

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

SCIENTIFIC-TECHNICAL JOURNAL

DESIGN AND DEVELOPMENT OF OIL AND GAS FIELDS

Строительство
скважин.
Оборудование
и технологии

Освоение шельфа

Топлива
в нефтегазодобыче

Защита окружающей
среды от загрязнения

Правовое регулирование

Выдающиеся ученые
и организаторы
нефтегазовой отрасли

Информация

№3. 2022

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Научно-технический журнал

Редакционный совет

- Зенин С.Г.** – председатель, генеральный директор,
ООО «Красноярскгазпром нефтегазпроект», г. Москва;
- Вагарин В.А.** – канд. физ.-мат. наук, генеральный директор,
ООО «Газпром проектирование», г. Санкт-Петербург;
- Касьяненко А.А.** – канд. техн. наук, генеральный директор,
ООО «Газпром добыча Ямбург», г. Новый Уренгой;
- Лукьянчиков М.И.** – генеральный директор ООО «Газпром газнадзор»,
г. Москва;
- Рустамов И.Ф.** – канд. техн. наук, генеральный директор,
ООО «Газпром нефть шельф», г. Санкт-Петербург;
- Сорокин А.А.** – генеральный директор, ООО «Газпром
газобезопасность», г. Москва.

Редакционная коллегия

- Оганов Г.С.** – главный редактор, д-р техн. наук, профессор, заместитель
генерального директора, ООО «Красноярскгазпром
нефтегазпроект», г. Москва;
- Волкова В.А.** – заместитель главного редактора,
ООО «Красноярскгазпром нефтегазпроект», г. Москва;
- Бастриков С.Н.** – д-р техн. наук, профессор, Тюменский
индустриальный университет, г. Тюмень;
- Вовк В.С.** – д-р геол.-минер. наук, советник генерального директора,
ООО «Газпром нефть шельф», г. Москва;
- Дзюбло А.Д.** – д-р геол.-минер. наук, профессор, Российский
государственный университет нефти и газа (НИУ)
имени И.М. Губкина, г. Москва;
- Добролюбов С.А.** – д-р геол.-минер. наук, профессор, декан, Московский
государственный университет имени М.В. Ломоносова,
г. Москва;
- Ермолаев А.И.** – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой, Российский
государственный университет нефти и газа (НИУ) имени
И.М. Губкина, г. Москва;
- Зубченко А.В.** – д-р биол. наук, профессор, ведущий научный
сотрудник, ФГУП «Полярный научно-исследовательский
институт морского рыбного хозяйства и океанографии
им. Н.М. Книповича», г. Мурманск;
- Мирзоев Д.А.** – д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник,
КНТЦ освоения морских нефтегазовых ресурсов
ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Российский государственный
университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,
г. Москва;
- Оганов А.С.** – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой, Российский
государственный университет нефти и газа (НИУ) имени
И.М. Губкина, г. Москва;
- Прищепа О.М.** – д-р геол.-минер. наук, профессор, зав. кафедрой, Санкт-
Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург;
- Холодилов В.А.** – д-р геол.-минер. наук, профессор, Российский
государственный университет нефти и газа (НИУ)
имени И.М. Губкина, г. Москва.

УЧРЕДИТЕЛЬ:
ООО «Красноярскгазпром
нефтегазпроект»

Издается с 2017 г.
Выходит 4 раза в год

РЕДАКЦИЯ:

Научный редактор
Н.Е. Игнатьева

Компьютерная верстка
Т.В. Мальцева

Корректор
Я.В. Ткачева

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

107045, г. Москва,
Малый Головин пер., д. 3, стр. 1.
Тел.: (495) 966-25-50.
E-mail: office-msk@krskgazprom-ngp.ru

Авторы опубликованных
материалов несут ответственность
за достоверность приведенных
сведений, точность данных
цитируемой литературы.

Перепечатка и иное коммер-
ческое использование материалов
допускается только с разрешения
редакции.

В номере использованы фотографии
из архива ООО «Красноярскгазпром
нефтегазпроект», а также
фотографии, предоставленные
авторами статей.

Подписано в печать 22.08.2022.

Формат 60×90^{1/8}

Офсетная печать.

Усл. печ. л. 9,75.

Уч.-изд. л. 8,5.

Тираж 350 экз.

Отпечатано в типографии:
ООО «Промобюро»
141009, Московская обл.,
г. Мытищи,
Олимпийский пр., д. 3

© «Проектирование и разработка
нефтегазовых месторождений»

УДК 622.24

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ НАЛИЧИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕМАКОВСКОЕ

Г.С. Оганов, первый заместитель генерального директора, д-р техн. наук,

М.А. Магомедгаджиева, начальник отдела, канд. геол.-минер. наук

ООО «Красноярскгазпром нефтегазпроект»;

К.В. Алексеева,

А.Д. Дзюбло, профессор, д-р геол.-минер. наук

РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина

E-mail: kseniya-alekseeva-95@mail.ru

Ключевые слова: мелководный шельф; месторождение Семаковское; многолетнемерзлые породы; геокриологические условия.

Аннотация. Высокоширотное положение исследованного района, наряду с суровым арктическим климатом, определяет масштабное распространение многолетнемерзлых пород как на побережье Тазовской губы, так и в прибрежных участках акватории. В связи с этим в статье рассмотрены технические решения по термостабилизации грунтов оснований сооружений кустов добывающих скважин на газовом месторождении Семаковское. Данные решения позволят обеспечить надёжность, долговечность и безопасность на весь период эксплуатации.

