

# Разработка и исследование теплоизолирующих конструкций трубопроводов на основе коротких базальтовых волокон

## Баданина Ю. В.

*Баданина Юлия Владимировна / Badanina Yuliya Vladimirovna - аспирант, ассистент, кафедра технологий ракетно-космического машиностроения, факультет специальных машиностроений, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, г. Москва*

**Аннотация:** исследование выполнено при поддержке «Фонда содействия развитию малых форм предприятия в научно-технической сфере» по программе «УМНИК-2015» по договору № 7159ГУ2/2015 от 03.08.2015г. В статье освещены вопросы получения теплоизоляционного покрытия на основе коротких базальтовых волокон для насосно-компрессорных труб (НКТ), работающих при температурах до 420°C. Исследован процесс фильтрационного осаждения из жидкой пульпы коротких базальтовых волокон со связкой из глинозема для теплоизоляционных покрытий труб НКТ в виде цилиндров и цилиндрических скорлуп.

**Ключевые слова:** насосно-компрессорные трубы, теплоизоляция, базальтовое волокно, коэффициент теплопроводности, фильтрационное осаждение, цилиндрические кольца, скорлупы.

Важное направление развития машиностроения - разработка новых конструкторских решений и материалов с высокими эксплуатационными характеристиками. В связи с этим получение легковесных, не горючих, экологически чистых и экономически эффективных теплоизоляционных материалов (ТИМ) на основе коротких базальтовых волокон и минеральной связки, работоспособных при температурах до 750°C, является важной и актуальной задачей.

В настоящее время существует проблема теплоизоляции трубопроводов, работающих при температурах 400°C и выше. Такие трубы применяют в нефтедобывающей промышленности для добычи «тяжелой», трудно извлекаемой нефти повышенной вязкости и плотности. По оценкам специалистов мировой суммарный объем тяжелых нефтей оценивается в 810 млрд. тонн, тогда как объем остаточных извлекаемых запасов нефти малой и средней вязкости составляет лишь 162,3 млрд. тонн.

Наиболее рациональными способами разработки месторождений с высоковязкой нефтью являются тепловые и, в частности, паротепловые методы добычи, осуществляющиеся за счет искусственного увеличения температуры в стволе и призабойной зоне путем длительной закачки в пласт сухого перегретого пара с высокими начальными параметрами (температурой 420°C и давлением 35 Мпа [1-3]). В связи с этим возникает проблема доставки теплоносителя к забою скважин с минимальной потерей тепла, с одновременным сохранением целостности скважины, работающей в условиях высоких температур.

Для подачи теплоносителя в пласт необходимо разработать и исследовать эффективную теплоизоляцию напорно-компрессионных труб (НКТ) таким образом, чтобы в приповерхностной зоне скважины за обсадной трубой температура цементного камня была бы не более 60°C.

Очень часто оригинальные разработки, выполненные для функционирования изделий авиационной и ракетно-космической техники (РКТ), служат в дальнейшем для решения совершенно иных или похожих задач в других отраслях промышленности и наоборот. Так, в качестве материала для теплоизоляции труб НКТ, длительное время (до трех месяцев) работающего при температурах 420°C, может быть использован теплозащитный материал марки ТЗМК-10 [4] на основе мелкодисперсного кварцевого волокна диаметром 1,5-2,0 мкм и длиной 1,2-3,2 мм, разработанный 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 высокую стоимость производства этого материала и более высокий коэффициент теплопроводности кварцевых волокон по сравнению с базальтовыми при нормальной температуре.

Поэтому весьма перспективным является применение теплоизоляционных материалов на основе базальтового волокна. Такие материалы, полученные методом фильтрационного осаждения коротких волокон из пульпы, являются легковесными, экологически чистыми, они не горючи и дешевые в изготовлении. Волокнистые системы на основе базальтовых волокон способны длительное время работать при температурах до 750°C, закрывая диапазон применения термостойких теплоизоляционных материалов на рабочие температуры выше 150°C. Создание недорогих ТИМ из коротких базальтовых волокон с указанными характеристиками является актуальной и своевременной задачей.

Проведенные экспериментальные исследования на модельных теплоизолированных образцах труб [5-7] 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°C обладает

низким коэффициентом теплопроводности в среднем равным 0,0415 Вт/(м·К). Основным технологическим методом изготовления ТИМ из коротких базальтовых волокон является метод фильтрационного осаждения волокон из жидкой пульпы, который рассмотрен в работах [7, 8] и применяется при формировании теплозащитных плиток и цилиндрических колец небольшой высоты.

В тоже время перспективное теплоизоляционное покрытие (ТИП) длинномерных труб НКТ по конструктивно-технологическим ограничениям нельзя изготовить из сплошных цилиндрических колец, оно может быть выполнено только из скорлуп примерно метровой длины с последующей сборкой их в замок по образующим цилиндра. В связи с этим были определены геометрические, структурные и физико-механические характеристики высокопористого теплоизоляционного материала термостойких цилиндрических скорлуп, полученных из коротких базальтовых волокон методом фильтрационного осаждения.

