используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и всего срока эксплуатации зданий и сооружений. В случае растепления мерзлых грунтов их несущая способность практически обнуляется, что автоматически ведет к техногенным и экологическим катастрофам. Но даже если поддерживать ММП практически в естественном состоянии, всевозможные естественные и техногенные геокриологические процессы достаточно часто приводят к потенциальным аварийным ситуациям, выход из которых невозможен без использования специальных методов и технологий. В настоящей статье рассматривается один из инновационных методов управления геокриологической ситуацией, связанной с явлениями морозного пучения грунтов на площадках эксплуатируемых объектов нефтегазового добывающего комплекса, т.е. в up-stream нефтегазовой цепочке.

1. Характеристика объектов и оснований Ямбургского НГКМ

Строительство всех зданий и сооружений ЯНГКМ осуществлено по первому принципу. Инженерные сооружения ЯНГКМ установлены на металлических сваях различного диаметра и длины, боковые поверхности которых по проектным расчетам обладают силами сцепления с ММП,

гарантирующими их надежную эксплуатацию. Учитывая непредсказуемость поведения ММП во времени и потенциальные климатические колебания, все объекты ЯНГКМ (кусты газовых скважин, газопроводы-шлейфы, межпромысловые коллекторы, установки предварительной и комплексной подготовки газа) подлежат геотехническому контролю (мониторингу) на всех стадиях жизненного цикла (строительство, эксплуатация, ликвидация) [2].

Эксплуатационная надежность таких сооружений зависит от множества факторов. К ним относят сохранение положения кровли ММП и естественных инженерно-геологических свойств грунтов в интервале погружения свай. В этих целях с начала строительства и на протяжении эксплуатации сооружений проводятся геотехнический мониторинг (ГТМ) и обследование состояния оснований и фундаментов сооружений. Результаты ГТМ свидетельствуют об изменениях естественного состояния верхней части разреза на участках расположения производственных и непроизводственных объектов, приводящих в ряде случаев к ухудшению эксплуатационных характеристик оснований. Общие закономерности ухудшения во времени геокриологических и гидрогеологических условий связаны с изменением условий теплового обмена оснований с окружающей средой на их поверхности, обусловленных климатическими, геоморфологическими и другими факторами. В весенне-летний период происходят увеличение водонасыщенности сезонно-талого слоя (СТС), подъем уровней грунтовых вод, приводящий к усилению отепляющего воздействия. Комплекс факторов (инженерно-геологических, гидрогеологических, метеорологических и др.) в ряде случаев приводит к преобразованиям в зоне деятельного слоя, ведущим к формированию неблагоприятных для сооружений явлений, таких как криогенное пучение грунтов. Оно проявляется в выпучивании свай, деформации линейных сооружений, образовании бугров пучения и их прямом воздействии на конструкции сооружений. Все это значительно снижает эксплуатационную надежность объектов добычи и транспорта газа [3].

2. Риски воздействия негативных инженерно-геологических процессов на объекты

Обобщенная схема воздействия негативных инженерно-геологических процессов и явлений на объекты ЯНГКМ с учетом ряда объективных факторов представлена на рис. 1. Рассмотрим риски наиболее вероятных результатов, их развитие и проявление на различных зданиях и сооружениях [2, 4]:

- пучение и осадка свайных фундаментов сооружений, часто с отрывом сварных соединений ригелей;
- повышение геотемпературного поля грунтовых оснований, понижение кровли многолетнемерзлых пород и потеря устойчивости свайных фундаментов;
- развитие деформаций свайных фундаментов, вызванных воздействием нормальных и касательных сил морозного пучения грунтов;

- развитие однолетних бугров пучения и их воздействие на здания и сооружения;
- повышение обводненности локальных участков вследствие понижения кровли многолетнемерзлых пород.

Следует отметить, что одновременно в агрегатах цехов и трубопроводах обвязки под давлением находится свыше 70 млн м³ газа. Следовательно, аварийная ситуация на одном из узлов газового промысла может повлечь выход из строя всей площадки с серьезными экономическими потерями. Потенциальный ущерб от аварий на объектах Ямбургского НГКМ включает:

- социальный ущерб, наносимый здоровью и жизни людей;
- экономический ущерб (стоимость потерянного газа, затраты на восстановление работоспособности объектов газовых промыслов, дорог, участков прилегающей тундры);
- экологический ущерб — загрязнение атмосферы, негативное воздействие на почву, водоемы, биоту.

