

УДК 502.171:622.245.78 + 662.998.3:666.189

## **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**

© 2015 г. М.А. Комков<sup>1</sup>, В.А. Моисеев<sup>2</sup>, В.А. Тарасов<sup>1</sup>, М.П. Тимофеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Закрытое акционерное общество «Компомаш-ТЭК», г. Москва, Россия

Обсуждаются некоторые экологические проблемы, возникающие при добыче тяжелой нефти, и способы уменьшения негативного влияния добычи тяжелой нефти на биосферу. Отмечена экологическая опасность, например, часто используемого мультистадийного гидравлического разрыва пластов и рассмотрены достоинства и перспективы применения перегретого пара. Для развития этого метода необходимо разработать парогенераторы нового типа и изготовить эффективную экологически чистую теплоизоляцию напорно-компрессорных труб (НКТ). Статья посвящена решению второй из названных задач – разработке и использованию легковесных, негорючих, экологически чистых и экономически эффективных теплоизоляционных материалов. Показано, что для теплоизоляционного покрытия НКТ, работающих при температурах до 420 °С, наиболее эффективной теплоизоляцией является высокопористый материал на основе базальтового волокна. Обоснован процесс фильтрационного осаждения из жидкой пульпы коротких базальтовых волокон со связкой из глинозема теплоизоляционных покрытий НКТ в виде цилиндров и цилиндрических скорлуп. С учетом теплофизических характеристик базальтовых волокон и технологических особенностей изготовления покрытий определена толщина высокопористой теплоизоляции НКТ. Экспериментально на модельных образцах НКТ показано, что при температуре испытательной среды 400 °С предложенная теплоизоляция обеспечивает низкую температуру на наружной поверхности трубы, которая не превышает 60 °С. Внедрение описанной разработки позволит существенно уменьшить негативное влияние процессов добычи тяжелой нефти на биосферу.

*Ключевые слова:* влияние на биосферу, экология, добыча тяжелой нефти, экологически чистая технология, перегретый пар, насосно-компрессорные трубы, теплоизоляция, базальтовое волокно, коэффициент теплопроводности, пористость, фильтрационное осаждение.

По мере истощения действующих – как правило, легкодоступных – месторождений углеводородов добывать нефть становится все труднее, а сама она становится все «тяжелее». Нефтедобытчики неустанно повторяют: «Время "легкой" нефти прошло». Понимать это нужно двояко: с одной стороны, легкой по плотности высококачественной нефти действительно добывается все меньше и меньше [Орлов, 2012], а с другой – усложняются условия нефтедобычи. Нефть или приходится добывать из нетрадиционных коллекторов, или осваивать месторождения углеводородов, которые находятся в труднодоступных местах с тяжелыми климатическими условиями.

При этом многие технологии добычи тяжелой и нетрадиционной нефти представляют серьезную экологическую угрозу в связи с использованием различных опасных химических реагентов. Например, одной из таких экологически опасных технологий является мультистадийный гидравлический разрыв пластов (МГРП) [Усачев, 1986; Современные..., 2012]. Этот метод уже приобрел дурную славу в США, законодательно запрещен к использованию в большинстве стран ЕС, но зарубежные сервисные компании продолжают усиленно «продвигать» его в России как безальтернативную технологию для добычи трудноизвлекаемых углеводородов в Западной Сибири из продуктивных пластов баженовской свиты [Калинин, 2012].

С экологической точки зрения, более безопасными представляются тепловые методы увеличения нефтеотдачи (МУН), и в последнее время они получают все большее распространение. Так, сегодня более чем в 50 % случаев нефть, отбираемая из продуктивных пластов с использованием тех или иных МУН, добывается с использованием именно тепловых технологий. При этом тепловые МУН сегодня применяются не только для добычи природных битумов или тяжелых нефтей – зарубежные нефтяные компании уже начали использовать тепловые МУН для добычи средней по вязкости нефти из нетрадиционных коллекторов. Хорошие перспективы использования имеют тепловые технологии для пород баженовской свиты. Эксперты отрасли единодушны во мнении, что без использования тепловых МУН освоение нефтяных месторождений из продуктивных пластов баженовской свиты, основанное только на добыче нефти низкопроницаемых пород без вовлечения в активную разработку керогена, просто бесперспективно.

Наиболее распространенным тепловым МУН является метод закачки в продуктивные пласты теплоносителя в форме влажного 80–90%-ного пара, температура которого традиционно не превышает 230 °С. Но сегодня в добывающем секторе нефтяной промышленности все большую популярность приобретает новая концепция, основывающаяся на использовании перегретого пара, имеющего температуру более 350 °С. Ее растущая популярность объясняется следующими преимуществами применения перегретого пара.