Для проведения теплофизических исследований был разработан материал на основе базальтовых волокон, имеющих химический состав (таблица 1) [5], и 5-6 % связки из  $Al_2O_3$  на основе раствора сернокислого алюминия.

Таблица 1. Химический состав образца ТИМ

Состав базальтового волокна	$SiO_2$ , кремнезём (%)	48-52
	$Al_2O_3$ , глинозём (%)	16-18
	$Fe_2O_3$ , (%)	7-11
	СО, (%)	7-10
	MgO, (%)	4-8
	$TiO_2$ , (%)	1-2
	$Na_2O+K_2O$ , (%)	3-5

Для изготовления опытных образцов сложно профильных цилиндрических скорлуп (рис.1) была спроектирована и изготовлена необходимая технологическая оснастка.

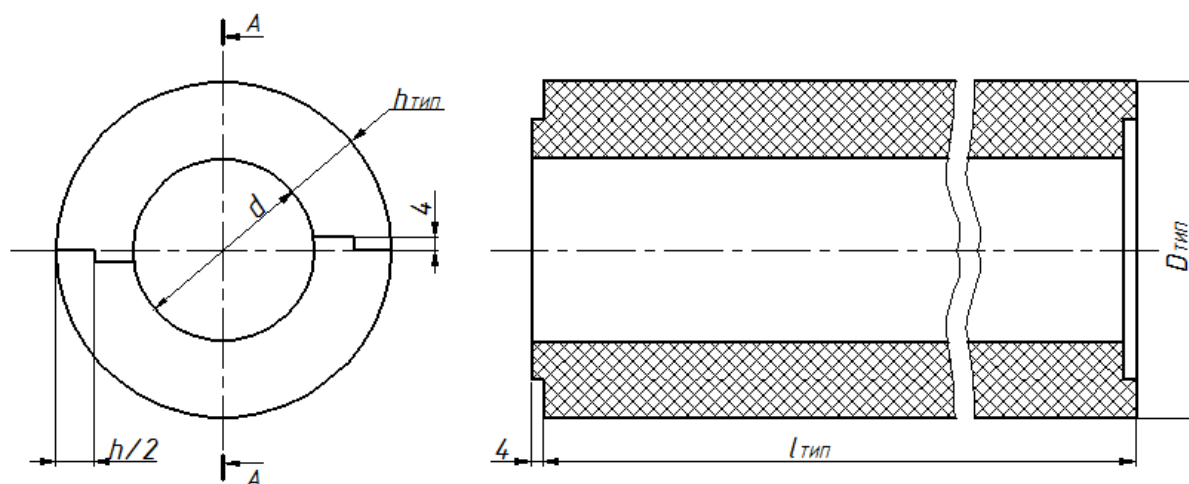


Рис.1. Геометрия цилиндрических скорлуп из коротких базальтовых волокон;  $d=60$  мм;  $l_{тип}=1000$  мм;  $h_{тип} = 25$  мм

На рис. 2 показано формообразование методом жидкостной фильтрации из коротких базальтовых волокон теплоизоляционных цилиндрических колец небольшой высоты. Однако изготовление длинномерных (около метра) цилиндрических покрытий указанным способом становится неприемлемым из-за формирования неоднородной структуры материала по длине цилиндра и чрезмерной длительности процесса формования.

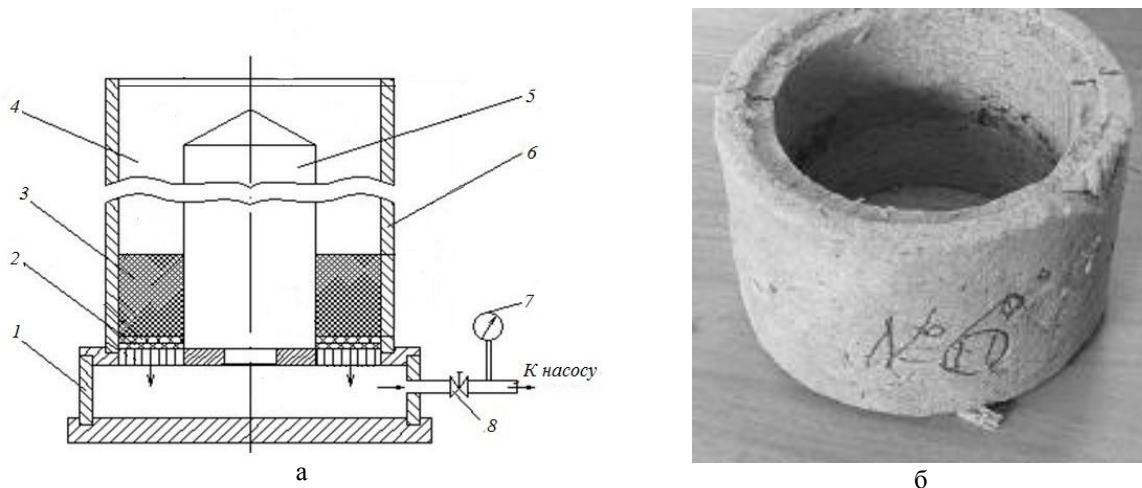


Рис.2. Схема фильтрационного осаждения пульпы (а) и цилиндрический образец ТИП на основе базальтового волокна и глинозема (б);  
 1 - камера; 2 - фильтровальная перегородка; 3 - слой осадка ТИМ; 4 - пульпа; 5 - оправка; 6 - корпус (труба);  
 7 - вакуумметр; 8 - запорный вентиль