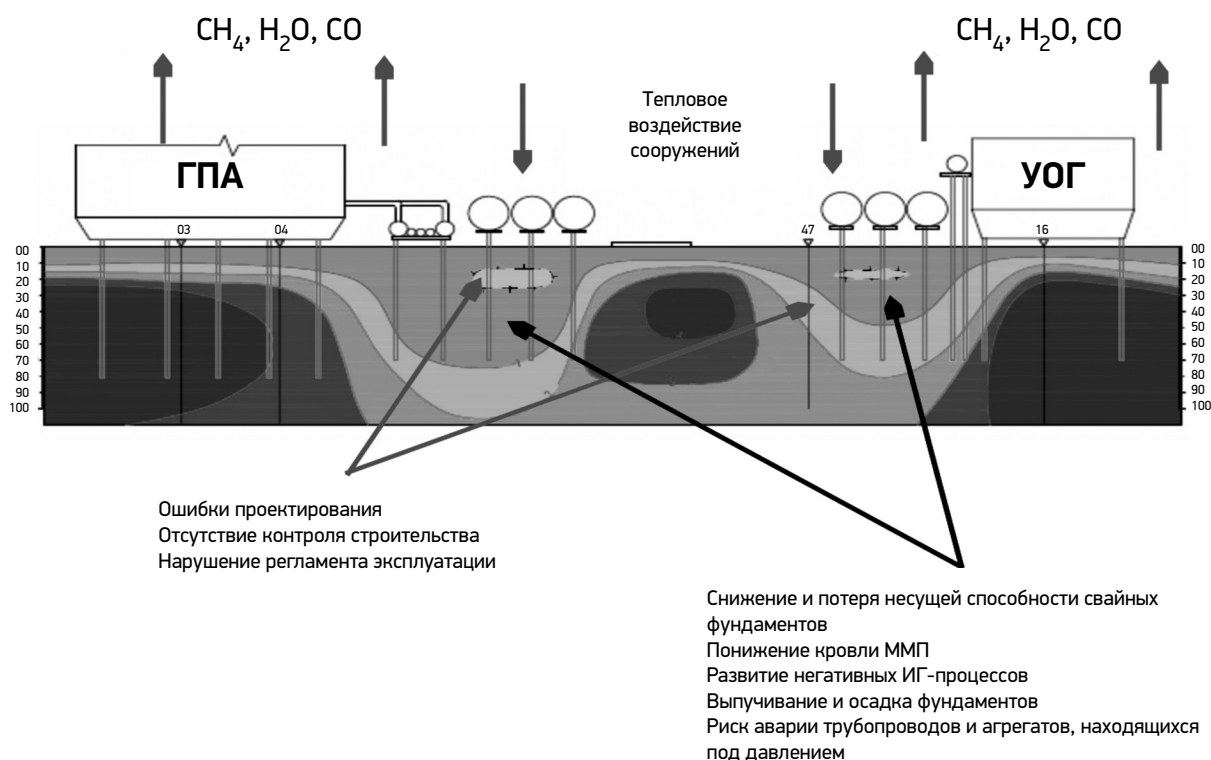


Рис. 1. Схема взаимодействия площадок газовых промыслов ЯНГКМ с окружающей средой с учетом ряда объективных факторов

Поэтому необходимо обеспечить безаварийную работу всего комплекса оборудования на площадке, главным условием которой является удержание параметров геотехнической системы в пределах установленных норм.

3. Характеристика явлений, связанных с пучением и осадкой свайных фундаментов

Наиболее опасными процессами, способными привести к возникновению серьезных аварийных ситуаций, являются пучение и осадка свайных фундаментов, образование бугров пучения с деформирующим воздействием на инженерные сооружения. Бугры пучения могут быть однолетними и многолетними и выражаются в рельефе повышениями (буграми) высотой от долей до нескольких десятков метров. Возникновение бугров пучения связано со сложными физико-механическими и гидрологическими процессами, происходящими в большинстве случаев в деятельном слое — зоне распространения надмерзлотных вод. Встречаются еще более сложные по строению бугры пучения (гидролакколиты), возникающие при внедрении переохлажден-

ных вод высоконапорных межмерзлотных и подмерзлотных горизонтов [5]. Основным условием пучения любого грунта служит превышение общего объема замерзшей и незамерзшей воды, аккумулированной в массиве промерзшего грунта, над объемом свободных от воды пор немерзлого грунта того же массива. Количество замерзшей воды, вызывающей пучение грунта, определяет избыточное льдовыделение. Пучение грунта не будет наблюдаться, если объем свободных от воды пор равен или больше приращения объема замерзшей воды, характеризующей при данных условиях систему «лед — цемент».