В настоящее время начинается этап освоения газовых ресурсов в мелководной акватории Обской и Тазовской губ. Одним из первоочередных объектов освоения этого региона является месторождение Семаковское, запасы газа которого составляют более 350 млрд м³.

Газовое месторождение Семаковское расположено на севере Тазовского п-ова, большая часть которого расположена в акватории Тазовской губы (рис. 1).

Освоение месторождения осложнено климатическими условиями Крайнего Севера и широким распространением болот и заболоченных участков. В свою очередь, инженерно-геологические изыскания и электроразведочные работы позволили выявить развитие многолетнемерзлых пород (ММП) как на побережье, так и в прибрежных участках акватории Тазовской губы.

По проекту освоение месторождения Семаковское запланировано с помощью трех

кустов из 39 скважин (рис. 2). Первые два куста скважин располагаются на побережье Тазовской губы, а третий, состоящий из восьми скважин, – непосредственно в акватории. Наклонно направленные скважины, пробуренные с берега, позволят освоить большую часть месторождения. Так, в 2028 г. в регионе прогнозируется добывать до 38,2 млрд м³, в 2035 г. – до 46,3 млрд м³.

В первую очередь, данное решение было принято исходя из оценки сложных инже-

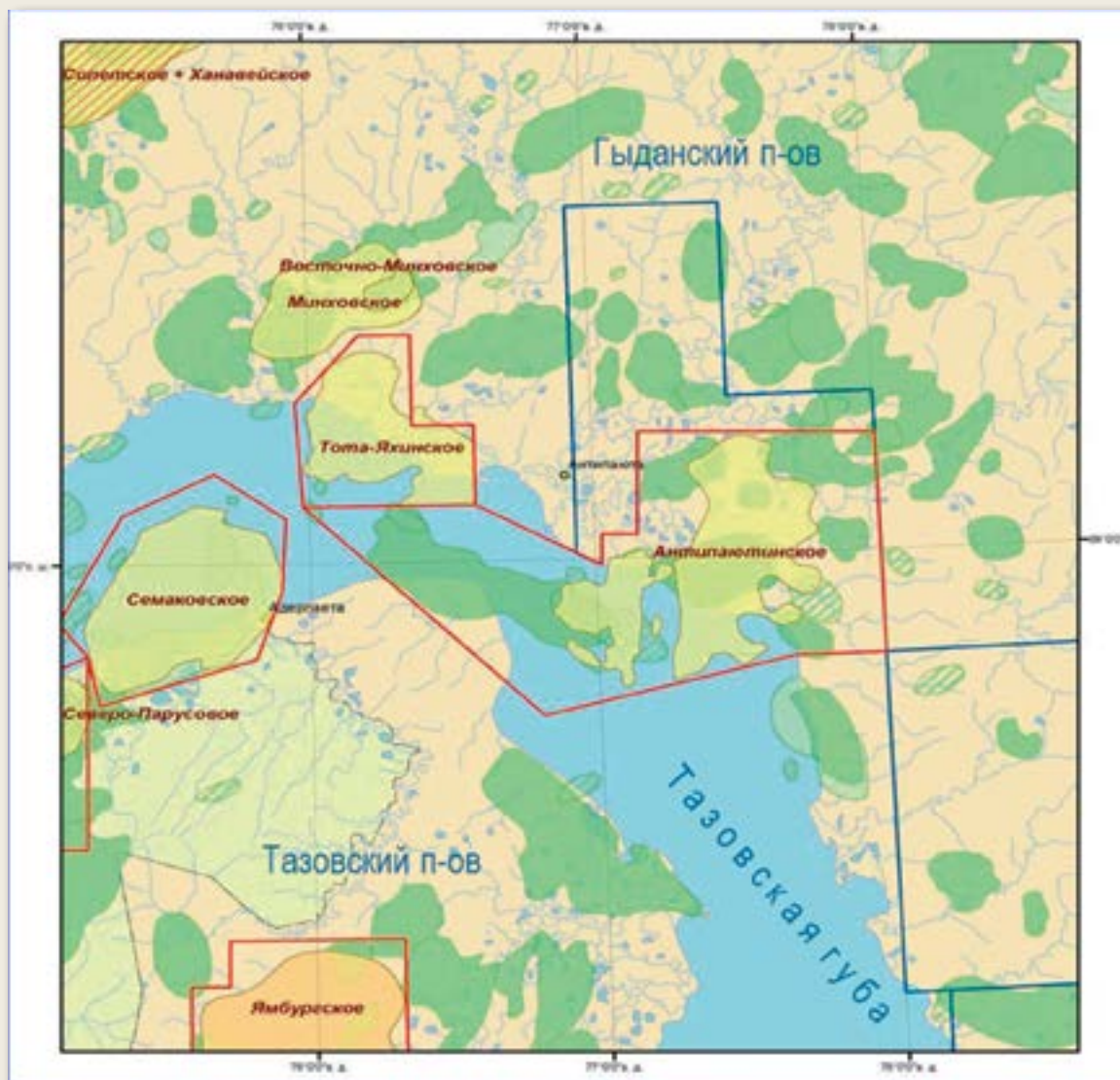


Рис. 1. Обзорная карта расположения газового месторождения Семаковское

нерно-геологических условий исследованной части акватории Обской и Тазовской губ. Освоение месторождения мелководной акватории осложняется такими факторами, как: перенос и аккумуляции осадков, размыв морского дна, наличие многолетнемерзлых пород и приповерхностного газа. При этом наиболее опасны интервалы, приуроченные к подошве ММП. Степень их влияния на безопасность проведения работ, устойчивость инженерных сооруже-

ний и добывающих скважин велика.