1. Перегретый пар дальше от скважины проникает в продуктивный пласт, а это означает, что разрабатывать нефтяные месторождения можно с использованием меньшего количества скважин, что, в свою очередь, снижает степень техногенной нагрузки на окружающую среду в зонах нефтедобычи.

2. Перегретый пар внутри пласта необратимо модифицирует тяжелую или высоковязкую нефть на молекулярном уровне; в результате его использования на дневную поверхность извлекается нефть, имеющая более низкую вязкость и плотность. Такой подход исключает применение различных «грязных» технологий нефтеподготовки тяжелой нефти перед ее транспортировкой потребителям.

3. Использование перегретого пара позволяет повысить коэффициент извлечения нефти (КИН) (например, для тяжелой нефти с существующих 15–20 % до 40–50 %),

что, в свою очередь, позволяет оставлять в продуктивном пласте меньше нефти и бурить меньше скважин.

4. Применение перегретого пара также позволяет снизить объемы используемой воды примерно на 10 %, что заметно снижает экологическую нагрузку в местах нефтедобычи.

5. Использование перегретого пара потенциально исключает использование различных химических реагентов, что делает сам процесс нефтедобычи экологически более чистым.

6. И, наконец, отбираемая с помощью закачки в продуктивный пласт молекулярно модифицированная нефть – более высокого качества. После ее переработки на НПЗ генерируется меньшее количество нефтяного шлама, утилизация которого является одной из наиболее актуальных экологических задач, стоящих перед нефтяной отраслью.

Тепловой разогрев пласта и призабойной зоны осуществляют путем длительной закачки в пласт сухого перегретого пара с высокими начальными параметрами (температурой 400–450 °С и давлением 32–35 МПа [Мусеев и др., 2012а–в]). Для подачи теплоносителя в пласт необходимо не только использовать парогенераторы нового типа, но и разработать и изготовить эффективную экологически чистую теплоизоляцию напорно-компрессорных труб (НКТ). Необходимо, чтобы в приповерхностной зоне скважины за обсадной трубой температура цементного камня была не более 60 °С. В связи с этим получение легковесных, негорючих, экологически чистых и экономически эффективных теплоизоляционных материалов (ТИМ) на основе коротких базальтовых волокон и минеральной связки, работоспособных при температурах до 750 °С, является важной и актуальной задачей.

В качестве материала для теплоизоляции НКТ, длительное время (до трех месяцев) работающих при температурах до 450 °С, может быть использован теплозащитный материал марки ТЗМК-10 [Авиационно-космические..., 1997] на основе мелкодисперсного кварцевого волокна диаметром 1.5–2.0 мкм и длиной 1.2–3.2 мм, разработанного для изготовления теплозащитных плиток ВКС «Буран». Высокопористый (92–94 %) и коротковолокнистый материал существенно ослабляет лучистый теплообмен путем рассеивания и эффекта многократного экранирования, а также уменьшает теплопроводность по воздуху за счет затруднения конвективного переноса. К недостаткам ТЗМК-10 можно отнести лишь высокую стоимость производства этого материала и несколько повышенный коэффициент теплопроводности (0.06 Вт/(м·К)) при нормальной температуре.

Более дешевая, но не менее эффективная теплоизоляция, работоспособная при температурах до 750 °С, может быть создана из короткого базальтового волокна [Джигирис, Махова, 2002; Комков и др., 2014]. Проведенные нами на модельных теплоизолированных образцах труб экспериментальные исследования [Тимофеев, 2007; Филимонов и др., 2012а,б] показали, что теплоизоляционный материал на основе супертонкого (диаметром 1.5–3.0 мкм) базальтового волокна и связки из глинозема при нагреве образцов до температуры 400–450 °С обладает низким коэффициентом теплопроводности, в среднем равным 0.0415 Вт/(м·К). При этом теплоизоляционный материал на основе базальтового волокна проявляет большую сопротивляемость высоким температурам и химически стабилен.

Основным технологическим методом изготовления ТИМ из коротких базальтовых волокон является метод фильтрационного осаждения волокон из жидкой пульпы, который рассмотрен в работах [Тарасов и др., 2007; Тимофеев, 2007] и применяется при формировании теплозащитных плиток и цилиндрических колец небольшой высоты.

В то же время перспективное теплоизоляционное покрытие длинномерных НКТ по конструктивно-технологическим ограничениям нельзя изготовить из сплошных цилиндрических колец; оно может быть выполнено только из скорлуп примерно метровой дли-

ны с последующей их сборкой в замок по образующим цилиндра. В связи с этим необходимо определить геометрические, структурные и физико-механические характеристики высокопористого теплоизоляционного материала термостойких цилиндрических скорлуп, полученных из коротких базальтовых волокон методом фильтрационного осаждения.

