

УДК 620.9:621.643.03

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ ИЗ ГЛУБИННЫХ НЕФТЯНЫХ ПЛАСТОВ

© 2015 г. В.А. Моисеев¹, В.П. Назаров², В.Ю. Журавлев², Д.А. Жуйков²,
М.В. Кубриков², Ю.Н. Клокотов¹

¹ ЗАО «КОМПОМАШ-ТЭК», г. Москва, Россия

² Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М.Ф. Решетнева,
г. Красноярск, Россия

Уменьшение негативного влияния связанных с добычей высоковязкой нефти технологических, геофизических и геохимических процессов на биосферу является весьма актуальной научно-технической задачей. Перспективное направление решения этой задачи – применение тепловых методов увеличения нефтеотдачи. Для интенсивного воздействия на нефтяные пласты с высоковязкой нефтью, залегающей на глубине свыше 1000–2000 м, требуется закачка пара сверхкритических параметров с температурой до 420 °С и давлением до 30 МПа и выше. В связи с этим возникает проблема доставки теплоносителя в призабойную зону скважины с минимальными потерями тепла. Для этого необходимо создание принципиально нового технологического оборудования. С этой целью проведены теоретические и экспериментальные исследования по разработке и созданию конструкции насосно-компрессорных труб с учетом разрабатываемого композиционного теплоизоляционного покрытия на основе базальтовых и стеклянных волокон. Для реализации этой задачи использован метод конечно-элементного анализа в лицензионной программной среде Nastran, которая обеспечивает выполнение комплексных научных и инженерных расчетов, включая расчет напряженно-деформированного состояния механических систем, решение задач теплопередачи, исследование нелинейных статических и динамических переходных процессов, анализ частотных характеристик и т.п. Впервые с применением методики компьютерного моделирования в программной среде Nastran разработана математическая модель теплопроводности, описывающая стационарный режим изменения температуры в волокнистом высокопористом материале с учетом тепловых потерь на излучение Стефана–Больцмана. Результаты проведенных исследований обеспечивают реализацию эта-

па проектирования реальной конструкции насосно-компрессорных труб с перспективой их использования для внедрения тепловых методов увеличения нефтеотдачи продуктивных нефтяных пластов и уменьшения негативного влияния на биосферу.

Ключевые слова: высоковязкая нефть, глубинные нефтеносные пласты, трудноизвлекаемая нефть, биосфера, технологические процессы, геофизические процессы, геохимические процессы, экологические проблемы добычи нефти, тепловые методы увеличения нефтедобычи, перегретый пар, насосно-компрессорная труба, теплоизоляционное покрытие, конечно-элементная модель, прочность, теплопроводность.

Введение

В последнее время в нефтедобывающих странах отмечен резкий рост доказанных запасов тяжелой высоковязкой нефти [Искрицкая, 2012]. Аналогичный процесс наблюдается и в Российской Федерации, поскольку добываемая на территории Европейской части страны нефть в подавляющем большинстве случаев имеет вязкость более 30 МПа·с, т.е. относится к высоковязким. Эксплуатация месторождений высоковязкой нефти имеет ряд принципиальных особенностей, что требует применения специальных технологий добычи нефти. Среди основных направлений ускорения темпов освоения месторождений высоковязкой нефти важное место занимают внедрение эффективных технологий и решение экологических проблем, связанных с токсическим воздействием на биосферу используемых технологических процессов, большим количеством нефтешламов, изменением режима подземной гидросферы и др. [Хисамов и др., 2009; Макаревич и др., 2010, 2012]. Так, в ОАО «ТАНЕКО» разработана и реализуется на постоянной основе Программа обеспечения экологической безопасности текущей производственной и хозяйственной деятельности [ТАНЕКО..., 2012]

В связи с исключительной важностью нефтедобычи для экономики страны разработка и практическая реализация новых методов эффективного и экологически безопасного извлечения высоковязких запасов нефти из нефтяных пластов является актуальной научно-технической и технологической задачей не только нефтедобывающей промышленности, но и других отраслей экономики, науки и производства Российской Федерации. В качестве одного из перспективных направлений решения указанной проблемы рассматривается применение тепловых методов увеличения нефтеотдачи, обеспечивающих повышение коэффициента извлечения продукта до 25 % и уменьшение негативного влияния на природную среду.