В связи с этим строительство и эксплуатация наклонно направленных скважин на первых двух кустах в условиях многолетнемерзлых грунтов требуют разработки технических решений по термостабилизации грунтов оснований сооружений кустов добывающих скважин во избежание формирования ореолов оттаивания в околоствольном пространстве, которые приводят к образованию приустьевых просадок

грунта и деформациям околоскважинных сооружений и трубной обвязки [1].

Геокриологические условия месторождения Семаковское

В акватории Тазовской губы в пределах лицензионного участка месторождения Семаковское проведены электро-разведочные работы дифференциально-нормированным

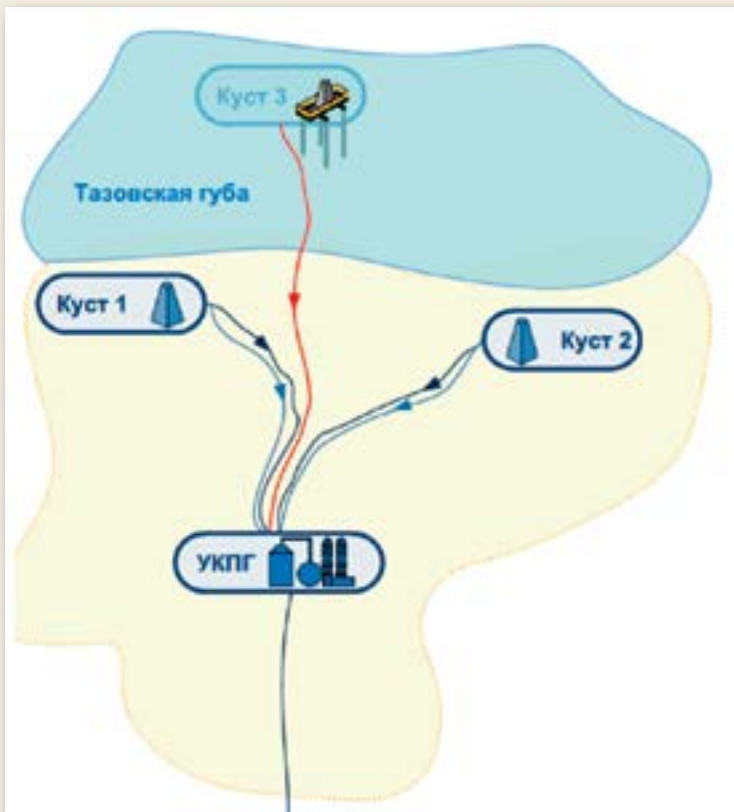


Рис. 2. Схема расположения кустовых площадок

методом (ДНМЭ) компанией ГФУГП «Иркутскгеофизика». В результате исследования закартирована площадь распространения и зафиксирована толщина многолетнемерзлых пород.

Слой ММП характеризуется сопротивлением 141–148 Ом·м. Толщина на ближайших к берегу пикетах составляет 40 м, и затем слой выклинивается в сторону акватории до 10 м (рис. 3). В прибрежной части на юго-востоке его толщина достигает 73 м и уменьшается в сторону моря до 10 м. Максимальное расстояние ММП от берега – до 3 км [2].

На сухопутном участке месторождения геокриологические условия характеризуются повышенной сложностью, сплошным развитием многолетнемерзлых грунтов сливающегося типа, высокими динамичностью во времени и чувствительностью к любым техногенным воздействиям.

