

DOI 10.25689/NP.2018.4.261-272

УДК 622.692.4.004.55

**К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО
РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ОЧИСТКИ ВНУТРЕННЕЙ
ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

¹Гуторов Ю.А., ²Габдрахманова К.Ф., ²Измайлова Г.Р., ³Гимаев И.Х.

¹РКНТЦ «Нефтяная долина»

²Филиал ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Октябрьском

³ООО «Малта»

**ON PROSPECTS OF ENERGY-EFFICIENT METHOD OF
CLEANING THE INNER SURFACE OF EXPORT PIPELINES**

¹Gutorov Yu.A., ²Gabdrakhmanova K.F., ²Izmailova G.R., ³Gimaev I.Kh.

¹RKNTC Neftyanaya Dolina

²Ufa State Petroleum Technical University, Oktyabrsky Branch

³ООО Malta

E-mail: gulena-86@mail.ru

Аннотация. В работе рассматриваются различные варианты решения проблемы очистки внутренней поверхности магистральных трубопроводов предназначенных для транспортировки нефти добываемой на месторождениях России зарубежным потребителям. Поскольку большинство нефтяных месторождений, продукция которых экспортируется за рубеж, находится в суровых климатических условиях Западной и Восточной Сибири, то авторы настоящей работы предлагают энергоэффективное решение проблемы очистки внутренней поверхности МН для указанных регионов, где эта проблема является наиболее актуальной. В качестве альтернативного решения указанной проблемы авторы предлагают устройство, которое включает в свой состав топливные элементы, которые обладают уникальной особенностью генерировать тепло за счет утилизации водорода из транспортируемой продукции, т.е. обладают практически неограниченным сроком действия и не нуждаются в дополнительной заправке сырьем, что очень важно для их непрерывной работы на больших перегонах в

суровых климатических условиях Севера России и существенно сокращает энергозатраты и снижает себестоимость.

Ключевые слова: магистральные нефтепроводы, энергоэффективность, парафиновые отложения, очистные устройства, климатические устройства, топливные элементы, себестоимость.

Abstract. This paper discusses various ways to solve the problem of cleaning the inner surface of export pipelines used for transporting Russian oil to the foreign customers. The majority of fields producing oil, which is exported out, are located in Western and Eastern Siberia where the climate is rigorous. Therefore, the authors propose an energy-efficient method of pipeline cleaning in the regions with harsh weather conditions where this problem is the most pressing. A device is offered comprising fuel cells that have a distinctive ability to generate heat by hydrogen recovery from the transported oil. These cells have virtually unlimited run life and do not need refueling, which is critical for their continuous operation in long sections under harsh weather conditions of the Russian North, thus reducing energy demands and cost price.

Key words: export pipelines, energy efficiency, paraffin deposits, cleaning pig, weather conditions, fuel cells, cost price

Известно, что порядка 35% поступлений в Государственный бюджет России обеспечивается за счет поставок за рубеж нефти, добытой отечественными нефтедобывающими компаниями на нефтяных месторождениях России.

Однако мало кто знает, что энергозатраты на транспортировку нефти по магистральным нефтепроводам (МН) за рубеж из районов ее добычи составляют более 40 % всех затрат нефтедобывающих компаний на эксплуатацию нефтяных месторождений.

Естественно, что это обстоятельство оказывает влияние на ее конечную себестоимость на мировых рынках сбыта и, соответственно, на конкурентоспособность по отношению к более дешевой продукции ближневосточной нефти.

Одной из серьезных проблем, которая оказывает существенное влияние на себестоимость перекачиваемой по МН продукции, является

отложения на их внутренних стенках парафина, присутствующего в перекачиваемой продукции.

Известно, что парафин кристаллизуется при охлаждении нефти ниже 25 - 30°C, а потом выпадает в осадок на внутренней поверхности стенок МН, в результате, скорость движения потока транспортируемой продукции значительно снижается [1].

Магистральные нефтепроводы отличаются от промысловых нефтепроводов увеличенным диаметром (0,5 - 1,2 м), практически одинаковым по всей длине и имеют большие (>25 – 35 м) радиусы закругления, что позволяет в них применять очистные и диагностические устройства, перемещаемые потоком транспортируемой по ним товарной продукции [2].