Для интенсивного воздействия на нефтяные пласты с высоковязкой трудноизвлекаемой нефтью, залегающей на глубине свыше 1000–2000 м, требуется закачка пара сверхкритических параметров (температура – до 420 °С, давление – до 30 МПа и выше), в связи с чем возникает проблема доставки теплоносителя в призабойную зону скважины с минимальными потерями тепла. Применяемое в настоящее время технологическое оборудование не в полной мере обеспечивает достижение ожидаемого эффекта и уменьшение негативного воздействия на окружающую среду в процессе теплового разогрева нефтеносного пласта и призабойной зоны. В частности, предназначенные для подачи перегретого пара термоизолированные насосно-компрессорные трубы (НКТ) в виде сваренных коаксиально расположенных металлических труб с вакуумированием межтрубного пространства (так называемые термокейсы) обладают большой погонной массой и недостаточной гибкостью. Кроме того, их отличает сложность технологического процесса изготовления и, как следствие, высокая стоимость.

Для подачи теплоносителя в пласт необходимо разработать новую конструкцию насосно-компрессорных труб и изготовить эффективную экологически чистую теплоизоляцию наружных поверхностей НКТ, допускающую силовое воздействие при монтаже и опускании труб в скважины. При проведении теоретических и расчетно-экспериментальных исследований создания конструкции НКТ с разрабатываемым композиционным теплоизоляционным покрытием на основе базальтовых и стеклянных волокон необходимо учитывать, что по условиям эксплуатации труба будет находиться в напряженно-деформированном состоянии при сложном термосиловом нагружении высокой температурой и большим внутренним давлением перегретого пара.

Конструктивно-технологические особенности НКТ

В результате теоретических и экспериментальных исследований [Комков и др., 2015], проведенных с участием одного из авторов настоящей статьи, разработана конструкция насосно-компрессорной трубы с новым теплоизолирующим покрытием на основе супертонкого базальтового волокна и связи из глинозема. Данный материал обладает низким (до 0.041 Вт/мК) коэффициентом теплопроводности и высокой химической стабильностью. Вместе с тем физико-механические характеристики и свойства материала покрытия накладывают определенные ограничения на технологию изготовления конструктивных элементов теплоизолирующего слоя. В связи с невозможностью изготовления покрытия из сложных цилиндрических колец целесообразно применить технологию формообразования скорлупообразных элементов длиной до 1 м, которые в последующем подвергаются сборке в замок по образующим цилиндрам.

Общая схема сборки насосно-компрессорной трубы представлена на рис. 1. Для проведения прочностного анализа стальной трубы, узла опорной секции для стеклопластиковой оболочки, узлов захвата спайдера и гидравлического ключа, секции соединительной муфты, упорного кольца, защитной и силовой стеклопластиковой (базальтопластиковой) оболочки трубы разработана адаптированная конечно-элементная модель в среде FemapwithNXNastran. В качестве исходных данных использованы геометрия