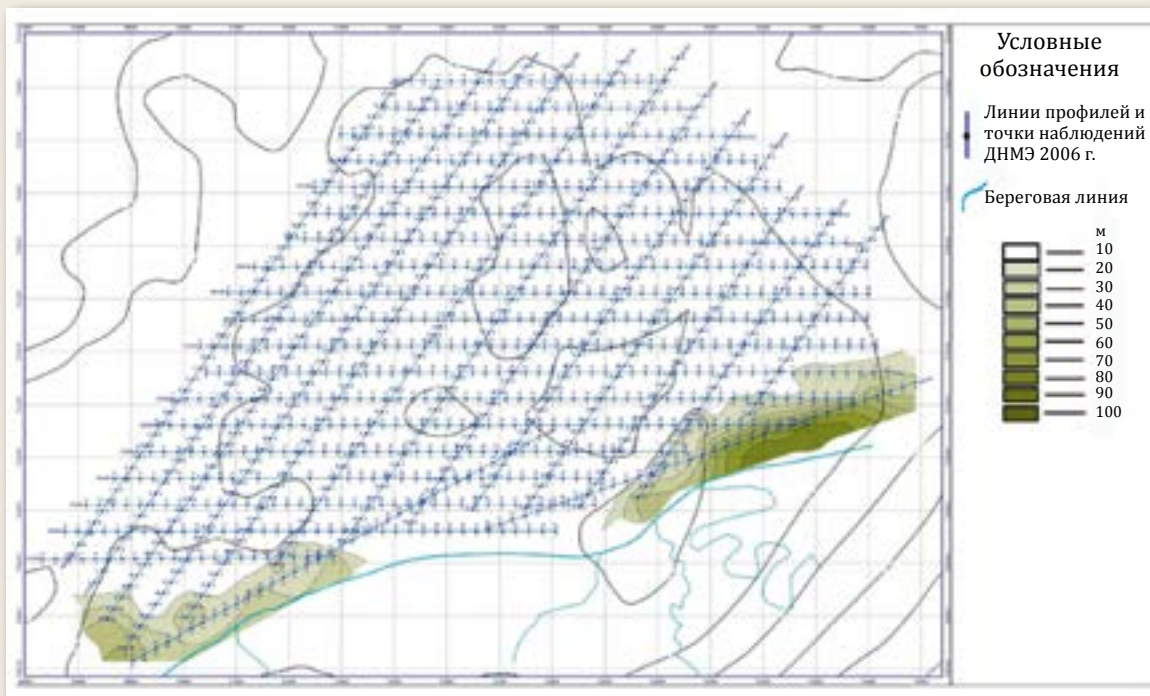
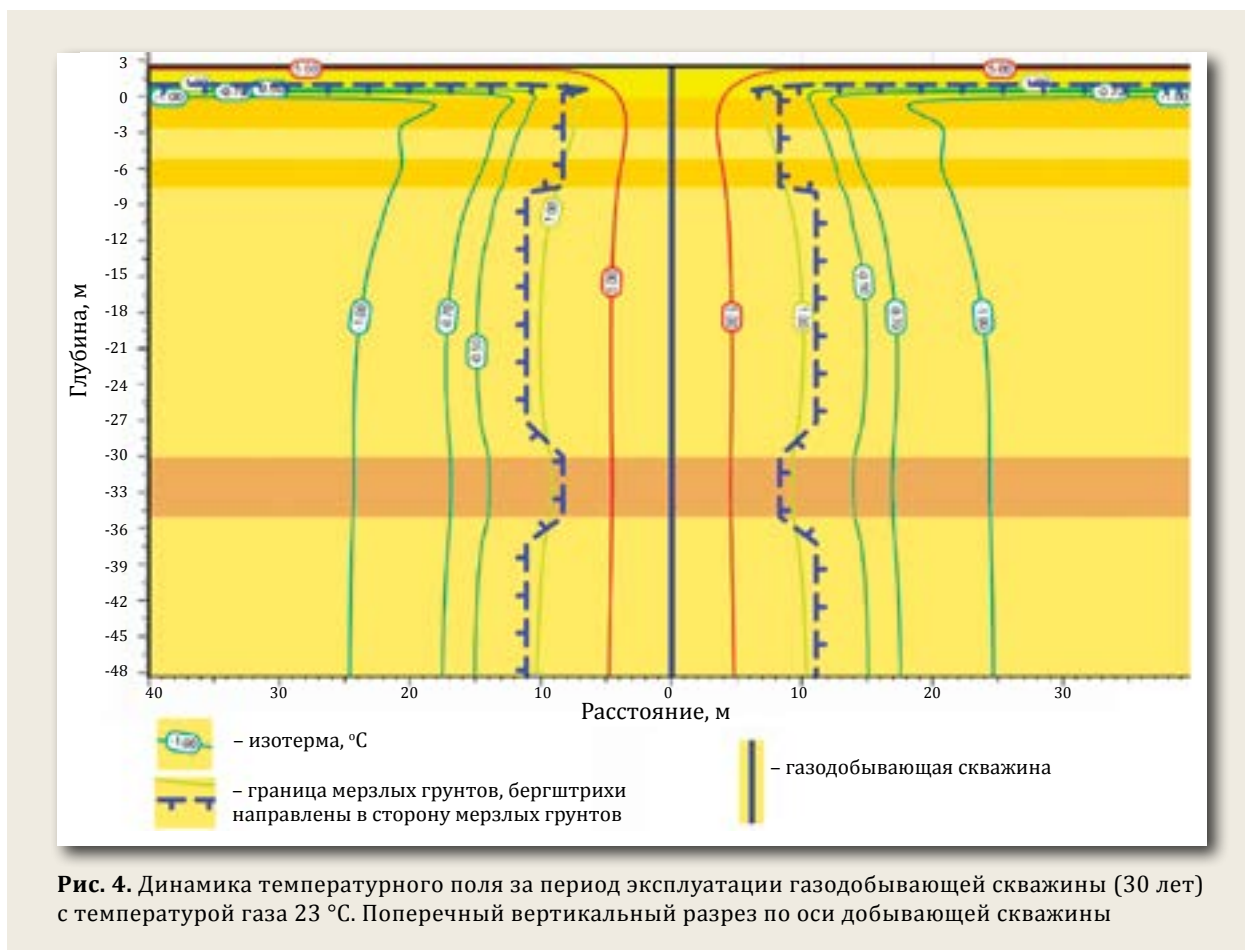


Рис. 3. Карта толщин (м) многолетнемерзлых пород акваториальной части месторождения Семаковское



Техногенные нарушения естественных покровов при освоении месторождения приведут к увеличению глубин сезонного оттаивания грунта. При существующих льдистых и сильнольдистых горизонтах мерзлой толщи это спровоцирует тепловые осадки и будет способствовать развитию опасных криогенных процессов, таких как термокарст и термоэрозия.