При проведении теплофизических исследований в качестве базового был выбран материал на основе базальтовых волокон, имеющих химический состав:  $\text{SiO}_2 = 48\text{--}52\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 16\text{--}18\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 7\text{--}11\%$ ,  $\text{CO} = 7\text{--}10\%$ ,  $\text{MgO} = 4\text{--}8\%$ ,  $\text{TiO}_2 = 1\text{--}2\%$ ,  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} = 3\text{--}5\%$  [Филимонов и др., 2012а] и 5–6 % связки из  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на основе раствора сернокислого алюминия. Для изготовления опытных образцов сложнопрофильных цилиндрических скорлуп (рис. 1) была спроектирована и изготовлена необходимая технологическая оснастка.

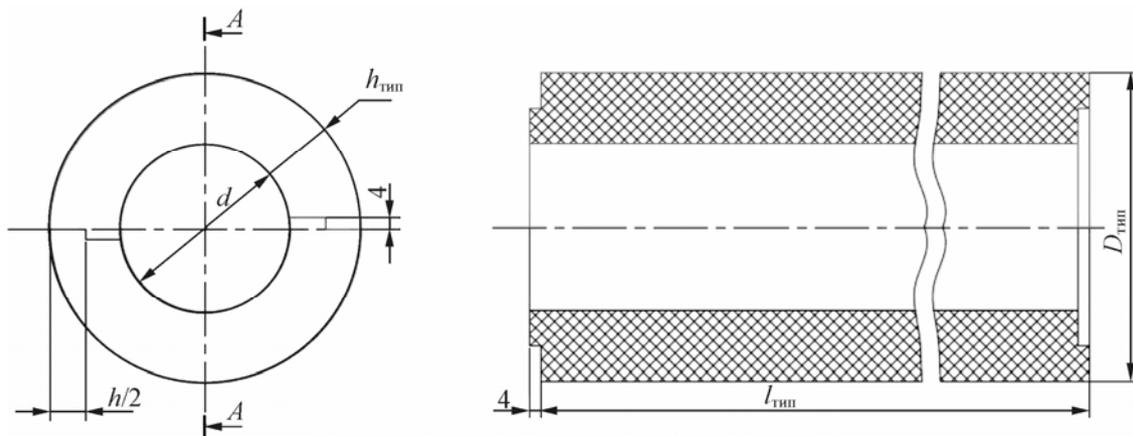


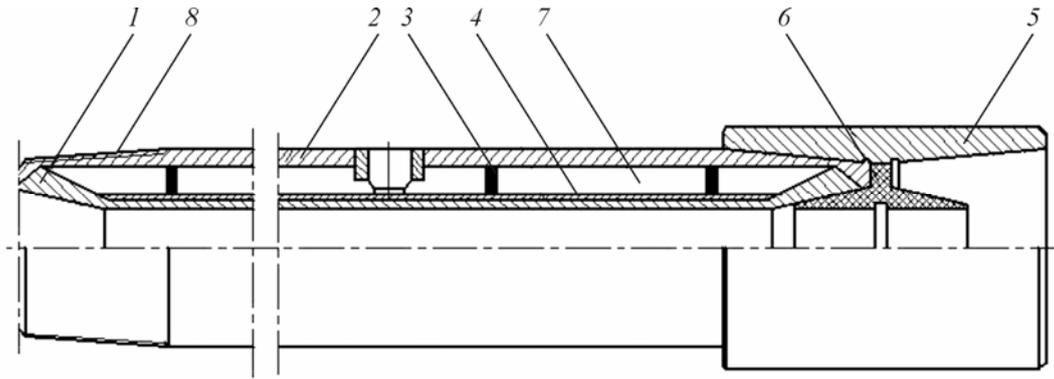
Рис. 1. Геометрия цилиндрических скорлуп ( $d = 60$  мм) из коротких базальтовых волокон

Эффективность теплоизоляции на базе предложенного материала обуславливают следующие совместно действующие физические факторы:

- низкая теплопередача по базальтовому волокну, что определяется малой суммарной площадью структуры материала согласно закону Фурье;
- низкая теплопередача по воздуху, находящемуся в порах, объем которых может достигать уровня 80–90 %, что определяется малым значением коэффициента теплопроводности;
- высокая теплоотдача лучистой энергии с боковой поверхности волокон в поры материала в соответствии с законом Стефана–Больцмана.