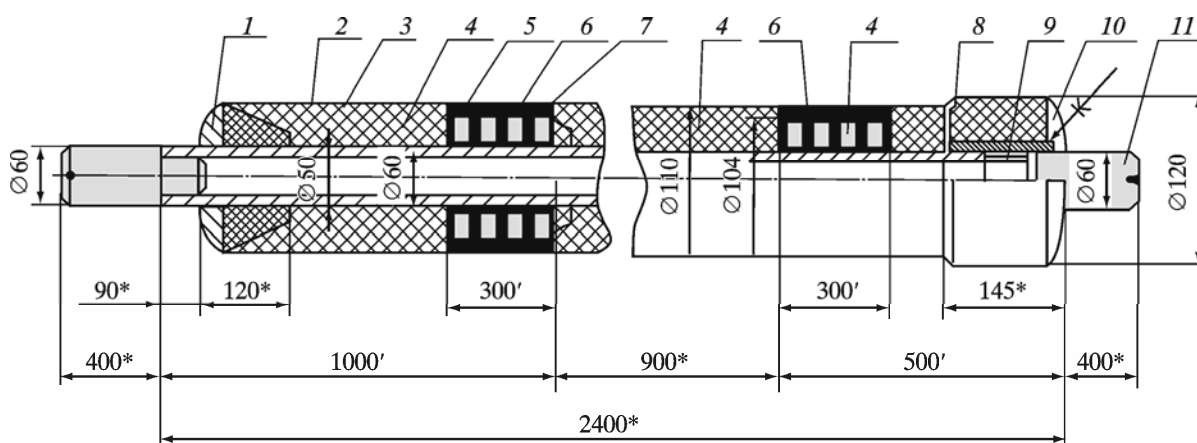


Рис. 1. Схема сборки НКТ

1 – опорная секция; 2 – отражательный слой (фольга); 3 – слой герметика (скотч); 4 – базальтовая теплоизоляция; 5 – труба НКТ по ГОСТ 633-80; 6 – кольцо из стеклопластика; 7 – сварной каркас (сталь); 8 – упорное кольцо (сталь); 9 – резьбовая втулка (шаг 2.54); 10 – фланец; 11 – оправка

конструктивных элементов трубы с теплоизоляцией и физико-механические свойства элементов конструкции.

Общее описание труб и требования к ним определены ГОСТ Р 53366-2009 (ИСО 11960-2004) «Трубы стальные, применяемые в качестве обсадных или насосно-компрессорных труб для скважин в нефтяной и газовой промышленности. Общие технические условия». В табл. С.8 ГОСТ Р 53366-2009 даны значения критической толщины стенки муфты, превышающие величину толщины стенки, рекомендуемую в ГОСТ 633-80, что обеспечивает большую прочность муфты при основных допускаемых нагрузках.

Моделирование тепловых потоков

В качестве теплоносителя в НКТ применяется водяной пар, а охлаждение осуществляется за счет естественной конвекции воздуха в ограниченном пространстве обсадной колонны, т.е. реализуется процесс теплопередачи. Насосно-компрессорная труба состоит из трех участков: 1) основной регулярной теплоизолированной трубы длиной 1.659 м; 2) соединения муфтой длиной 135 мм; 3) участка под захват спайдера и гидравлического ключа длиной 303 мм (2 шт.).

Оценка изменения температуры материалов по радиусу трубы требует определение теплового потока, который распространяется из области с более нагретым теплоносителем в область с менее нагретым теплоносителем. Для этого необходимо составить систему из уравнений, описывающих процессы распространения тепла в теплопроводных твердых материалах и процессы теплоотдачи от теплоносителя к поверхности трубы и от другой поверхности к другому теплоносителю.

В насосно-компрессорной трубе применяются следующие материалы: сталь 20Х3МВФ, теплоизолирующий материал (ТИМ) из базальтовых волокон [Комков и др., 2015] и стеклопластик [Киселев, 1961; Кожевников, Новицкий, 1982]. Так как температура в трубе имеет более высокий градиент по радиусу, чем по оси, тепловой поток распространяется только от оси трубы к воздуху, омывающему трубу. Поэтому рассмотрим уравнения теплопередачи для определения изменения температуры материалов только по радиусу трубы.

При известной длине участка h тепловой поток при теплоотдаче от теплоносителя к поверхности трубы описывается следующим выражением:

$$Q = \alpha_f \pi h d (T_f - T_w), \quad (1)$$

где d – диаметр трубы; T_f – температура теплоносителя; T_w – температура материалов трубы; а коэффициент теплоотдачи α определяется через критериальное уравнение. Для конвекции пара используется критериальное уравнение вынужденной конвекции в трубе, а для воздуха, омывающего наружную трубу, применяется уравнение естественной конвекции в ограниченном пространстве обсадной колонны.

Тепловой поток через внутренние слои материалов трубы определяется уравнением

$$Q = \frac{h \lambda \pi d_1 (T_{w1} - T_{w2})}{\ln(d_2 / d_1)}, \quad (2)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, зависящий от температуры.

Тепловой поток через теплоотражающее покрытие передается только за счет излучения и описывается законом Стефана–Больцмана

$$Q = h\varepsilon_{\text{пр}}\sigma_0\pi d(T_{w2}^4 - T_{w1}^4), \quad (3)$$

где $\varepsilon_{\text{пр}}$ – приведенная степень черноты, определяемая по общеизвестному выражению [Цветков, Григорьев, 2011].