Для надежной эксплуатации добывающих скважин и сооружений на кустовой площадке на весь эксплуатационный период в условиях многолетнемерзлых пород следует разработать оптимальное сочетание технических решений по фундаментам и термостабилизации грунтов, основываясь на прогнозных теплотехнических, деформационных и прочностных расчетах оснований.

Прогноз изменений температурного режима грунтов оснований

При проектировании оснований и фундаментов сооружений выполняются прогнозные теплотехнические расчёты температурного режима грунтов основания по программе Frost 3D Universal. Программа позволяет численно решать пространственные задачи теплообмена с различными граничными условиями и прогнозировать температурный режим для различных инженерных сооружений с учетом сложной геометрии области моделирования и произвольного распределения охлаждающих элементов различного типа.

Применение трехмерной расчетной схемы позволяет учитывать:

- изменчивость физико-механических и теплофизических характеристик грунта по глубине и простиранию;
- краевые условия теплообмена на верхней и нижней границах, различные в плане и во времени;
- тепловые источники (в том числе охлаждающие устройства) по любому направлению в пространстве.

Результатами расчета являются температурное поле по всему грунтовому массиву расчетной области, которое может быть получено на любой момент времени прогноза по заданному направлению плоского разреза вертикальной и горизонтальной плоскостями, а также несущая способность свайного основания.

В процессе эксплуатации газодобывающих скважин на кустовых площадках под действием высоких температур движущегося по скважине газа вокруг их стволов происходит постепенное повышение температур многолетнемерзлых грунтов и их оттаивание (рис. 4). По результатам прогнозных теплотехнических расчетов радиус ореола оттаивания ММГ составляет 10,0 м. Вследствие такого оттаивания произойдут осадка грунтов, потеря несущей способности и устойчивости свайных опор газопроводов [3].

жанием в течение всего срока эксплуатации;

- снижение отепляющего воздействия на ММГ основания, вызванного технологическими особенностями строительно-монтажных работ, тепловым воздействием инженерных сооружений в процессе эксплуатации, повышенным техногенным снегонакоплением в пределах инженерных сооружений, а также возможным изменением климата (глобальное потепление);

- сокращение сроков строительно-монтажных работ

жин многолетнемерзлые грунты подвергаются оттаиванию из-за высокой температуры добываемого газа.

Тепловое влияние газовых скважин на основания опор, расположенных вблизи скважин, можно исключить понижением температур грунтов путем создания льдогрунтовой консоли с вмороженными в нее сваями.

Параметры льдогрунтовой консоли подбирают по результатам теплотехнических и прочностных расчетов, исходя из двух условий:

- обеспечения устойчивости льдогрунтовой консоли, вмещающей свайные опоры;
- обеспечения несущей способности свайных опор.

Расчетным для несущей способности и устойчивости льдогрунтовой консоли выбран 30-й год эксплуатации, когда формируется максимальный радиус ореола оттаивания грунтов вокруг скважин.

Совместное использование теплоизолированных направлений скважин (термокейсов) с пенополиуретановой теплоизоляцией (или теплоизолированных лифтовых труб) и термостабилизаторами обеспечит в течение всех лет эксплуатации требуемые температуры и устойчивое состояние несущей льдогрунтовой консоли (с учетом увеличивающегося диаметра ореола оттаивания грунтов вокруг скважин).

По результатам прогнозных теплотехнических расчетов, за 30 лет эксплуатации скважины при применении теплоизолированной лифтовой трубы и термостабилизаторов в геокриологических условиях радиус ореола оттаивания ММГ вокруг скважины значительно сокращается (рис. 5).

Комплексное техническое решение (применение в конструкции газодобывающих скважин теплоизолированных обсадных и лифтовых труб

Для надежной эксплуатации добывающих скважин и сооружений на кустовой площадке на весь эксплуатационный период в условиях многолетнемерзлых пород следует разработать оптимальное сочетание технических решений по фундаментам и термостабилизации грунтов, основываясь на прогнозных теплотехнических, деформационных и прочностных расчетах оснований.

Для обеспечения устойчивости опор газопроводов и предотвращения осадки поверхности, образующейся в результате оттаивания ММП вокруг эксплуатируемых газодобывающих скважин, необходимо разработать технические решения по термостабилизации грунтов.

Технические решения по термостабилизации грунтов

Применение технических управляющих решений по термостабилизации грунтов направлено на:

- создание в грунтах основания требуемого расчетного теплового режима согласно принятым условиям эксплуатации путем охлаждения ММГ и последующим его поддер-

(сокращение периода между устройством свайного основания и передачей на него расчетной нагрузки);

- исключение возникновения опасных геологических и геокриологических процессов.

