

УДК 624.139.62

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ГРУНТЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В РАЙОНАХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА ТЕРМОКОМПРЕССОРНЫМ СПОСОБОМ

© 2016 г. А.С. Филимонов¹, В.А. Тарасов¹, М.А. Комков¹, В.А. Моисеев²,
М.П. Тимофеев³, Р.В. Боярская¹

¹ Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

² Закрытое акционерное общество «Компомаш-ТЭК», г. Москва, Россия

³ Дмитровский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана,
пос. Орево, Дмитровский р-н, Московская обл., Россия

В работе исследуется опасность отрицательного теплового воздействия на грунт вечной мерзлоты при добыче вязкой нефти в районах Крайнего Севера перспективным методом термокомпрессионной подачи перегретого водяного пара в нефтеносный слой. Установлено, что в силу расходящегося характера теплопередачи и сложного конвективного движения воздуха в зазоре между насосно-компрессорной (НКТ) и обсадной трубами температура последней в области силовых элементов, нагретых до 130 °С, оказывается на уровне 70 °С. Неоднородность температурного поля нивелируется до 4–5 % на расстоянии около 0.4 м от оси НКТ. Толщина слоя проплавления грунтового льда за 90 сут эксплуатации НКТ зависит от процентного содержания водонаполненных пор в грунте. При минимальном (10 %) процентном содержании водонаполненных пор в грунте толщина слоя проплавления грунтового льда за 90 сут эксплуатации НКТ не превысит 2.6 м.

Ключевые слова: грунт вечной мерзлоты, добыча вязкой нефти, проплавление грунтового льда, подача перегретого пара в нефтеносный слой, насосно-компрессорные трубы.

Введение

Одним из перспективных направлений добычи вязкой нефти в районах Крайнего Севера является термокомпрессионный метод подачи перегретого пара в нефтеносный слой. Для этого широко используются насосно-компрессорные трубы (НКТ) [Сучков, 2007; Кудимов и др., 1999] – термокейсы, которые позволяют подать перегретый пар при температуре ~ 150–200 °С и давлении 100–200 МПа на глубину ~ 1500 м. Но на

больших глубинах термокейсы неэффективны, так как большая погонная масса вызывает недопустимо большие напряжения в НКТ. Кроме того, охлаждение пара и падение давления снижают производительность скважин. В статьях [Филимонов и др., 2012; Комков и др., 2014; Тарасов и др., 2014; Баданина и др., 2015; Комков и др., 2015; Базальтовое..., 2016] НКТ предлагалось оснащать теплоизоляционным покрытием на основе базальтового супертонкого волокна «MINOL», которое, обладая малой погонной массой, обеспечивает подачу перегретого водяного пара при температуре 420 °С и давлении 350 МПа. При этом теплоизоляционное покрытие снижало температуру до 70 °С [Мoiseев и др., 2012а–в].

Для сборки и удержания НКТ в подвешенном состоянии каждая секция содержит два силовых элемента, которые в силу необходимости металлических усилений имеют повышенную теплопроводность и, как следствие, повышенную температуру (до 130 °С). При эксплуатации таких НКТ возникают два острых вопроса:

1) Каково распределение температуры в цементном камне и грунте в окрестности силовых элементов?

2) Как возможное повышение температуры влияет на динамику вечной мерзлоты в процессе подачи пароводяной смеси?

Исследование процесса осложняется возможным массопереносом воздуха (конвекцией) между стенками НКТ и обсадной трубой. Изучение изменения температуры вечной мерзлоты под действием нагретых труб при нефтедобыче началось с 1970-х годов [Davies, Boorman, 1973; Goodman et al., 1982; Sengul, Brigham, 1983; Kutasov, 1995; Xie, 2009; Xie, Matthews, 2011; Гишкелюк, Станиловская, 2013; Specificity..., 2013; Гишкелюк и др., 2015; Prediction..., 2015]. Цель данной работы – комплексное изучение особенностей формирования температурного поля в грунте, цементном камне и обсадной трубе с учетом процессов массопереноса газа в межтрубном пространстве и возможного проплавления льда в водонасыщенном грунте.