Бугры пучения и деформации свайных фундаментов различной амплитуды фиксировались после таяния снежного покрова на многих площадках Ямбургского месторождения. Наиболее ярким примером является неоднократное появление бугров пучения в районе агрегатов воздушного охлаждения (АВО) газа I очереди ДКС УКПГ-1В (рис. 2) диаметром около 4,0 м и высотой до 1,0 м и меньшей амплитуды в районах технологических трубопроводов обвязки компрессорного цеха, отдельных агрегатов компрессорного цеха и здания пультовой



Рис. 2. Бугор пучения на площадке АВО газа ДКС УКПГ-1В, вскрытый разгрузочной скважиной (июнь 2009 г.)

ДКС. В 2009 г. бугор пучения в районе АВО газа ДКС кровельной частью упирался в коллектор АВО газа DN1000 высокого давления и мог стать причиной возникновения серьезной аварийной ситуации. Деформирующие нагрузки были ликвидированы благодаря своевременному бурению разгрузочных скважин в сводовой и присводовой частях образовавшегося гидроакколита при помощи установки УКБ 12/25 [6]. При вскрытии вершинной части бугра наблюдалось интенсивное фонтанирование вод напорного надмерзлотного горизонта (см. рис. 2). При оттаивании сезонно-мерзлого слоя в летний период поверхность бугра пучения нивелировалась процессами оседания, принимая начальное (горизонтальное) положение.

4. Мониторинг состояния объектов и исследования многолетнемерзлых пород

Инженерно-технический центр ООО «Газпром добыча Ямбург» в соответствии с требованиями СТО Газпром 2-3.1-071-2006 «Регламент организации работ по геотехническому мониторингу объектов газового комплекса в криолитозоне» и СТО Газпром 2-3.1-072-2006 «Регламент на проведение геотехнического мониторинга объектов газового комплекса в криолитозоне» осуществляет режимные измерения температур грунтов, используемых в качестве оснований зданий и сооружений объектов ЯНГКМ. Также проводится обследование вертикальных и горизонтальных подвижек свайных фундаментов методами сравнительного анализа (ежегодные обследования оснований и геодезические измерения количественного перемещения специально установленных марок относительно глубинных реперов) [2, 4]. Получаемые результаты формируют базу данных, выборки из которой лежат в основе комплексного анализа состояния сезонно-мерзлых и многолетнемерзлых грунтов и влияния их изменений на свайные фундаменты инженерных сооружений. Наряду с перечисленными параметрами используются метеорологические данные и результаты снегомерной съемки как основные факторы формирования температурного режима грунтов оснований. Полученные материалы являются основой для построения карт мощностей сезонно-мерзлого (сезонно-талого) слоя и ежегодных геотемпературных срезов по фак-

тическим результатам геотехнического мониторинга. В частности, представленные материалы по состоянию на сентябрь-октябрь 2009 г. свидетельствуют об отсутствии условий формирования напорного горизонта подземных вод в пределах СТС (промерзание грунтов с поверхности). В дальнейшем по мере понижения температуры начинают формироваться сезонно-мерзлые породы, а в безнапорном надмерзлотном водоносном горизонте образуются локальные напорные участки. Последующее промерзание обеспечивает формирование в пределах СТС напорного водоносного горизонта за счет частичного отступления грунтовых вод перед фронтом промерзания в талую область, с увеличением во времени величин напоров (декабрь — март). В конце зимнего периода завершается формирование зон повышенных напоров, существующие гидрогеологические окна изолируются друг от друга, и в окончательно сформировавшихся линзах надмерзлотных вод наблюдается стремительный рост напоров, приводящий в феврале — мае к нарушению равновесия замкнутой системы.