В качестве проектного решения в конструкции газодобывающей скважины предусматривается направление диаметром 426,0 мм, которое спускается на глубину 114 м для перекрытия неустойчивых песчаных ММП. В качестве внешней обсадной колонны будет использовано комбинированное направление, где в верхней части до глубины 40 м предусмотрено применение теплоизолированных труб в хладостойком исполнении. Однако, даже при условии применения термоизолирующих направлений, в период эксплуатации газодобывающих сква-

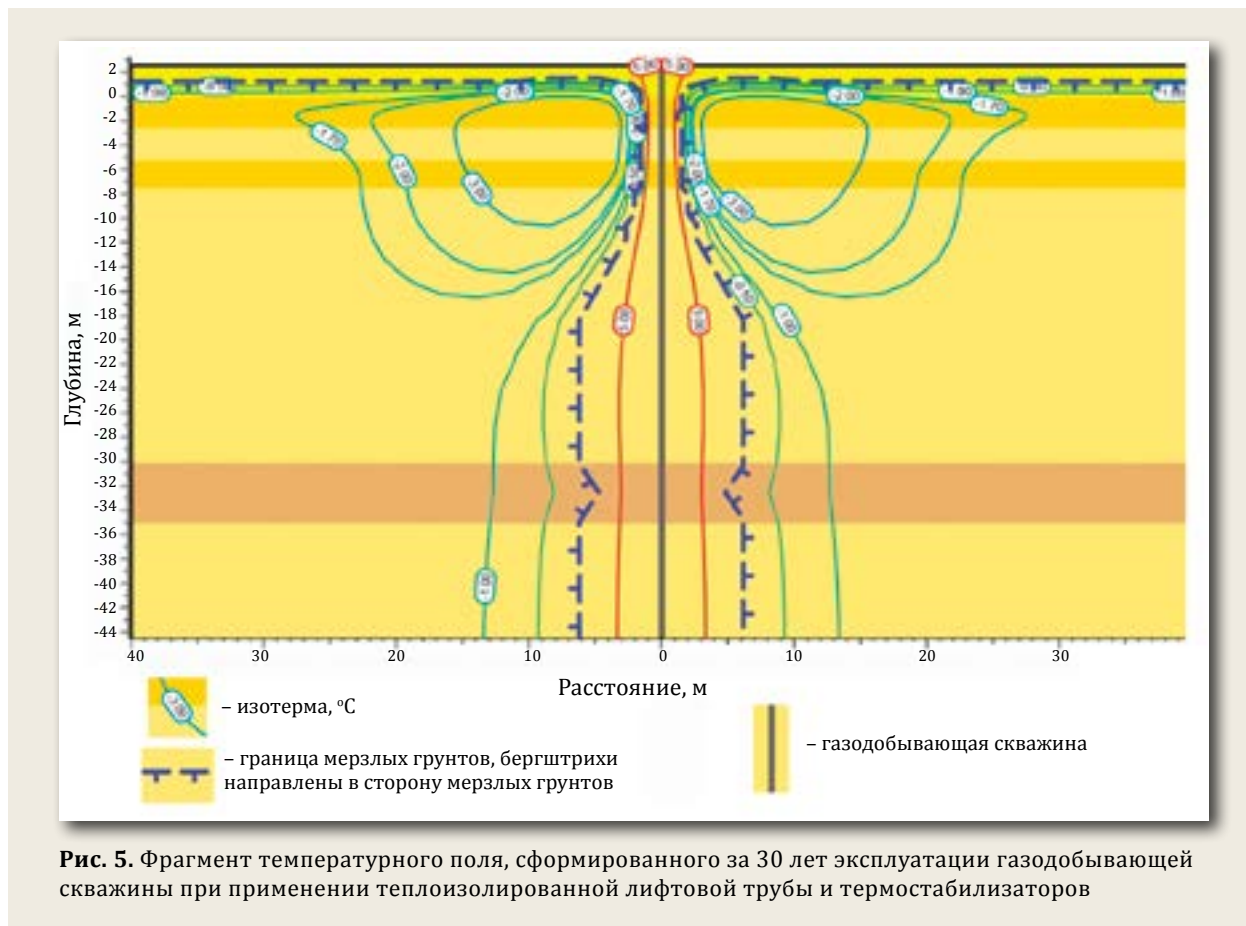


Рис. 5. Фрагмент температурного поля, сформированного за 30 лет эксплуатации газодобывающей скважины при применении теплоизолированной лифтовой трубы и термостабилизаторов

(ТЛТ) совместно с термостабилизаторами) позволит замедлить оттаивание мерзлоты, образование гидратов и парафиновых отложений в скважинах, сократить расстояния между устьями теплоизолированных скважин в кустах, увеличить межремонтный период скважин.

Обоснование разработки специальных технических условий

Исходя из полученных результатов, оптимальное расстояние между устьями скважин на кустах, в том числе за счет применения теплоизолированных конструкций скважины и комплексных меропр-

ятий по термостабилизации грунтов, предотвращающих интенсивное оттаивание многолетнемерзлых пород вокруг кустовых скважин, составляет 20 м (рис. 6).

Однако, согласно требованиям нормативных документов, расстояния между устьями добывающих газовых и газоконденсатных скважин должны составлять не менее 40 м (рис. 7).

Это связано с тем, что в случае возникновения и возгорания крупномасштабного газового фонтана на кустовых площадках между скважинами возможно каскадное распространение аварии на соседние скважины. Вертикальная горячая струя дает потоки теплоты, которые могут привести к разрушению металлических конструкций на расстоянии до 40 м. Тем не менее использо-

вание различных способов тепловой защиты оборудования скважин (экранов, теплоизоляционных покрытий и т.д.) позволяет сократить расстояние между скважинами [4].

Согласно опыту разработки Бованенковского месторождения, применение ТЛТ с низко-теплопроводной изоляцией в конструкции скважин позволяет замедлить протаивание мерзлоты и эффективно эксплуатировать скважины. Расстояние между устьями добывающих скважин Бованенковского НГКМ на кустовых площадках составляет 20 м. Применение ТЛТ для добывающих скважин на Новопортовском нефтегазоконденсатном месторождении также позволило уменьшить расстояние между ними и тем самым сократить протяженность кустов скважин.