Методы исследований

В качестве инструмента для проведения исследований была выбрана численная система MSC/NASTRAN для Windows с расчетной схемой, представленной на рис. 1. Внешний диаметр НКТ с теплоизолирующим покрытием принимался равным 114 мм, длина НКТ – 8464 мм. Силовые элементы длиной 300 мм располагались на расстоянии 950 мм от концов НКТ. Обсадная труба имела диаметр 168 мм, цементный камень – толщину 300 мм, а мощность грунта ограничивалась величиной 2000 мм.

В качестве граничных условий принималось:

- 1) на внешней границе слоя грунта (гравия) температура равна 0 °С;
- 2) на внешней поверхности НКТ в регулярной части температура равна 66 °С, а в области силовых элементов – 130 °С;
- 3) пространство между трубами заполнено воздухом.

Для обеспечения необходимой точности расчетов была выбрана сетка примерно с 500 000 ячейками. Уточнение сетки было произведено по контролю сходимости результатов.

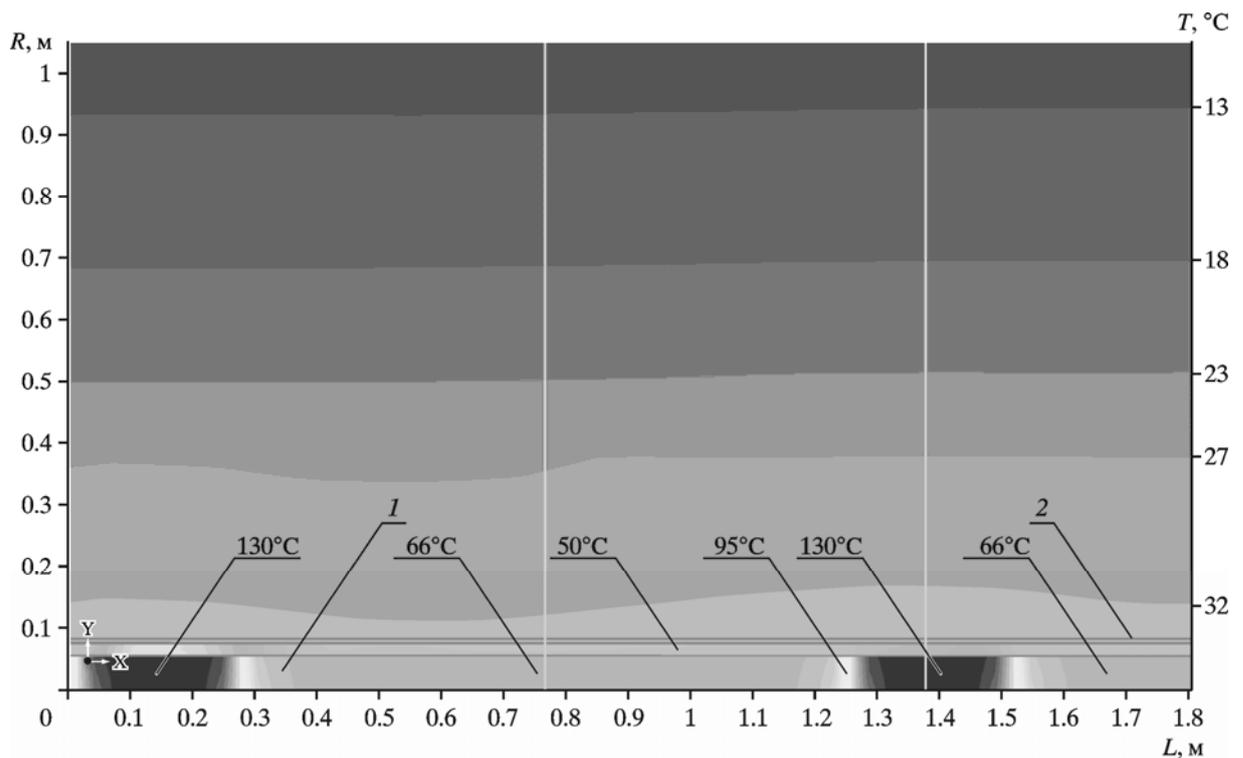


Рис. 2. Расчетное распределение температуры в плоскости $R(L)$ в обсадной трубе, цементном камне и грунте
 1 – труба НКТ; 2 – обсадная труба