Эффективность теплоизоляции будем оценивать путем сравнения с теплоизоляцией в насосно-компрессорных трубах с вакуумной теплоизоляцией (рис. 2, [Кудимов и др., 1999]), которые в настоящее время применяются для закачки в пласт перегретого пара. Такие НКТ выполнены в виде концентрически расположенных труб с вакуумированием межтрубного пространства и дополнительной установкой отражательных экранов (иногда с теплоизоляцией ТЗМК-25) [Авиационно-космические..., 1997].

Следует отметить, что вакуумно-теплоизолированные НКТ, которые называются также термокейсами, не в полной мере удовлетворяют производственным потребностям нефтяников по уровню теплотерь и надежности вакуумирования конструкции трубы. Главный недостаток таких НКТ – излишне большая погонная масса конструкции и, как следствие, невозможность применения их для глубоких скважин, а также отсутствие гибкости и эластичности.



**Рис. 2.** Теплоизолированная труба НКТ с вакуумной теплоизоляцией

1 – труба внутренняя с профилированными концами ( $d_v = 40$  мм; 62 мм); 2 – труба наружная ( $D_{тр} = 89$  мм; 114 мм); 3 – центраторы; 4 – изоляция, расположенная на внутренней трубе; 5 – муфта; 6 – уплотнительная втулка с канавкой; 7 – вакуум; 8 – резьба ОТТГ (ГОСТ 632-80)

Для снижения погонной массы теплоизоляции НКТ рассматривалась возможность использования покрытия, выполненного из коротких базальтовых волокон с внешней герметизирующей и защитной оболочкой из стеклопластика. Ориентируясь на характеристика вакуумно-изолированных НКТ [Кудимов и др., 1999], для которых допустимой считается потеря теплового потока по длине трубы  $q_1 = 150$  Вт/м, можно предварительно рассчитать толщину теплоизолирующего покрытия из базальтовых волокон по формуле:

$$q = \frac{q_1}{\pi \cdot d} = \frac{2}{d} \cdot \frac{\lambda_{тип} \cdot (T_1 - T_2)}{\ln\left(\frac{d + 2h_{тип}}{d}\right)}, \quad (1)$$

где  $d$  – наружный диаметр НКТ,  $d = 60$  мм;  $\lambda_{тип}$  – среднее значение коэффициента теплопроводности базальтового покрытия в диапазоне температур ( $T_1 - T_2$ );  $T_1$  – температура на внутренней стенке трубы НКТ,  $T_1 = 400$  °С;  $T_2$  – температура на наружной стороне покрытия НКТ,  $T_2 = 60$  °С;  $h_{тип}$  – толщина теплоизоляции НКТ.

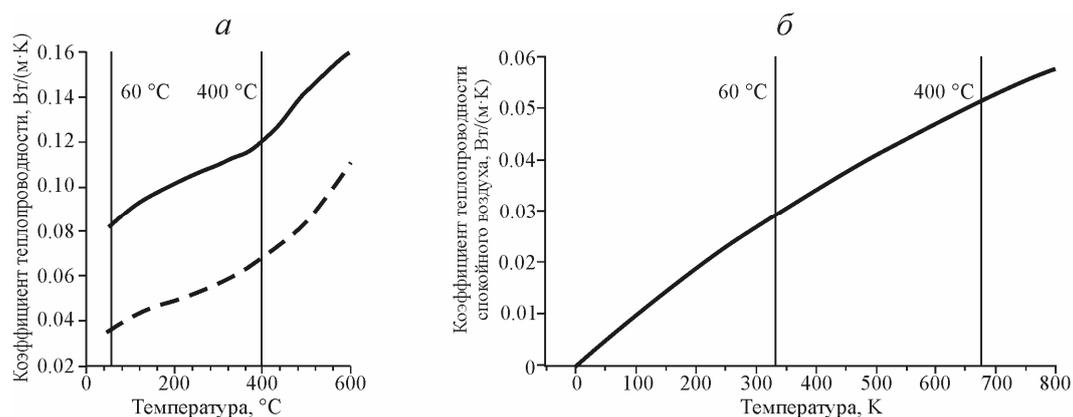
Зависимости коэффициентов теплопроводности от температуры соответственно для базальтовых волокон (бв) и спокойного воздуха представлены на рис. 3 [Богданов и др., 1999]. Анализ графиков позволяет определить средние значения коэффициентов теплопроводности в диапазоне температур от 60 до 400 °С для базальтового волокна  $\lambda_{бв} = 0.055$  Вт/(м·К) и воздуха  $\lambda_{возд} = 0.041$  Вт/(м·К).