Объединяя уравнения (1)–(3), получим систему из 8 нелинейных уравнений с 8-ю неизвестными. Для решения этой системы воспользуемся приближенным методом дихотомии (бисекции) [Амосов и др., 2003] с заданной абсолютной точностью по температуре, например $\eta = 0.05$ К.

Результаты расчета теплопередачи при температуре наружного воздуха 20 °С с учетом горизонтальной конвекции показали, что температура наружной поверхности теплоизолированной трубы при погрешности расчета 0.05 °С в целом соответствовала результатам экспериментальных исследований (см. таблицу).

Экспериментальная и расчетная температуры (°С) наружной стенки НКТ при разной температуре закачиваемого пара

$T_{\text{пара}}$	$T_{\text{эксп}}$	$T_{\text{расч}}$
390	55	51.59
410	59	54.10
420	–	56.10
450	62	59.58

Изменение температуры по радиусу теплоизолированной НКТ на регулярном участке при температуре пара 420 °С показано на рис. 2.

Решение задачи теплопередачи для теплоизолированной трубы также было проведено с помощью программного обеспечения (ПО) FemapwithNXNastran, которое позволяет решать задачи теплопроводности и конвекции методом конечных элементов [Рудаков, 2011; Рычков, 2013]. Предварительно были выполнены следующие этапы:

- задание характеристик материалов;
- задание типов конечных элементов;
- разработка геометрической модели конструкции НКТ;
- создание сетки конечных элементов;
- формирование условий нагружения конечно-элементной модели;
- выбор вида и параметров конечно-элементного анализа;
- выполнение конечно-элементного анализа конструкции;
- анализ результатов расчета.

Формирование условий нагружения конечно-элементной модели осуществлялось по следующим исходным параметрам:

- температура пара;
- массовый расход пара;
- температура воздуха;
- степень черноты материалов;

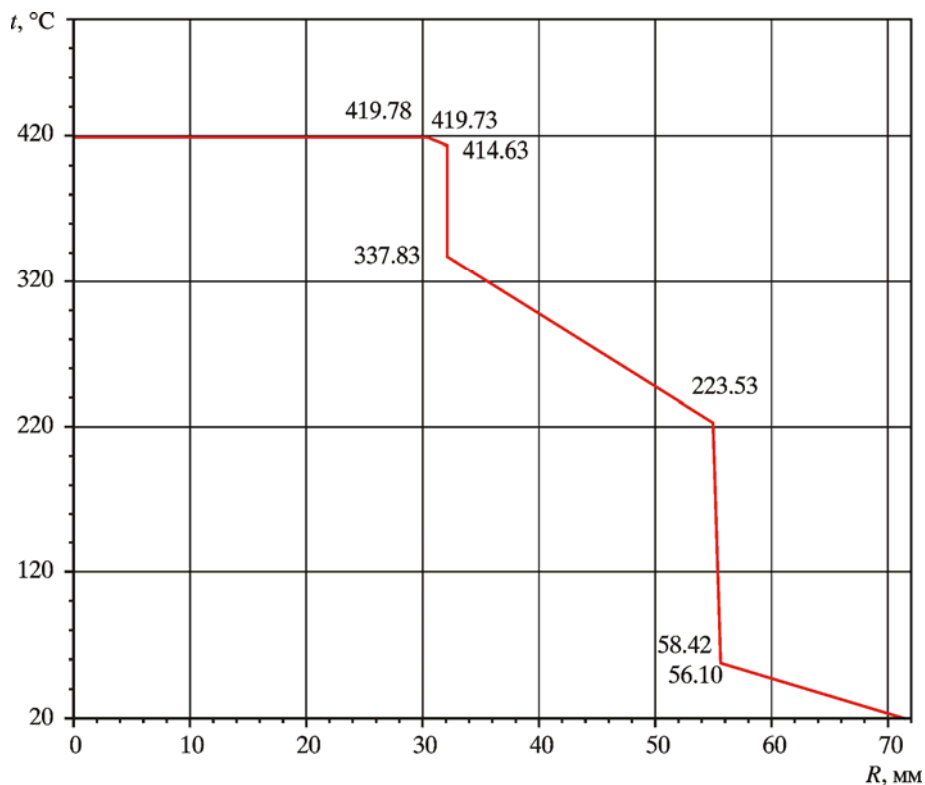


Рис. 2. Расчетный график изменения температуры по слоям НКТ при температуре закачиваемого пара 420 °C

- теплофизические свойства: вязкость и теплопроводность пара, вязкость, теплопроводность и удельный объем воздуха в зависимости от его температуры;
- коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубы к воздуху;
- тепловые константы.