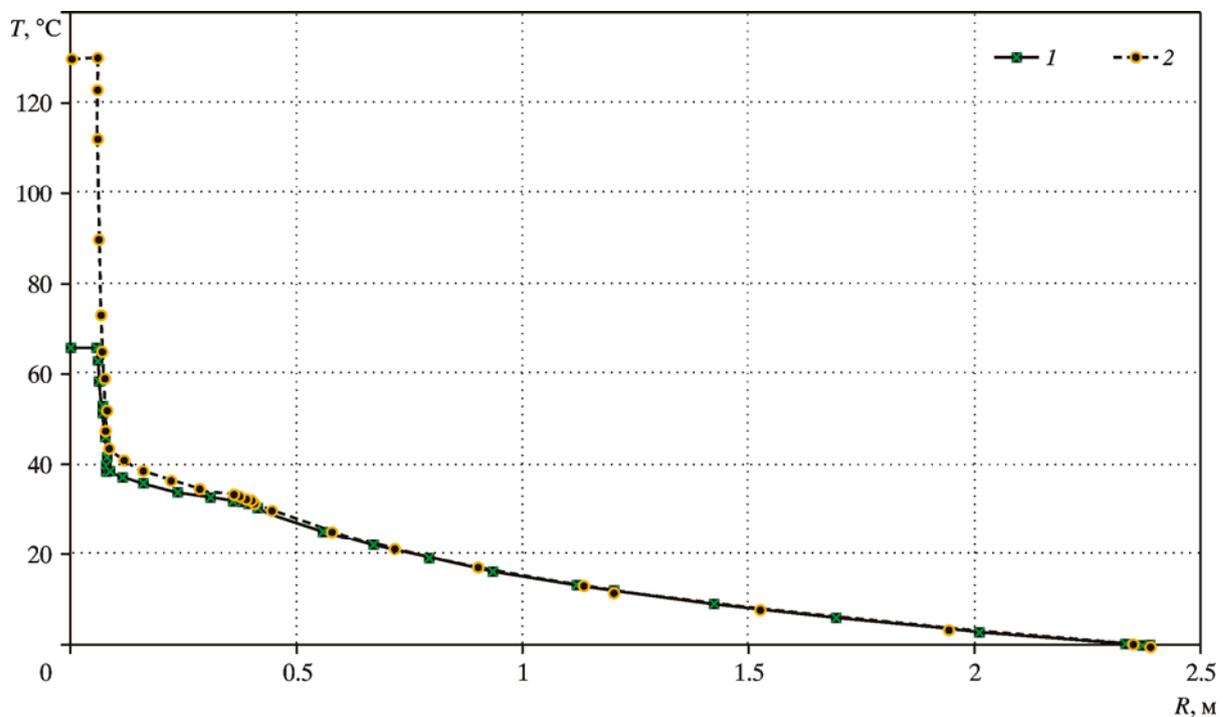


Рис. 3. Распределение температуры в радиальном направлении в области регулярной (1) и силовой (2) частей трубы НКТ

рени: $A = 6.437$, $\alpha = 0.95$ при коэффициенте регрессии $R^2 = 0.9586$; и $A = 1.771$, $b = -0.08$ при коэффициенте регрессии $R^2 = 0.985$. На выбор аппроксимирующей зависимости влияет величина коэффициента регрессии, а также учитывается удобство ее последующего применения.

Таким образом, численные расчеты показали незначительный прогрев грунта, что является необходимым условием эксплуатации НКТ в условиях вечной мерзлоты.

Математическое моделирование и обсуждение полученных результатов

Рассмотренные в предыдущем разделе результаты могут быть объяснены с помощью следующей приближенной модели.

Будем считать, что НКТ представляет собой совокупность кольцевых тепловыделяющих элементов толщиной dx_0 , каждый из которых формирует в области $y > r_0$ расходящийся тепловой поток. При $y = r_0$ тепловой поток на единицу площади равен q_0^0 .

На расстоянии R тепловой поток от одного элемента становится равным

$$\Delta q = q_0^0 2\pi r_0 dx \frac{r_0^2}{(r_0 + R)^2} \left(\frac{r_0}{r_0 + y} \right)^\beta,$$

где R – расстояние от точки излучения до произвольной точки пространства, содержащего НКТ; y – расстояние от оси НКТ до точки.