Считая, что пористость  $\varepsilon = \frac{V_{пор}}{V_{тип}}$  теплоизоляции из базальтовых волокон, как и для

ТЗМК-10, можно получить равной 0.92–0.93, найдем среднее значение коэффициента теплопроводности материала покрытия:

$$\lambda_{тип}^{cp} = (1 - \varepsilon) \cdot \lambda_{бв}^{cp} + \varepsilon \cdot \lambda_{возд}^{cp} = 0.0408 \text{ Вт/(м·К)}. \quad (2)$$

Подставив  $\lambda_{тип}^{cp}$  из (2) в формулу (1), определяем толщину теплоизоляции для НКТ:  $h_{тип} = 25$  мм. При пористости 93 % и плотности базальтовых волокон  $\rho_{бв} = 2750$  кг/м<sup>3</sup> разработанный теплоизоляционный материал имеет плотность  $\rho_{тип} = 195$  кг/м<sup>3</sup> и прочность на сжатие при 10%-ной деформации – 0.42 МПа.



**Рис. 3.** Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры для базальтового (1) и кремнеземного (2) волокон (а) и для спокойного воздуха (б)

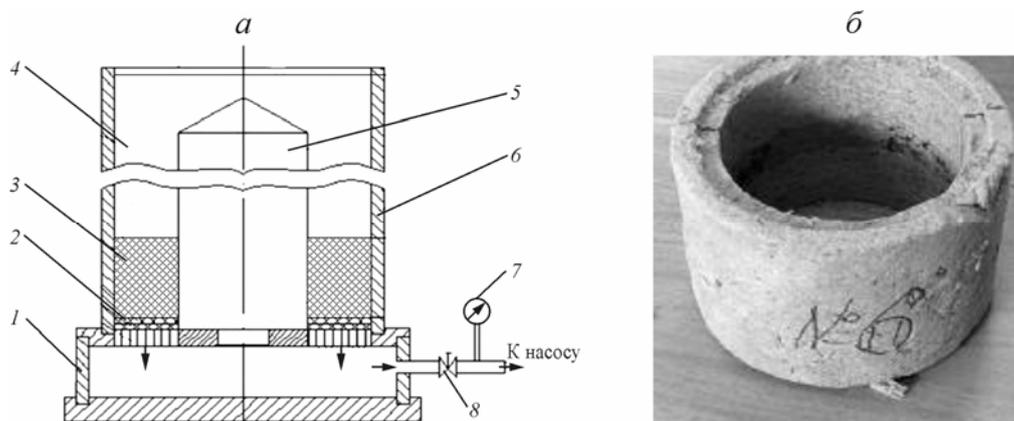
Погонную массу теплоизоляции НКТ из базальтовых волокон и защитной оболочки из намотанного стеклопластика определим по формулам:

$$M_{\text{тип}} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{тип}}^2 - d_{\text{НКТ}}^2) \cdot \rho_{\text{ТИМ}};$$

$$M_{\text{сп}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{сп}}^2 - d_{\text{тип}}^2) \cdot \rho_{\text{сп}} \quad (3)$$

где  $d_{\text{тип}}$  – наружный диаметр теплоизоляции,  $d_{\text{тип}} = 110$  мм;  $d_{\text{НКТ}}$  – диаметр трубы НКТ,  $d_{\text{НКТ}} = 60$  мм;  $D_{\text{сп}}$  – диаметр стеклопластиковой оболочки,  $D_{\text{сп}} = 114$  мм;  $\rho_{\text{сп}}$  – плотность стеклопластика,  $\rho_{\text{сп}} = 2.05$  кг/м<sup>3</sup>. Подставив эти значения в формулы (3), получим  $M_{\text{тип}} = 1.44$  кг/м, а масса стеклопластиковой оболочки с герметизирующим слоем будет равна  $M_{\text{сп}} = 1.47$  кг/м, что в сумме с погонной массой стальной НКТ диаметром 60 мм, равной 6.8 кг/м, составит 9.7 кг/м. Это соответственно в 2.02 и 3.33 раза меньше погонной массы НКТ с вакуумной теплоизоляцией (см. рис. 2).