По результатам проведенного с помощью ПО NXNastran анализа (рис. 3) можно сделать следующие выводы о работоспособности НКТ:

- 1) наличие теплоотражающего покрытия существенно снижает тепловые потери в трубе и в целом падение температуры более чем 270 °C;
- 2) теплоизолирующий материал обладает высоким термическим сопротивлением; падение температуры составило более 130 °C.

Для первого участка НКТ температура наружной поверхности была почти равна температуре воздуха, омывающего трубу при свободной конвекции (рис. 4). Как показали результаты численного анализа, проведенного с помощью ПО FemapwithNXNastran, температура наружной стенки трубы получилась меньше, чем по результатам приближенного расчета. Это объясняется более совершенной методикой численного моделирования расчета температуры и теплового потока материала в слое, который разбит на конечные элементы. По общим результатам расчетов, при температуре воздуха 20 °C температура наружной поверхности НКТ на всех участках, кроме второго, не превысила 65 °C; средняя температура наружной поверхности НКТ составила 93.9 °C. Заметное отличие температуры наружной поверхности второго участка НКТ объясняется наличием резьбовой муфты и недостаточной толщиной теплоизоляционного материала на этом участке, что уменьшает его общее термическое сопротивление. Поскольку температура наружной поверхности НКТ на втором участке превышает величину, заданную техническими условиями эксплуатации, необходимо принять меры по ее снижению до оптимального значения.

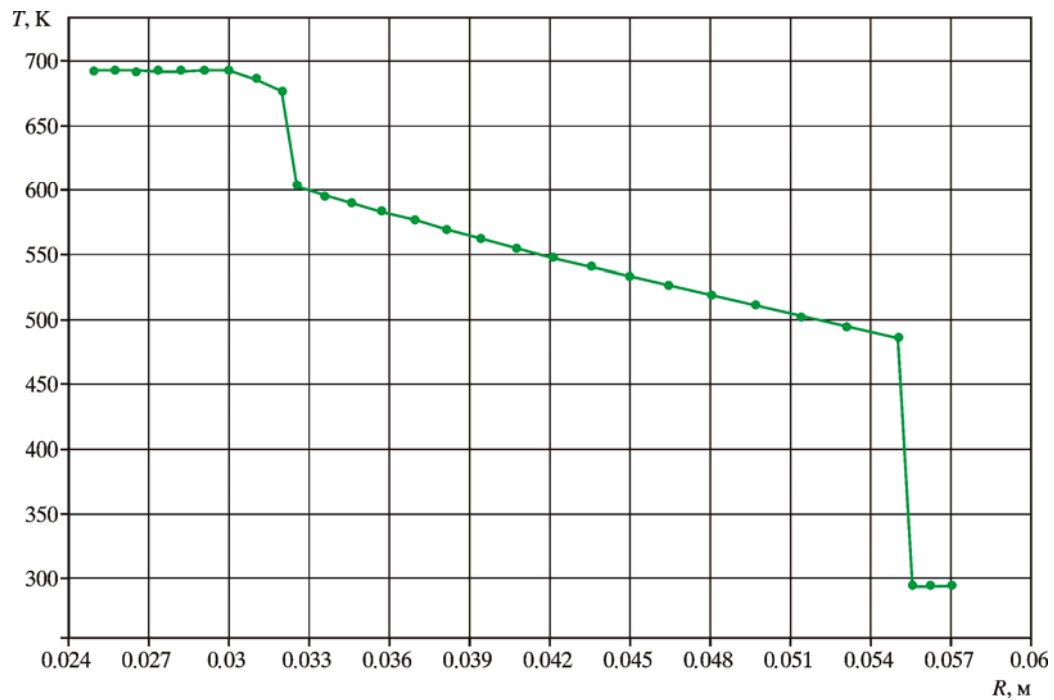


Рис. 3. График изменения температуры по радиусу для первого участка НКТ в окне диаграмм ПО FemapwithNXNastran, полученный в ходе выполнения расчетов при температуре воздуха, омывающего трубу, 20 °С и свободной конвекции в ограниченном пространстве