Благодаря данному решению сократились затраты на инженерную подготовку и уменьшилось время проведения работ по отсыпке кустовых площадок. Экономический эффект составил около 2,085 млрд р. [5].

В настоящее время требуется разработка новых специальных технических условий по минимизации расстояний между устьями скважин для уменьшения капитальных затрат, так как затраты на возведение искусственной насыпи для площадки кустовых скважин составляют примерно 30 %

от общей стоимости инвестирования в обустройство месторождения.

Уменьшение расстояния между проектируемыми газовыми скважинами с 40 до 20 м должно быть обосновано в СТУ не только расчетами зоны протаивания ММП, но и оценкой уровня теплового, ударного и токсичного воздействий на рядом расположенные объекты в период эксплуатации и в случае аварийной ситуации на проектируемых скважинах.

При необходимости должны быть предусмотрены специ-

альные мероприятия, обеспечивающие безопасную эксплуатацию проектируемых скважин по тепловому, ударному и токсичному воздействию на рядом расположенные объекты. Риски возникновения аварий и последствия этих аварий должны быть в пределах нормативных значений.

Выводы

Освоение месторождения Семаковское осложняется сложными геокриологическими ус-

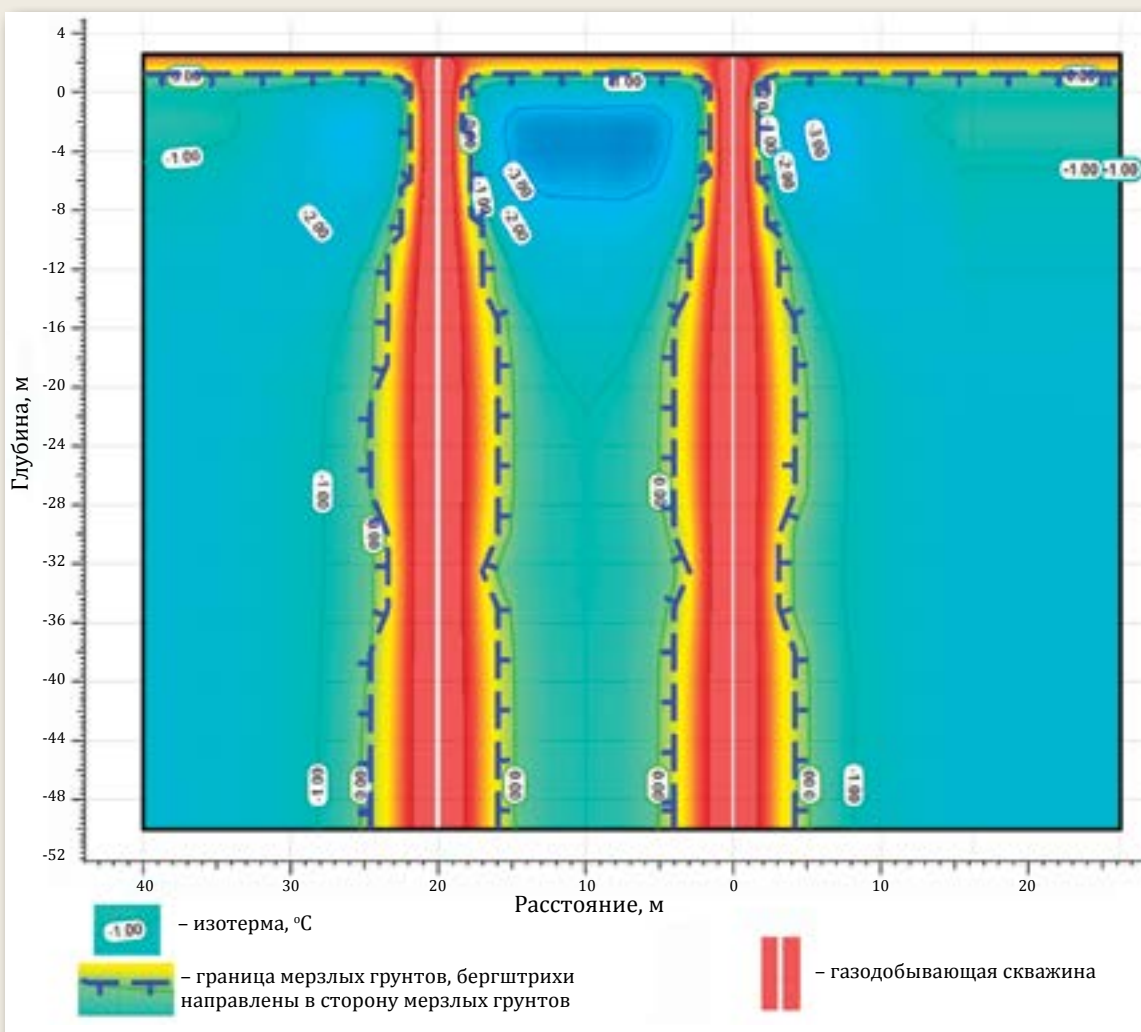


Рис. 6. Фрагмент температурного поля, сформированного за 20 лет эксплуатации газодобывающих скважин, расстояние между которыми составляет 20 м