На основе интерпретации геотемпературных данных выполнены построения схем распространения участков сезонно-талого слоя на конец зимнего периода за весь период проведения режимных наблюдений начиная с 2006 г. Целью данных построений являлась разработка зонной гидродинамической модели надмерзлотного водоносного горизонта площадки УКПГ-1В (рис. 3). На модели выделена зона распространения водоносного горизонта на конец зимних периодов наблюдений, отсутствия распространения надмерзлотного водоносного горизонта (ММП сливающегося типа) и 14 зон переходного типа (32% площади УКПГ), где в различные годы фиксировалось наличие надмерзлотного водоносного горизонта в конце зимних периодов [6]. Последние характеризуются наибольшим развитием процессов криогенного пучения грунтов (бугры пучения, морозобойные трещины) и развитием деформаций свайных фундаментов.

Степень опасности развития процессов пучения можно оценивать по объемам защемленной жидкости надмерзлотного водоносного горизонта для каждой зоны. Комплексная оценка гидродинамических, климатических, геотемпературных и других

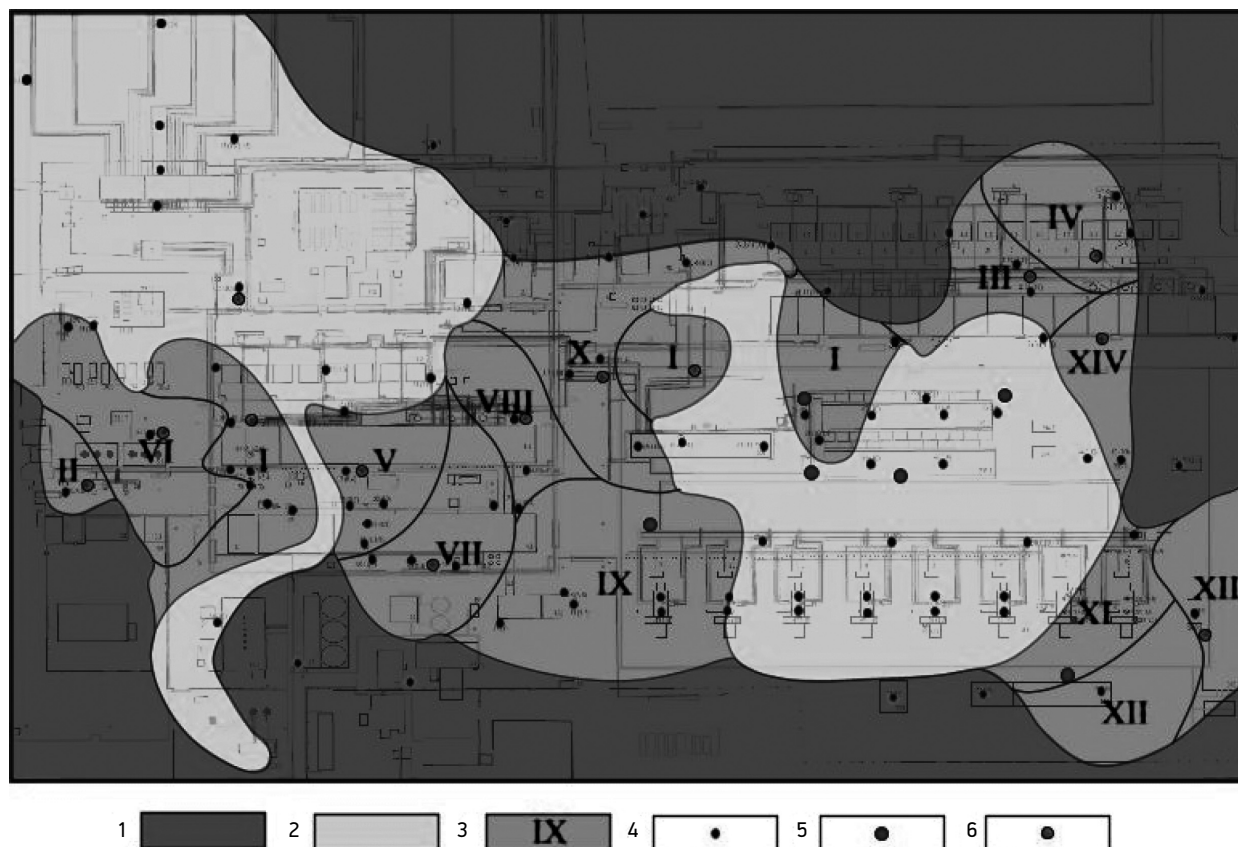


Рис. 3. Зонная гидродинамическая модель надмерзлотного водоносного горизонта площадки УКПГ-1В Ямбургского НГКМ:

1 — область отсутствия надмерзлотного водоносного горизонта; 2 — область условно постоянного распространения надмерзлотного водоносного горизонта; 3 — гидродинамическая зона ограниченного во времени распространения надмерзлотного водоносного горизонта и ее номер; 4 — термометрическая скважина; 5 — гидрогеологический колодец существующий; 6 — гидрогеологический колодец проектируемый (для минимизации воздействия процессов криогенного пучения грунтов в пределах всей площадки)

параметров в процессе перехода надмерзлотного водоносного горизонта от безнапорного состояния к напорному позволяет во времени оценивать изменения гидродинамической системы и прогнозировать места развития криогенных процессов и явлений. Проведение в этих местах точечных изменений параметров гидродинамической системы позволяет минимизировать развитие криогенных процессов, а также деформации свайных фундаментов. Другими словами — специальные точечные воздействия позволяют управлять определенным рядом криогенных процессов, а значит, и рисками их проявления.

5. Технологии управления рисками морозного пучения на площадках УКПГ

С 2010 г. на площадке ДКС УКПГ-1В проводятся экспериментальные работы по разгрузке криогенных напоров методом ручного вскрытия интервала дренирования напорного водоносного горизонта. Вначале (2010—2011 гг.) использовалась технология восстановления стволов термометрических скважин диаметром 40 мм с помощью ручного инструмента. Вскрываемая толщина ледяной пробки в колодцах составила 0,8—1,4 м. Разгрузка пластовой жидкости производилась на самоизливе

с начальными дебитами 0,4—1,5 м³/ч и криогенными напорами 1,0—3,1 м. Продолжительность самоизлива по всем точкам наблюдения составила 0,2—1,0 ч, что сопоставимо с емкостными характеристиками выделенных гидродинамических зон. В 2012—2014 гг. для разгрузки надмерзлотного водоносного горизонта была разработана технология с применением гидрогеологических разгрузочных трубок, устанавливаемых в летний период в существующие гидрогеологические колодцы. В зимние периоды разгрузка осуществлялась путем вскрытия гидрогеологических разгрузочных трубок. Экспериментальные работы проводились в 2010—2014 гг. с середины и до конца каждого зимнего периода. После таяния снежного покрова проводились работы по плановому обследованию оснований и фундаментов зданий и сооружений, которыми зафиксировано отсутствие каких-либо признаков проявления процессов криогенного пучения грунтов. Кроме того, на участке проведения экспериментальных работ за 2010—2015 гг. не зафиксированы новые деформации свайных фундаментов, отсутствовали приращения по деформациям, зафиксированным до 2010 г. [6]. Данными режимных геотемпературных наблюдений 2010—2016 гг. зафиксирована слабая динамика понижения средних температур многолетнемерзлых грунтов на 0,1 °С, что свидетельствует о начальном этапе стабилизации геотехнической системы. И этому есть достаточно простое физическое объяснение. Удаление вполне определенных объемов не замерзшей воды при разгрузке надмерзлотного водоносного горизонта сопровождается удалением из него тепла, которое выделилось бы при переходе этой воды в лед. Следовательно, все это тепло пошло на понижение температуры многолетнемерзлых пород.

Заключение

По результатам всего объема проведенных экспериментальных работ разработана инновационная технология управления криогенными процессами [7]. Ее суть заключается в проведении в заданные моменты регулирующих воздействий на гидрогеологический режим надмерзлотного водоносного горизонта или его участков с целью минимизации потенциального воздействия процессов, вызываемых криогенным пучением грунтов, на фундамен-

ты сооружений. Для этого используются гидрогеологические разгрузочные трубки, через внутреннее пространство которых периодически производят разгрузку подземных вод локальных участков надмерзлотного водоносного горизонта в течение зимнего периода. Внедрение данной технологии на площадке ДКС-1В позволилократно снизить риск развития негативных инженерно-геологических процессов и явлений, повысить экологическую и промышленную безопасность эксплуатации зданий и сооружений. Дальнейшие работы по минимизации процессов криогенного пучения грунтов и снижению риска возникновения аварийных ситуаций связаны с увеличением количества водопонижающих колодцев на участках переходных гидродинамических зон (см. рис. 3) и постепенным внедрением на территории большинства установок комплексной и предварительной подготовки газа, а также вспомогательной инфраструктуры ЯНГКМ.