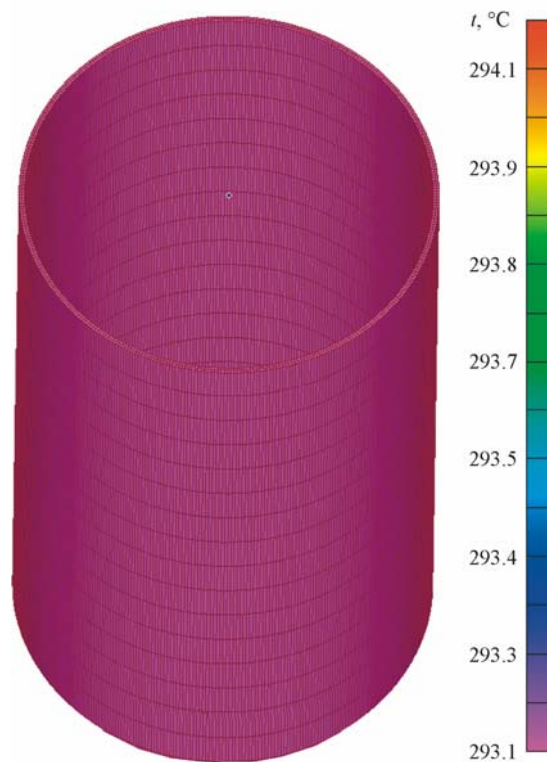


Рис. 4. Распределение температуры по поверхности наружного слоя НКТ, выполненного из стеклопластика, при температуре воздуха 20 °С по результатам анализа с помощью ПО NXNastran в главном окне ПО FemapwithNXNastran

Распределение температуры в зоне резьбовой муфты имеет сложный характер. Поэтому расчет геометрических размеров дополнительного теплоизолирующего покрытия с использованием методов математического моделирования является ориентировочным и должен подтверждаться экспериментальными исследованиями. На основании результатов расчета разработаны и изготовлены новые образцы теплозащитных соединительных муфт (рис. 5). Их изготовление осуществлялось путем фильтрационного осаждения базальтовых волокон в специальные формы. Внешняя поверхность муфт закрыта конической оболочкой из стекловолокна (рис. 6). Далее был проведен эксперимент



Рис. 5. Соединительные муфты НКТ, выполненные из базальтовых волокон



Рис. 6. Внешняя поверхность оболочки из стекловолокна, закрывающей соединительную муфту НКТ

с целью проверки принятого проектно-технологического решения и определения температуры в области переходной муфты. Для реализации данного эксперимента устанавливали датчики температуры (№ 1 и № 3) на регулярных участках соединенных труб и датчик (№ 2) на переходной муфте в зоне соединения муфт. Продолжительность эксперимента составила 250 мин. Температура потока на входе в лабораторный образец поддерживалась постоянной (400 ± 1 °С) до 200-й мин с постепенным снижением до 33 °С к окончанию эксперимента. Показания датчиков температуры приведены на рис. 7.