Последний член $\left(\frac{r_0}{r_0 + y} \right)^\beta$ правой части уравнения введен для согласования численно найденного распределения температуры с результатами применения предлагаемой упрощенной модели.

Через единицу площади кольцевого слоя толщиной dx и радиусом y , имеющего осевую координату $x = 0$, проходит удельный поток тепла

$$q^0 \approx \frac{q_0^0}{2} \left(\frac{r_0}{r_0 + y} \right)^{1+\beta} \cdot \frac{r_0^2 dx_0}{(r_0^2 + y^2 + x_0^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Интегрирование полученного соотношения по x_0 на отрезке $(-x_0^{\max}, x_0^{\max})$ и его упрощение дает для плотности потока энергии выражение

$$q^0 \approx q_0^0 \left(\frac{r_0}{r_0 + y} \right)^{3+\beta} \cdot \frac{x_0^{\max}}{(r_0^2 + y^2 + x_0^{\max 2})^{\frac{1}{2}}}. \quad (1)$$

Для регулярной части НКТ $x_0^{\max} \rightarrow \infty$. Тогда выражение (1) преобразуется к виду

$$q^0 \approx q_0^0 \left(\frac{r_0}{r_0 + y} \right)^{3+\beta}. \quad (2)$$

Поскольку теплоотдача с поверхности НКТ q_0^0 пропорциональна ее температуре T_0 , то приращение теплоотдачи Δq_0^0 в области силового элемента также будет пропорционально приращению температуры:

$$\Delta q_0^0 = q_0^0 \frac{\Delta T_0}{T_0}, \quad (3)$$

где $T_0, \Delta T_0$ измеряются экспериментально.

При длине силового элемента $L = 2x_0^{\max}$ выражение (1) примет вид

$$\frac{\Delta q^0}{\Delta q_0^0} \approx \bar{R}^{-(3+\beta)} \frac{\bar{x}}{\sqrt{\bar{R}^2 + \bar{x}^2}}, \quad (4)$$

где $\bar{R} = 1 + \frac{y}{r_0}$; $\bar{x} = \frac{x_0^{\max}}{r_0}$.

Интегрируя известную формулу Фурье, связывающую тепловой поток q^0 с температурой T , получим соотношение для распределения температуры

$$T = T_0 \left(\frac{r_0}{r_0 + y} \right)^{2+\beta}, \quad (5)$$

где $T_0 = \frac{q_0^0 r_0}{\lambda(2+\beta)}$; λ – коэффициент теплопроводности.

Но поскольку $\alpha = 2 + \beta$, то грубо $\beta = -1$, а более точно, $\beta = -1.05$. По аналогии с (4) для разницы температур в регулярной и силовой частях НКТ запишем

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_0} \approx \bar{R}^{-(\alpha)} \frac{\bar{x}}{\sqrt{\bar{R}^2 + \bar{x}^2}}.$$

Полученное выражение может быть использовано для оценки относительного расстояния \bar{R}_{\max} , при котором $\frac{\Delta T}{\Delta T_0}$ будет меньше наперед заданной малой величины ε .

Так, на рис. 4 представлен график расхождений значений температуры в регулярной и силовой частях при $r_0 = 57$ мм, $x_0^{\max} = 150$ мм. Для $\varepsilon = 4-5\%$ величина $R_{\max} = 400-420$ мм.

Проведенные численные расчеты дают оценку прогрева сухого грунта. Однако они не учитывают наличие в грунте большого количества льда, на расплавление которого затрачивается дополнительная тепловая энергия. С одной стороны, плавление льда в пограничной области создает опасность потери обсадной колонны, а с другой – происходит экранирование тепловых потоков.

В связи с этим представляет интерес оценка изменения толщины слоя проплавления грунтового льда во времени. Для этого примем упрощенную модель, в соответствии с которой область существования тепловых потоков ограничивается фронтом проплавления. Будем считать, что фронт проплавления движется со скоростью $D_{\text{пл}}$. В результате область, ограниченная фронтом проплавления, за время dt увеличивается на слой толщиной $D_{\text{пл}} dt$. Для этого слоя запишем условие равенства поступившей в него теплоты и теплоты, затраченной на плавление льда в порах грунта:

$$D_{\text{пл}} = \frac{q^0 (r_0 + y)}{\gamma \rho_{\text{лд}} q_{\text{лд}}^{\text{пл}}},$$

где γ – доля водонасыщенных пор в грунте; $\rho_{\text{лд}}$ – плотность льда; $q_{\text{лд}}^{\text{пл}}$ – теплота плавления льда.