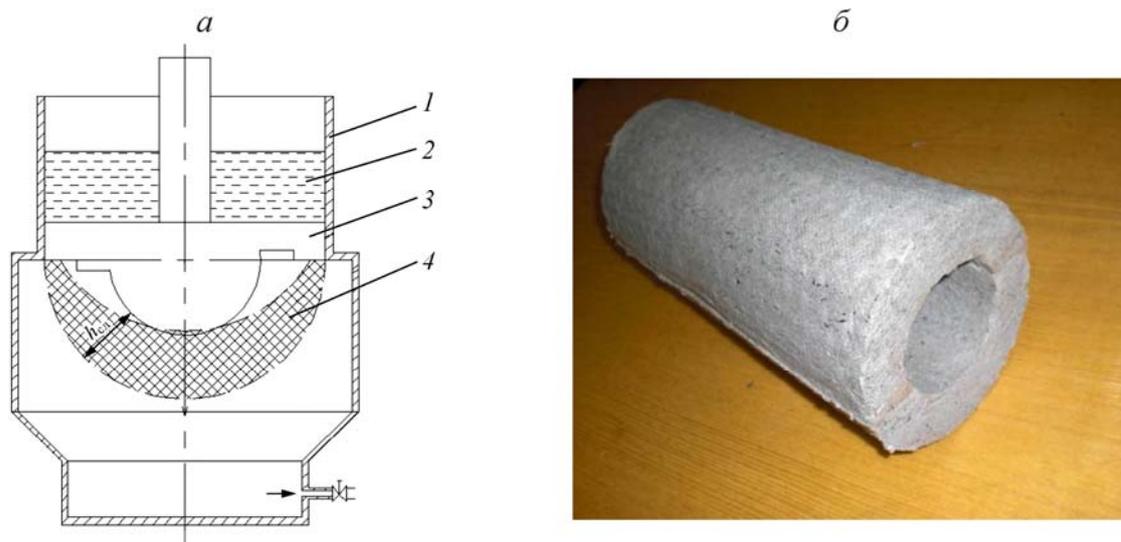
На рис. 4 показана схема формообразования методом жидкостной фильтрации из коротких базальтовых волокон теплоизоляционных цилиндрических колец небольшой высоты.



**Рис. 4.** Схема фильтрационного осаждения пульпы (а) и цилиндрический образец ТИП на основе базальтового волокна и глинозема (б)

1 – камера; 2 – фильтровальная перегородка; 3 – слой осадка ТИМ; 4 – пульпа; 5 – оправка; 6 – корпус (труба); 7 – вакуумметр; 8 – запорный вентиль

Проведенные исследования показали, что с целью сокращения времени изготовления цилиндрических теплоизоляционных скорлуп и последующей их сборки на НКТ необходимо применять схему формования с плоскости образующей цилиндра (рис. 5). В этом случае за короткое время ( $t \approx 5$  мин) производится осаждение до 85 % объема волокон, а затем, не прерывая процесса, вводится оправка-пуансон; на этом фильтрация волокон и формование замка теплоизолирующего покрытия заканчиваются. При такой схеме фильтрации высота столба пульпы резко снижается, что упрощает и конструкцию технологической оснастки.



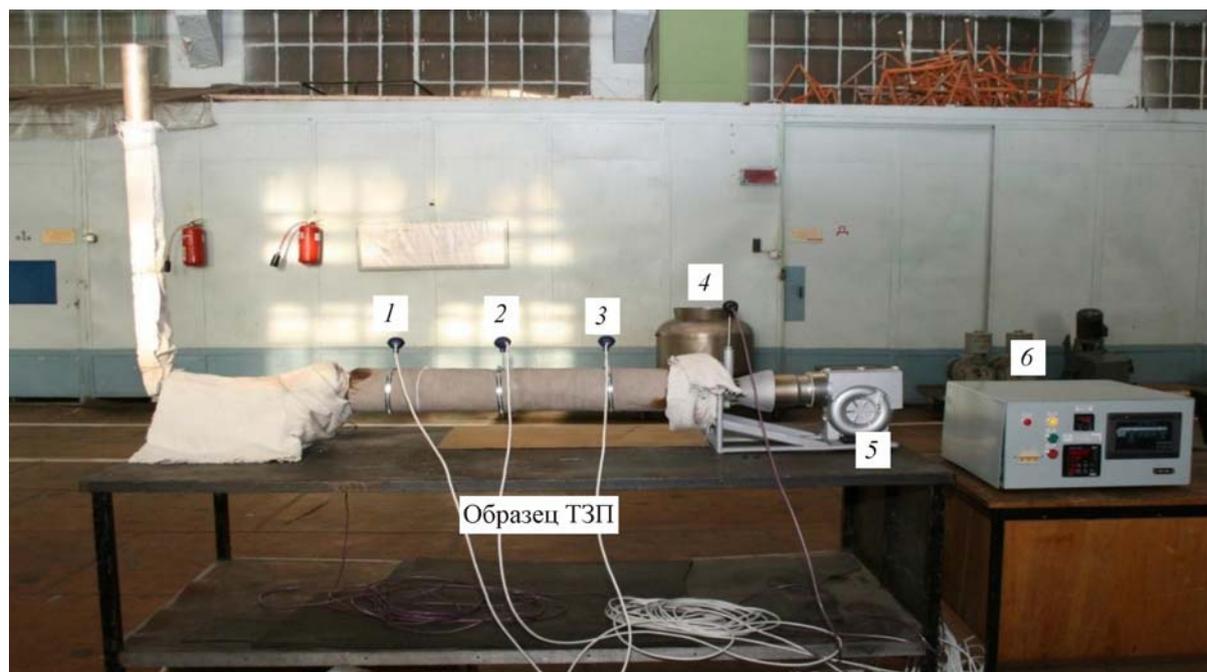
**Рис. 5.** Схема формования цилиндрических скорлуп из коротких базальтовых волокон (а) и вид собранных скорлуп (б)