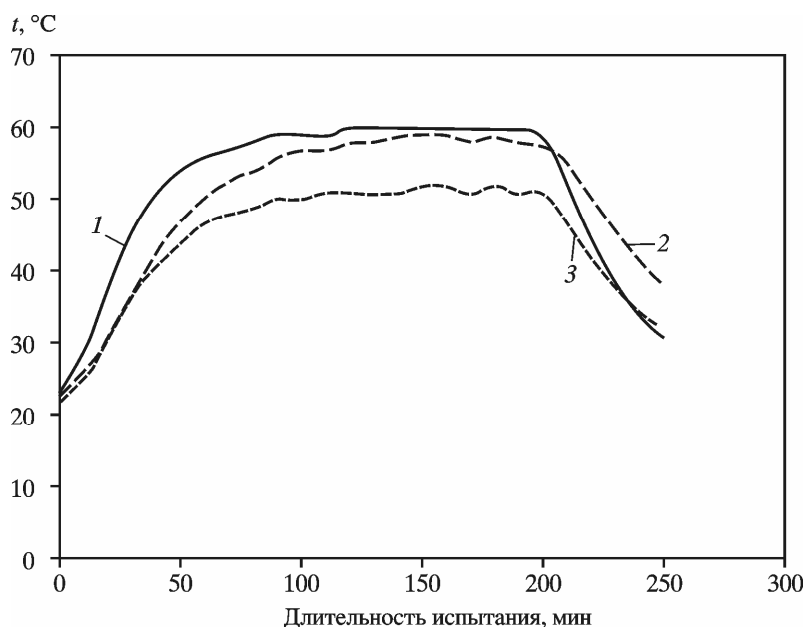


Рис. 7. Изменение температуры воздуха на входе и выходе из лабораторного образца трубы НКТ в ходе эксперимента по показаниям трех датчиков (1–3 соответственно)

Анализ результатов эксперимента показал, что температура на поверхности переходной муфты в зоне соединения регулярных участков НКТ практически не отличается от температуры поверхности регулярных секций трубы. Таким образом, разработанная методология моделирования тепловых потоков и расчета распределения температуры в материалах теплоизолированной трубы при стационарном режиме теплопередачи получила экспериментальное подтверждение.

Резюме

В статье изложены результаты выполненной авторами научно-исследовательской работы, направленной на решение приоритетной научно-технической задачи по созданию новых методов, технологий и оборудования с целью повышения эффективности и экологической безопасности добычи нефти. Проведены прикладные научные исследования и выполнен большой объем расчетных и графических работ по разработке новой конструкции насосно-компрессорных труб с композиционным теплоизолирующим покрытием для закачки водяного пара, перегретого до температуры 420 °С.

В процессе реализации целей и задач НИР разработана адаптированная конечно-элементная модель конструкции насосно-компрессорной трубы в компьютерной программной среде Nastran. Построены диаграммы напряженно-деформированного со-

стояния трубы для расчета силовых узлов конструкции изделия при сложном термосиловом воздействии высокой температуры (420 °С), давления (35.0 МПа), осевой силы (до 400 кН) и крутящего момента (до 2500 Н·м). Разработана математическая модель теплопроводности, описывающая стационарный режим изменения температуры в волокнистом высокопористом материале с учетом тепловых потерь на излучение Стефана–Больцмана.

По результатам проведенных прикладных научно-исследовательских и расчетно-аналитических работ сделан вывод о высокой степени реальности и большой практической значимости разрабатываемой ЗАО «КОМПОМАШ-ТЭК» новейшей конструкции насосно-компрессорных труб с использованием композиционного теплозащитного покрытия на основе базальтовых и стеклянных волокон.

Благодарности

Статья отражает результаты работы, проведенной 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

- Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.П. Вычислительные методы для инженеров: Учеб. пособие. 2-е изд. М.: МЭИ, 2003. 596 с.
- Искрицкая Н.И. Зарубежный опыт практического освоения запасов тяжелых высоковязких нефтей и природных битумов // Сб. материалов Науч.-практ. конф. «Комплексное изучение и освоение сырьевой базы нефти и газа севера Европейской части России». СПб.: ВНИГРИ, 2012. С. 271–276.
- Киселев Б.А. Стеклопластики. М.: Госхимиздат, 1961. 239 с.
- Кожевников И.Г., Новицкий Л.А. Теплофизические свойства материалов при низких температурах: Справ. М.: Машиностроение, 1982. 328 с.
- 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.
- Макаревич В.Н., Искрицкая Н.И., Богословский С.А. Ресурсный потенциал тяжелых нефтей Российской Федерации: перспективы освоения // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2010. Т. 5, № 2. URL: http://www.ngtp.ru/rub/6/29_2010.pdf
- Макаревич В.Н., Искрицкая Н.И., Богословский С.А. Ресурсный потенциал месторождений тяжелых нефтей Европейской части Российской Федерации // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2012. Т. 7, № 3. URL: http://www.ngtp.ru/rub/6/43_2012.pdf
- Рудаков К.Н. FEMAP 10.2.0: Геометрическое и конечно-элементное моделирование конструкций. Киев: НТУУ «КПИ», 2011. 317 с.
- Рычков К.Н. Моделирование конструкций в среде FemapwithNXNastran. М.: ДМК Пресс, 2013. 784 с.
- ТАНЕКО: Экология под контролем. 2012. URL: www.tatneft.ru