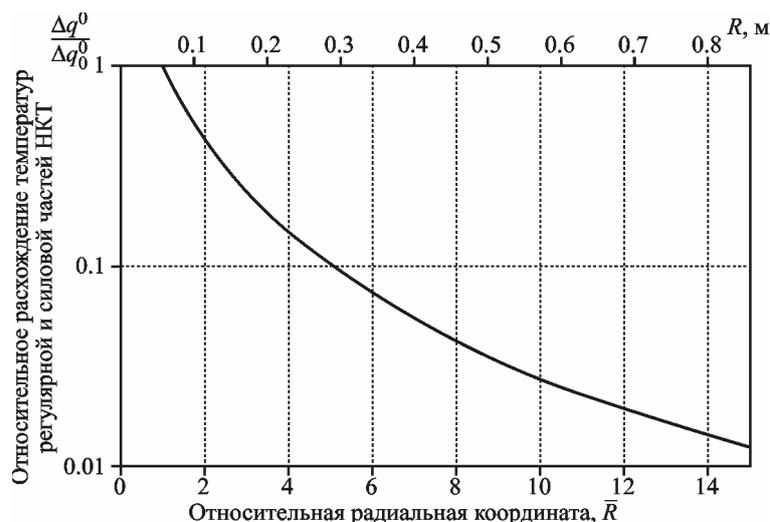


Рис. 4. График расхождений температуры регулярной и силовой частей НКТ

Интегрируя полученное уравнение и учитывая одновременно расход теплоты на нагревание влажного грунта, получим соотношение, связывающее координату фронта проплавления и время эксплуатации трубы:

$$t = \frac{\pi y_{пл}}{q_0} \left[\gamma \rho_v q_{пл}^{пл} (y_{пл} + 2r_{цк}) + 2\rho_{гр}^{вл} c_{гр}^{вл} T_{цк} \frac{y_{пл} + 4r_{цк}}{12} \right],$$

где $\rho_{гр}^{вл} = \rho_{гр}^{сх} + \gamma \rho_v$, $c_{гр}^{вл} = c_{гр}^{сх} + \gamma c_v$; $\rho_{гр}^{вл}$, $\rho_{гр}^{сх}$ — плотности влажного и сухого грунта; $c_{гр}^{вл}$, $c_{гр}^{сх}$ — теплоемкости влажного и сухого грунта; ρ_v , c_v — плотность и теплоемкость воды; $y_{пл}$ — расстояние, пройденное фронтом волны проплавления от внешней поверхности цементного камня; $r_{цк}$ — радиальная координата внешней поверхности цементного камня.

Предложенная модель позволяет связать между собой плотность теплового потока и температуру. При аппроксимации $T = AT_0 \exp\left(-b \frac{r_0 + y}{r_0}\right)$ плотность теплового потока с

температурой связана зависимостью $q^0 = \frac{\lambda T}{r_0} b$, а при аппроксимации $T = AT_0 \left(\frac{r_0}{r_0 + y}\right)^\alpha$ —

соотношением $q^0 = \frac{\lambda T}{r_0} \frac{T}{T_0}$.

Расчеты глубины проплавления льда в порах грунта при различном объемном содержании льда γ с помощью данной зависимости представлены на рис. 5. Плотность теплового потока принималась равной $q_0^0 = 155$ Вт/м, а температура грунта — $T_{гр}^\infty = 0^\circ\text{C}$.

Графики зависимости расстояния, пройденного фронтом проплавления за 90 сут, от объемной доли льда γ в грунте представлены на рис. 6.

Анализ зависимостей показывает, что за 90 сут глубина проплавления для объемной доли льда $\gamma = 0.1$ в грунте составила 2.57 м. При увеличении объемной доли льда в грунте до величины $\gamma = 0.3$ глубина проплавления уменьшается до 1.39 м.