1 – камера; 2 – пульпа; 3 – пуансон; 4 – первоначальный слой осадка

Экспериментальное определение теплофизических характеристик теплоизоляционного покрытия НКТ проводилось на тепловом стенде [Мусеев и др., 2012а, б] по схеме, представленной на рис. 6. Для исследования была выбрана стальная труба (наружный диаметр – 60 мм, толщина стенки – 5 мм, длина – 800 мм), на которую надевались кольцевые секции ТИМ (см. рис. 4, б) с внешним диаметром 110 мм и высотой 120 мм. Сверху на кольца ТИМ наносился экранирующий слой, на который в поперечном направлении наматывался слой стеклопластика толщиной 2 мм. После полимеризации связующего образец теплоизолированной трубы устанавливался в тепловой стенд (см. рис. 6) для температурных испытаний. Показания датчиков температуры (1–3 на рис. 6) на поверхности покрытия образца теплоизолированной трубы НКТ и датчика температуры горячего воздуха (4 на рис. 6), прокачиваемого через трубу, оказались следующими:

Температура внутренней поверхности трубы, °С	350	380	410	450;
Температура на поверхности покрытия, °С	49	52	54	59.

Как видно, при длительной прокачке воздуха температурой 400 °С установившаяся температура на внешней поверхности многослойного теплоизоляционного покрытия НКТ не превышала 59 °С.



**Рис. 6.** Температурные испытания модельных образцов теплоизолированной трубы НКТ на тепловом стенде  
1–3 – датчики температуры поверхности образца; 4 – датчик температуры горячего воздуха; 5 – тепловентилятор; 6 – шкаф системы управления

В ходе исследований нами был отработан состав теплоизоляционного материала с пористостью 93 % на основе супертонкого базальтового волокна и 5 % связки из глинозема. На основе метода фильтрационного осаждения разработана технология изготовления из коротких базальтовых волокон цилиндрических колец и длинномерных скорлуп. Расчетным путем определены теплофизические характеристики, толщина и погонная масса волокнистого теплоизоляционного покрытия НКТ, которая оказалась вдвое меньше погонной массы вакуумно-теплоизолированных труб, эксплуатируемых в том же интервале температур. Экспериментально установлено, что при длительной прокачке воздуха температурой 400 °С через модельные образцы многослойной теплоизолированной НКТ температура на наружной поверхности теплозащитного покрытия не превышает 60 °С.

Для участков теплоизолированных НКТ, подвергающихся воздействию внешних сил (участки взаимодействия с гидравлическим ключом и ключом спайдера), исследовалась возможность использования композиций на основе стеклянных микросфер. Показано, что сферопластики обеспечивают большую прочность на сжатие, имеют близкий по значению коэффициент теплопроводности, но вдвое больше по плотности.

### Резюме

Разработанное новое теплоизолирующее покрытие существенно снижает стоимость производства и эксплуатации труб НКТ для подачи перегретого пара, а само их использование уменьшает тепловые потери при доставке перегретого пара в пласт. В свою очередь, снижение тепловых потерь означает, что в процессе теплогенерации сжигается меньше топлива и, таким образом, уменьшается и количество выбросов топочных газов в атмосферу, что повышает степень экологической чистоты тепловых МУН. Надежность разрабатываемой конструкции НКТ и технологии будет способствовать снижению нагрузки на биосферу при эксплуатации в реальных условиях.

## Благодарности

Статья отражает результаты работы, проведенной по Соглашению 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