Литература

1. Геокриология СССР. Зап. Сибирь / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра, 1989. 454 с.
2. Балтабаев Ш.Г., Серебряков Е.П., Лебедев М.С., Лебедева Е.Т. Геотехнический мониторинг Ямбургского НГКМ в условиях сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов // Инженерные изыскания. 2015. № 1. С. 64—69.
3. Рекомендации по учету и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов. М.: Стройиздат, 1986. 72 с.
4. Балтабаев Ш.Г., Серебряков Е.П., Лебедев М.С., Лебедева Е.Т. Система геотехнического мониторинга объектов добычи углеводородов в условиях сплошного распространения многолетнемерзлых пород на примере Ямбургского НГКМ // Материалы Международной научно-практической конференции Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Архангельск, 2015. С. 16—21.
5. Ломтадзе В.Д. Инженерная геодинамика. Л.: Недра, 1977. 479 с.
6. Балтабаев Ш.Г., Серебряков Е.П., Лебедев М.С., Лебедева Е.Т., Макшанцева Д.В. Повышение эксплуатационной надежности свайных фундаментов сооружений на примере ГП-1В Ямбургского НГКМ // Газовая промышленность. Спецвыпуск «Надежность объектов Единой системы газоснабжения. 2015. № 724. С. 71—75.

7. Патент 2602538 РФ. МПК E02D27/35, (2006.01). Способ снижения воздействия сил морозного пучения и повышения устойчивости свайных фундаментов в криолитозоне / Арно О.Б., Арабский А.К., Балтабаев Ш.Г., Серебряков Е.П., Лебедев М.С., Лебедева Е.Т. — №2015137662/03; заявл. 03.09.2015. Опубл. 20.11.2016. Бюлл. № 32.

Сведения об авторах

Арабский Анатолий Кузьмич: доктор технических наук, заместитель главного инженера по научно-технической работе и экологии ООО «Газпром добыча Ямбург»

Количество публикаций: 233

Область научных интересов: нефтегазовая промышленность

Контактная информация:

Адрес: 629306, ЯНАО, г. Новый Уренгой, ул. Геологоразведчиков, д. 9

Тел.: +7 (3494) 966-015

E-mail: a.arabskii@mail.ru

Арно Олег Борисович: генеральный директор ООО «Газпром добыча Ямбург»

Количество публикаций: 2

Область научных интересов: нефтегазовая промышленность

Контактная информация:

Адрес: 629306, ЯНАО, г. Новый Уренгой, ул. Геологоразведчиков, д. 9

Тел.: +7 (3494) 966-020

E-mail: priemnaia@ygd.gazprom.ru

Балтабаев Шухрат Ганиевич: начальник филиала Инженерно-технического центра ООО «Газпром добыча Ямбург»

Количество публикаций: 5

Область научных интересов: нефтегазовая промышленность

Контактная информация:

Адрес: 629306, ЯНАО, г. Новый Уренгой, ул. Геологоразведчиков, д. 9

Тел.: +7 (3494) 967-029

E-mail: sgd1964@mail.ru

Серебряков Евгений Петрович: заместитель начальника филиала Инженерно-технического центра по Ямбургскому НГКМ ООО «Газпром добыча Ямбург»

Количество публикаций: 33

Область научных интересов: нефтегазовая промышленность

Контактная информация:

Адрес: 629306, ЯНАО, г. Новый Уренгой, ул. Геологоразведчиков, д. 9

Тел: +7 (982) 400-00-84

E-mail: e.serebryakov@inbox.ru

Лебедев Михаил Сергеевич: кандидат геолого-минералогических наук, ведущий геолог службы геотехнического мониторинга Инженерно-технического центра ООО «Газпром трансгаз Ставрополь»

Количество публикаций: 43

Область научных интересов: нефтегазовая промышленность

Контактная информация:

Адрес: 356242, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Чкалова, д. 39, кв. 1

Тел.: +7 (988) 097-53-82

E-mail: mlebedev856@yandex.ru

Лебедева Елена Тимофеевна: старший преподаватель Института нефти и газа Северо-Кавказского федерального университета

Количество публикаций: 16

Область научных интересов: надежность оснований и фундаментов объектов в криолитозоне, инженерные изыскания для строительства магистральных трубопроводов

Контактная информация:

Адрес: 356242, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Чкалова, д. 39, кв. 1

Тел.: +7 (918) 805-14-98

E-mail: elebedeva229@mail.ru