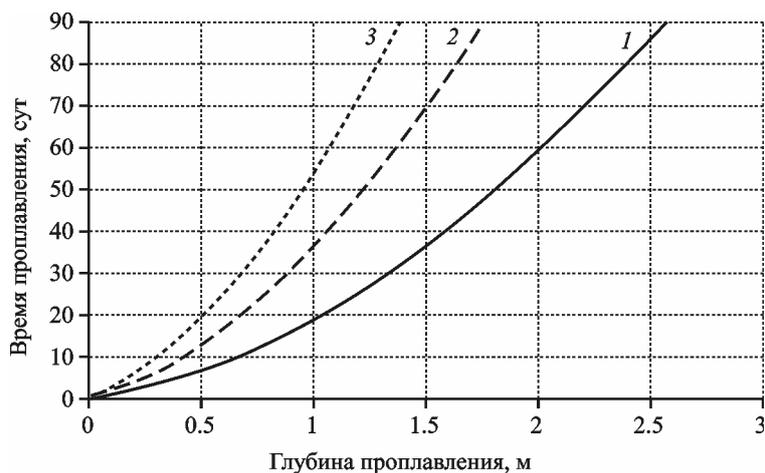


Рис. 5. Диаграмма проплавления льда в грунте без учета прогрева до температуры 0°C
Объемная доля льда в грунте (γ): 1 – 0.1; 2 – 0.2; 3 – 0.3

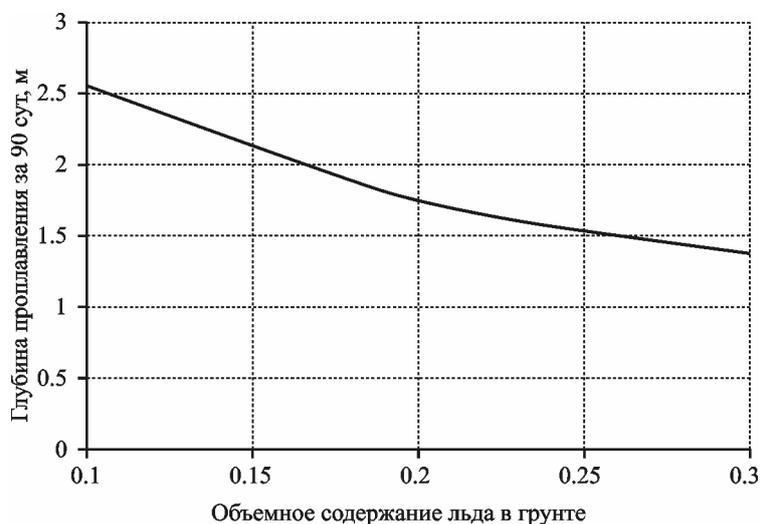


Рис. 6. Зависимость глубины проплавления льда в грунте от объемной доли льда

Результаты расчетов на основе предложенной модели показали, что наличие в грунте льда создает дополнительное препятствие для потока тепла из скважины в грунт. При этом термокомпрессионная подача под давлением перегретого пара через НКТ с комбинированной теплоизоляцией на основе базальтового волокна в течение 3 мес. не вызывает существенных изменений в грунте, так как температура грунта изменяется в интервале от 0°C до 25°C при незначительной глубине проплавления льда по сравнению с глубиной скважины. Это показывает возможность добычи тяжелой нефти с больших глубин путем термокомпрессионной подачи перегретого пара в нефтеносный слой без вредного влияния на равновесное состояние вечной мерзлоты.

Выводы

1. В силу расходящегося характера теплопередачи, сложного конвективного движения воздуха в зазоре между НКТ и обсадной трубой температура последней в области силовых элементов, нагретых до 130°C , оказывается на уровне 70°C .

2. Неоднородность температурного поля нивелируется до 4–5 % на расстоянии 400–420 мм от оси НКТ.

3. Толщина слоя проплавления грунтового льда за 90 сут эксплуатации НКТ зависит от процентного содержания водонаполненных пор в грунте. При минимальном содержании грунтового льда (10 % объема) толщина слоя проплавления за 90 сут эксплуатации НКТ не превысит 2.57 м. При увеличении процентного содержания водонаполненных пор до 30 % толщина слоя проплавления уменьшается до 1.39 м.

4. Добыча тяжелой нефти с больших глубин методом термокомпрессионной подачи перегретого пара в нефтеносный слой возможна, при этом теплофизические условия подачи перегретого пара с помощью НКТ с базальтовой теплоизоляцией и труб-термокейсов идентичны и не приведут к нарушению равновесного состояния вечной мерзлоты.