Хисамов Р.С., Гатиятулин Н.С., Макаревич В.Н., Искрицкая Н.И., Богословский С.А. Особенности освоения тяжелых высоковязких нефтей и природных битумов Восточно-Европейской платформы. СПб.: ВНИГРИ, 2009. 192 с.

Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: Учеб. пособие для вузов. М.: МЭИ, 2011. 562 с.

Сведения об авторах

МОИСЕЕВ Валерий Андреевич – доктор технических наук, профессор, генеральный директор, Закрытое акционерное общество «КОМПОМАШ-ТЭК». 127018, г. Москва, 3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40. Тел.: +7 (916) 686-50-49. E-mail: info@compomash-tek.ru

НАЗАРОВ Владимир Павлович – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой двигателей летательных аппаратов, Сибирский государственный аэрокосмический университет. 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 31. Тел.: +7 (913) 262-95-61. E-mail: dla@sibsau.ru

ЖУРАВЛЕВ Виктор Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, Сибирский государственный аэрокосмический университет. 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 31. Тел.: +7 (903) 924-45-88. E-mail: vz@sibsau.ru

ЖУЙКОВ Дмитрий Александрович – кандидат технических наук, доцент, Сибирский государственный аэрокосмический университет. 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 31. Тел.: +7 (913) 831-19-39. E-mail: d_zhuikov@sibsau.ru

КУБРИКОВ Максим Викторович – кандидат технических наук, доцент, Сибирский государственный аэрокосмический университет. 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 31. Тел.: +7 (950) 433-91-03. E-mail: gidroponika@mail.ru

КЛОКОТОВ Юрий Николаевич – кандидат технических наук, заместитель генерального директора, Закрытое акционерное общество «КОМПОМАШ-ТЭК». 127018, г. Москва, 3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40. Тел.: +7 (916) 244-71-16. E-mail: info@compomash-tek.ru

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL BASES FOR CREATION OF PROMISING TECHNOLOGICAL EQUIPMENT TO IMPROVE EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL SAFETY OF HIGHLY VISCOUS OIL EXTRACTION FROM DEEP OIL FORMATIONS

**V.A. Moiseyev¹, V.P. Nazarov², V.Y. Zhuravlev², D.A. Zhuykov², M.V. Kubrikov²,
Y.N. Klokov¹**

¹ Closed JSC «КОМПОМАШ-ТЕК», Moscow, Russia

² Reshetnev Siberian State Aerospace University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract. The development of new technological equipment for the implementation of highly effective methods of recovering viscous oil from deep beds is an important scientific and technical challenge. Thermal recovery methods are promising approaches of solving the problem. It is necessary to carry out theoretical and experimental research aimed at developing tubing with the composite thermal

insulation coatings based on basalt and glass fibers. We used the method of finite element analysis in software licensing environment Nastran, which implements complex scientific and engineering calculations, including the calculation of the stress-strain state of the mechanical systems, the solution of problems of heat transfer, the study of nonlinear static and dynamic transient analysis of frequency characteristics, etc. As a result, we created the mathematical model of heat conduction, which describes the steady state temperature, changes in the fibrous highly porous material with the heat loss by Stefan–Boltzmann’s radiation. It has been performed for the first time using the method of computer modeling in software environments Nastran. The results ensure realization of the design stage of the actual design of tubing with a view to their use in the implementation of thermal methods for increasing recoverable productive oil and environmental impact mitigation.

Keywords: highly viscous oil, oil-producing formations, hard to recover oil, biosphere, technological processes, geophysical processes, geochemical processes, ecological problems of oil production, thermal enhanced oil recovery, superheated vapour, strength, thermal conductivity, finite element model, strength, thermal conductivity.