Проведенные исследования показали, что с целью сокращения времени изготовления цилиндрических теплоизоляционных скорлуп и последующей их сборки на трубе НКТ необходимо применять схему формования с плоскости образующей цилиндра (рис.3). В этом случае за короткое время ( $t \approx 5$  мин) производится осаждение до 85 % объема волокон, а затем, не прерывая процесса, вводится оправка-пуансон, фильтрация волокон и формование замка ТИП заканчивается. При такой схеме фильтрации высота столба пульпы резко снижается, что упрощает и конструкцию технологической оснастки.

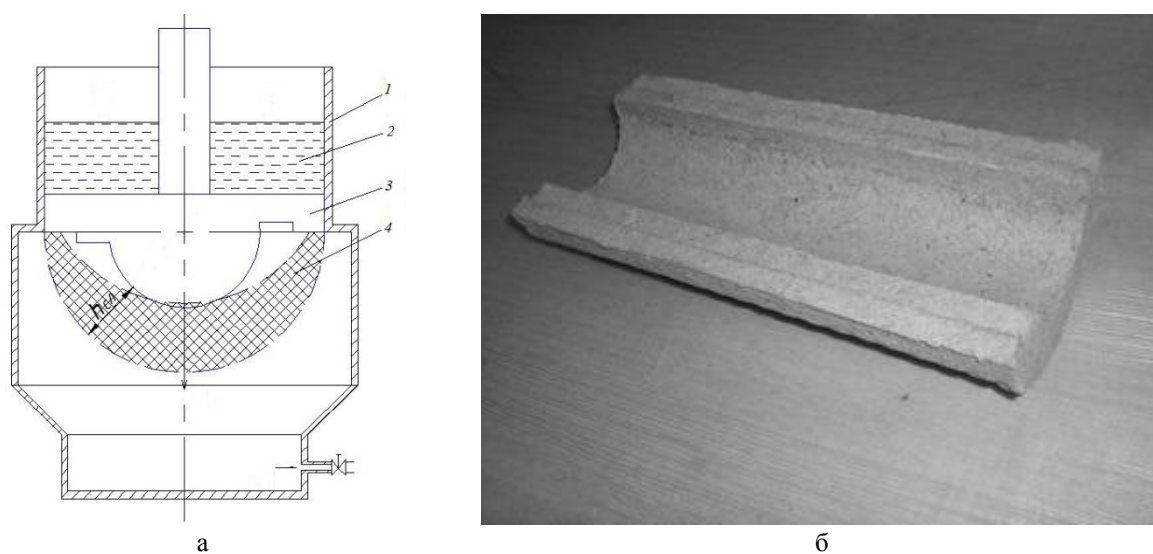


Рис.3. Схема формования цилиндрических скорлуп из коротких базальтовых волокон (а) и вид собранных скорлуп (б):  
 1 – камера; 2 – пульпа; 3 – пуансон; 4 – первоначальный слой осадка

$h_{сл}$  - толщина получаемого теплоизолированного изделия на основе базальтовых волокон [мм]

**Выводы.** 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. С целью сокращения времени изготовления цилиндрических теплоизоляционных скорлуп необходимо применять схему формования с плоскости образующей цилиндра.

#### Литература

1. *Моисеев В. А., Андриенко В. Г., Фролов В. И., Клокотов Ю. Н.* Теплоизоляция нефтепромысловых паропроводов для транспортировки пара с закритическими параметрами. Нефтяное хозяйство, 2012, № 1, С. 92-94.
2. *Моисеев В. А., Моисеев А. В., Комков М. А., Фролов В. И.* Высокотемпературный энергосберегающий нефтепромысловый паропровод. Биржа Интеллектуальной Собственности, 2012, № 9, С. 57-60.
3. *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. 2012, БИ № 31, 3 с.
4. Под ред. *Лозино-Лозинского Г. Е. и Братухина А. Г.* Авиационно-космические системы. Москва, Изд-во МАИ, 1997, 416 с.
5. *Филимонов А. С., Тарасов В. А., Комков М. А.* Экспериментальный анализ свойств перспективных теплоизоляционных материалов машиностроения, полученных методом фильтрационного осаждения. [Электронный ресурс]: Инженерный журнал: Наука и инновации, 2012, вып. № 9, URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/382.html>.
6. *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, 2012, вып. № 9. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/383.html>.
7. *Тимофеев М. П.* Разработка и исследование фильтрационной технологии изготовления изделий из волокнистых неорганических материалов. Автореферат диссертации канд. техн. наук. Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007, 16 с.
8. *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.