Благодарности

Работа проведена в рамках Соглашения о предоставлении субсидии № 14.579.21.0024 от 5 июня 2014 г. (Уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57914X0024) при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Литература

- Баданина Ю.В., Комков М.А., Тарасов В.А., Тимофеев М.П., Моисеев А.В.* Моделирование и экспериментальное определение технологических параметров жидкостного формования базальтовой теплоизоляции насосно-компрессорных труб // Наука и образование: Электрон. журн. 2015. № 4. С. 13–28. doi: 10.7463/0315.
- Базальтовое супертонкое волокно «MINOL». URL: <http://uteplitel-minol.ru/holst/>. Дата обращения 12.02.2016 г.
- Гишкелюк И.А., Станиловская Ю.В.* Компьютерное 3D моделирование ореола оттаивания грунтов с повторно-жильными льдами вокруг нефтепровода // Трубопроводный транспорт: теория и практика. 2013. № 6 (40). С. 18–25.
- Гишкелюк И.А., Станиловская Ю.В., Евланов Д.В.* Прогнозирование оттаивания многолетнемерзлых грунтов вокруг подземного трубопровода большой протяженности // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2015. № 1 (17). С. 20–25.
- Комков М.А., Баданина Ю.В., Тимофеев М.П.* Разработка и исследование термостойких покрытий трубопроводов из коротких базальтовых волокон // Инженерный журнал: Наука и инновации. 2014. Вып. 2. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/hidden/1203.htm>
- Комков М.А., Моисеев В.А., Тарасов В.А., Тимофеев М.П.* Уменьшение негативного влияния на биосферу при добыче тяжелой нефти и экологически чистая технология закачки пара сверхкритических параметров в нефтяные пласты за счет создания новых насосно-компрессорных труб с экологически чистым теплозащитным покрытием // Геофизические процессы и биосфера. 2015. Т. 14, № 1. С. 70–79.
- Моисеев В.А., Андриенко В.Г., Фролов В.И., Клокотов Ю.Н.* Теплоизоляция нефтепромысловых паропроводов для транспортировки пара с закритическими параметрами // Нефтяное хозяйство. 2012а. № 1. С. 92–94.

- Моисеев В.А., Моисеев А.В., Комков М.А., Фролов В.И. Высокотемпературный энергосберегающий нефтепромысловый паропровод // Биржа интеллектуальной собственности. 2012б. Т. XI, № 9. С. 57–60.
- Моисеев В.А., Моисеев А.В., Фролов В.И., Комков М.А. Патент на полезную модель № 121855 РФ «Труба теплоизолированная». 2012в. Бюл. № 31. 3 с.
- Кудимов В.И., Богомольный Е.И., Завьялов М.П., Багиров Г.Р. Патент № 2129202 РФ, E21B17/00, E21B36/00 «Теплоизолированная колонна (термоизолированная труба НКТ)». 20.04.1999. Бюл. № 4. 9 с.
- Сучков Б.М. Температурные режимы работающих скважин и тепловые методы добычи нефти. М.; Ижевск: Изд-во ИКИ, 2007. 406 с. (Сер. «Современные нефтегазовые технологии»).
- Тарасов В.А., Тимофеев М.П., Ермакова Ю.В., Боярская Р.В. Анализ свойств и особенностей функционирования высокопористых теплоизоляционных материалов на основе базальтового волокна // Вестн. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2014. № 5. С. 70–84.
- Филимонов А.С., Тарасов В.А., Комков М.А., Моисеев В.А., Тимофеев М.П., Герасимов Н.В. Экспериментальный анализ свойств перспективных теплоизоляционных материалов машиностроения, полученных методом фильтрационного осаждения // Вестн. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2012. Спец. вып. № 3. С. 175–184.
- Dauzhenka T.A. Specificity of the numerical heat transfer in the engineering problems of foundations construction in permafrost soils // XIII Scientific conference «Information technologies in engineering», Tyumen, April 2–4 2013. URL: <http://www.youtube.com/watch?v=DM04t7q95Lw>
- Davies B.E., Boorman R.D. Field investigation of effect of thawing permafrost around wellbores at Prudhoe bay // Proc. of Fall meeting of the Society of Petroleum Engineers of AIME, Las Vegas, Nevada, 30 September–3 October, 1973. URL: <http://dx.doi.org/10.2118/4591-MS>
- Goodman M., Fischer F.J., Garrett D. Thaw subsidence analysis for multiple wells on a gravel island // Proc. of 4th Canad. permafrost conference «Engineering applications in permafrost areas». 1982. P. 497–506.
- Kutasov I.M. Salted drilling mud helps prevent casing collapse in permafrost // Oil&Gas J. 1995, July 7. V. 93, is. 31.
- Prediction of ground thaw formations around an oil well [2015]. URL: <http://simmakers.com/wp-content/pdf/ground-thaw-formations-oil-well.pdf>
- Sengul M.M., Brigham W.E. Determination of permafrost thawing around oil wells // Abstr. of SPE California regional meeting, Ventura, California, 23–25 March 1983. URL: <http://dx.doi.org/10.2118/11734-MS>
- Xie J. Analysis of thaw subsidence impacts on production wells // Abstr. of SIMULIA [Abaqus] Customer Conference, London, England, May 18–21, 2009. 14 p. URL: http://www.simulia.com/download/pdf2009/Xie_SCC2009.pdf
- Xie J., Matthews C.M. Methodology to assess thaw subsidence impacts on the design and integrity of oil and gas wells in Arctic regions // SPE Arctic and extreme environments conference and exhibition, Moscow, Russia, 18–20 October 2011. M., 2011. doi: 10.2118/149740-MS.