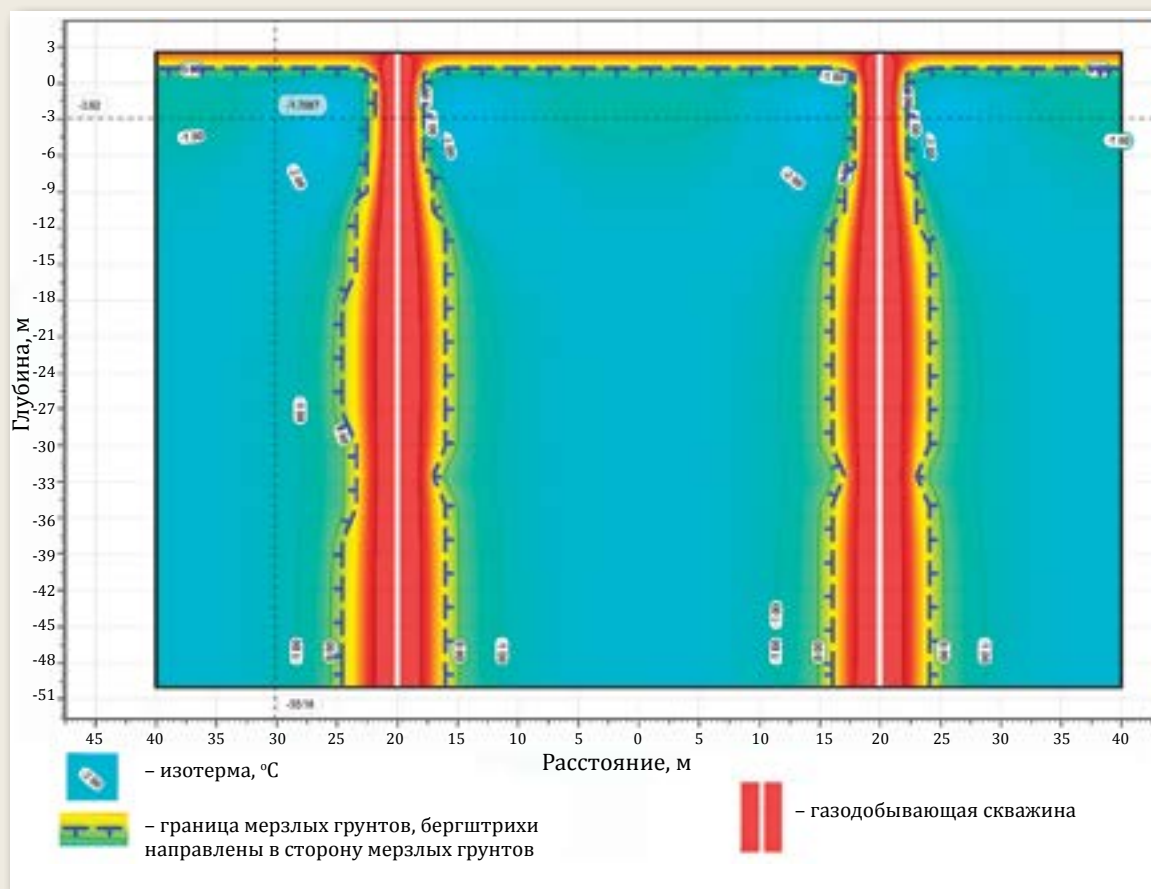


Рис. 7. Фрагмент температурного поля, сформированного за 20 лет эксплуатации газодобывающих скважин, расстояние между которыми составляет 40 м

ловиями. Многолетнемерзлые породы развиты как на побережье, так и в прибрежных мелководных участках месторождения Семаковское.

Для успешной эксплуатации газовых скважин в условиях ММП разработаны специальные инженерные мероприятия для предотвращения деградации этих пород. В качестве эффективного технического решения предлагается создание льдогрунтовой консоли с помощью совместной работы термостабилизаторов и теплоизолированных лифтовых труб.

Правильно рассчитанное эффективное расстояние между термостабилизаторами и стволом скважины позволит сохранить мерзлый грунтовый

массив и необходимую несущую способность свай, а применение теплоизолированной лифтовой трубы в верхней части – расстояние между устьями скважин и, как следствие, уменьшить размеры самой площадки. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Дзюбло А.Д., Магомедгаджиева М.А., Алексеева К.В. Особенности освоения газовых ресурсов Обской и Тазовской губ в условиях наличия многолетнемерзлых пород // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2022. – № 3(351). – С. 56–62.
2. Дзюбло А.Д., Алексеева К.В. Геокриологические условия мелководного шельфа Карского моря (Приямальский

шельф, Обская и Тазовская губы) // Neftegaz.RU. – 2020. – № 5. – С. 64–70.

3. Магомедгаджиева М.А. Особенности проектирования обустройства кустовых площадок в сложных геокриологических условиях // Проектирование и разработка нефтегазовых месторождений. – 2017. – № 2. – С. 4–18.

4. Дмитриевский А.Н., Кульпин Л.Г., Максимов В.М. Освоение месторождений полуострова Ямал – уникальный проект XXI века // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2016. – № 3(15). – С. 7–22.

5. Девятьяров С.С., Трифонов А.В., Паздерин Д.С. Опыт применения теплоизолированных направлений для предотвращения оттаивания многолетнемерзлых грунтов на кустовых площадках Новопортовского нефтегазоконденсатного месторождения // Газовая промышленность. – 2017. – № 10(759). – С. 36–38.