- Авиационно-космические системы / Под ред. Г.Е. Лозино-Лозинского, А.Г. Братухина. М.: Изд-во МАИ, 1997. 416 с.
- Богданов С.Н., Бурцев С.И., Иванов О.П., Куприянова А.В. Холодильная техника. Кондиционирование воздуха: Справ. / Под ред. С.Н. Богданова. СПб.: Изд-во СПбГАХИТ, 1999. 320 с.
- Джигирис Д.Д., Махова М.Ф. Основы производства базальтовых волокон и изделий. М.: Теплоэнергетик, 2002. 416 с.
- Калинин В. Свита для нефтяных королей // Сибирская нефть. 2012. № 4/91. С. 16–19.
- 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. № 2. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/hidden/1203.htm>
- Кудимов В.И., Богомольный Е.И., Завьялов М.П., Багиров Г.Р. Теплоизолированная колонна (термоизолированная труба НКТ). Патент № 2129202 РФ, E21B17/00, E21B36/00, опубл. 20.04.1999 г. БИ, № 4. 9 с.
- Моисеев В.А., Андриенко В.Г., Фролов В.И., Клокотов Ю.Н. Теплоизоляция нефтепромысловых паропроводов для транспортировки пара с критическими 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. № 9. С. 57–60.
- Моисеев В.А., Моисеев А.В., Фролов В.И., Комков М.А. Труба теплоизолированная: Патент на полезную модель № 121855 RU, U1 E21B 17/00, опубл. 2012в. БИ, № 31. 3 с.
- Орлов С. Меняя правила // Сибирская нефть. 2012. № 4/91. С. 10–14.
- Современные методы интенсификации добычи: гидроразрыв пласта. 2012. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.baltslon.ru/rus/publications/article258/>
- Тарасов В.А., Смирнов Ю.В., Тимофеев М.П., Филимонов А.С. Режимы фильтрационного осаждения элементов теплозащиты РКТ // Полет: Общероссийский научно-технический журнал. 2007. № 5. С. 52–55.
- Тимофеев М.П. Разработка и исследование фильтрационной технологии изготовления изделий из волокнистых неорганических материалов: Автореф. дис... канд. техн. наук. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 16 с.
- Усачев П.М. Гидравлический разрыв пласта. М.: Недра, 1986. 165с.
- Филимонов А.С., Тарасов В.А., Комков М.А. Экспериментальный анализ свойств перспективных теплоизоляционных материалов машиностроения, полученных методом фильтрационного осаждения // Инженерный журнал: Наука и инновации. 2012а. № 9. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/382.html>
- Филимонов А.С., Тарасов В.А., Комков М.А. Влияние связующих на свойства новых теплоизоляционных покрытий с использованием стеклянных микросфер // Инженерный журнал: наука и инновации. 2012б. № 9. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/383.html>

*Сведения об авторах*

**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, Закрытое акционерное общество «Компомаш-ТЭК». 127018, г. Москва, 3-й проезд Марьиной Рощи, д. 40. E-mail: info@compomash-tek.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. E-mail: tarasov\_va@mail.ru

**ТИМОФЕЕВ Михаил Петрович** – кандидат технических наук, заведующий учебной лабораторией, Дмитровский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1. Тел.: +7 (495) 993-99-59. E-mail: sm5-3@yandex.ru

**MINIMIZATION OF NEGATIVE INFLUENCE ON THE BIOSPHERE  
IN HEAVY OIL EXTRACTION AND ECOLOGICALLY CLEAN  
TECHNOLOGY FOR INJECTION OF STEAM  
WITH SUPERCRITICAL PARAMETERS ON THE BASIS  
OF NEW ECOLOGICALLY CLEAN TUBING PIPES  
WITH HEAT-RESISTANT COATINGS**

**М.А. Komkov<sup>1</sup>, V.A. Moiseev<sup>2</sup>, V.A. Tarasov<sup>1</sup>, M.P. Timofeev<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> JSC «Compomash-TEK», Moscow, Russia

**Abstract.** Some ecological problems related to heavy oil extraction and the ways for minimization of negative impact of the process on the biosphere are discussed. Ecological hazard of an often used multistage hydraulic fracturing of formation is noted and the advantages and perspectives of superheated steam injection are considered. Steam generators of a new type and ecologically clean and cost-effective insulating for tubing pipes are necessary to develop the superheated steam injection method. The article is devoted to solving one of these most important and urgent tasks – getting lightweight, non-flammable, environmentally safe and cost-effective insulating materials. It is shown that for shielding tubing, working at temperatures up to 420 °C, the most effective thermal insulation is a highly porous material based on basalt fiber. The process of filtration deposition of liquid pulp short basalt fibers with a bunch of alumina thermal insulation tubing pipe coatings in the form of cylinders and cylindrical shells was substantiated. Based on the thermal characteristics of basalt fibers and technological features of manufacturing highly porous coating insulation thickness of tubing pipe was determined. During prolonged pumping air with a working temperature of 400 °C in the model sample tubing pipes with insulation and a protective layer we found that the surface temperature of the thermal barrier coating does not exceed 60 °C. Introduction of the development described will allow considerable decreasing negative impact of heavy oil extraction on the biosphere.

*Keywords:* influence on biosphere, ecology, heavy oil extraction, ecologically clean technology, tubing, insulation, basalt fiber, thermal conductivity, porosity, filtration deposition.