Сведения об авторах

ФИЛИМОНОВ Алексей Сергеевич – доцент кафедры СМ-12, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1. Тел.: +7 (903) 103-46-37. E-mail: Alexf72@mail.ru

ТАРАСОВ Владимир Алексеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1. Тел.: +7 (916) 334-84-98. E-mail: tarasov_va@mail.ru

КОМКОВ Михаил Андреевич – доктор технических наук, профессор, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1. Тел.: +7 (499) 263-63-91. E-mail: m_komkov@list.ru

МОИСЕЕВ Валерий Андреевич – генеральный директор, доктор технических наук, профессор, Закрытое акционерное общество «Компомаш-ТЭК». 127018, г. Москва, 3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40. Тел.: +7 (495) 720-53-70. E-mail: info@compomash-tek.ru

ТИМОФЕЕВ Михаил Петрович – кандидат технических наук, заведующий учебной лабораторией, Дмитровский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. 141821, Московская обл., Дмитровский р-н, пос. Орехово. Тел.: +7 (495) 993-99-59. E-mail: sm5-3@yandex.ru

БОЯРСКАЯ Раиса Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-3, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1. Тел.: +7 (906) 799-87-76. E-mail: brv152@mail.ru

RESEARCH OF THERMAL PROCESSES IN THE SOIL DURING THE DEVELOPMENT OF OIL FIELDS IN THE FAR NORTH BY COMPRESSION METHOD WITH HEATING

**A.S. Filimonov¹, V.A. Tarasov¹, M.A. Komkov¹, V.A. Moiseev², M.P. Timofeev³,
R.V. Boyarskaya¹**

¹ Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

² JSC «Compomash-TEK», Moscow, Russia

³ Dmitrov Branch of the Bauman Moscow State Technical University, Orewo,
Dmitrovsky district, Moscow region, Russia

Abstract. We study the risk of adverse effects of heat on the ground permafrost as a result of long-term method of viscous oil production in the Far North by thermocompression supply superheated steam to the oil-bearing layer. It was found that due to the divergent nature of heat transfer, convective complex movement of air in the space between the tubing and the casing temperature is the latest in load-bearing elements, heated to 130 °C, is about 70 °C. The heterogeneity of the temperature field is leveled up to 4–5 % at a distance of 400–420 mm from the axis of the tubing. The thickness of the melting of ground ice within 90 days of operation the tubing depends on the percentage of water-filled pores in the soil. With a minimum (10 %) percentage water-filled pores in the soil layer, thickness of melting ground ice for 90 days of operation the tubing does not exceed 2.6 m.

Keywords: soil of the permafrost, viscous oil production, foundering of ground ice, filing superheated steam to the oil-bearing layer, oil well tubing.