Технология борьбы с отложениями парафина на стенках МН осуществляется обычно двумя методами.

Первый метод - удаление уже отложившегося на стенках МН парафина - реализуется с помощью механических скребков, закрепленных на корпусе специальных снарядов, перемещаемых внутри МН потоком транспортируемой продукции [3].

Второй метод - предупреждение кристаллизации парафина в потоке транспортируемой продукции – реализуется несколькими способами, к которым в первую очередь относят химическое воздействие [4]; физическое- путем облучения потока транспортируемой продукции электромагнитными, магнитными и акустическими полями [5, 6]; тепловое - путем подогрева транспортируемой продукции выше температуры кристаллизации парафина [7, 8]; гидродинамическое - путем активного перемешивания (турбулизации) транспортируемой продукции [9].

В каждом конкретном случае предпочтение отдается тем или иным технологиям борьбы с отложением парафина, либо их сочетанию [10].

Изучение влияния различных факторов (техногенных, природных и реологических) на особенности формирования отложений парафина в МН, показало, что в наиболее сложных условиях находятся МН, проложенные в районах многолетне-мерзлых пород. так как, находясь на бетонных опорах на высоте до двух метров над землей они подвержены сезонным колебаниям температуры воздуха в диапазоне от -50°C зимой и до $+50^{\circ}\text{C}$ летом, что значительно снижает эффективность выше приведенных методов борьбы с парафиноотложениями, особенно, в зимних условиях.

Проведенный анализ показал, что в этих условиях предпочтение отдается тепловому методу борьбы с парафиноотложениями, хотя в существующих вариантах он не обладает необходимой технологической эффективностью.

Так, например, известно устройство, которое содержит в своей конструкции теплогенератор, предназначенный для разогрева транспортируемой нефти (продукции) до температуры выше температуры кристаллизации парафина [7].

Это устройство помещается в корпусе цилиндрического снаряда, перемещаемого потоком транспортируемой по МН продукции, и содержит камеру с химическим реагентом и реактор, в котором жидкий реагент, поступающий из камеры, вступает в экзотермическую реакцию, тепловая энергия которой передается окружающей устройство транспортируемой продукции и нагревает ее до температуры выше температуры кристаллизации парафина, тем самым предотвращая его отложение на стенках МН. Для повышения эффективности борьбы с парафиноотложениями к теплогенератору может быть подсоединено скребковое устройство, снабженное механическими скребками для удаления размягченных от прогрева парафиновых отложений с внутренних стенок МН.

Недостаток известного устройства заключается в том, что оно имеет ограниченный объем химического реагента, предназначенного для осуществления экзотермической реакции в реакторе, что существенно ограничивает время ее протекания в процессе перемещения устройства внутри МН под давлением транспортируемой продукции и, соответственно, ограничивает расстояние его полезного перемещения по предотвращению парафиноотложения на стенках МН на больших перегонах от 50 км и более.

Известно изобретение [11], в котором для разогрева прискважинной зоны пласта используют нагреватель, работающий на безгазовом топливе, компоненты которого, реагируя между собой, при определенных условиях взаимодействия образуют полностью конденсированные продукты реакции. В частности, таким безгазовым топливом может служить железоалюминиевый термит с инертной добавкой, в результате реакции горения которого образуются твердые (порошкообразные) продукты и выделяется большое количество тепла. Обычно температура горения термитного топлива находится в пределах 1800-2400°C, но ее можно регулировать (снижать) до необходимой величины, введением различного количества инертной добавки, в качестве которой используют, например, оксид алюминия.

Данное устройство обеспечивает длительный прогрев прискважинной зоны пласта, в результате чего происходит эффективное очищение прискважинного пространства от асфальтосмолистых и парафиновых отложений, однако, хотя оно принудительно спускается в скважину на кабеле, но его конструкция не приспособлена для перемещения внутри МН под воздействием напора перекачиваемой продукции [11]. В тоже время, известное устройство, включает в свой состав теплогенератор и совмещенный с теплогенератором, узел механической очистки трубы от отложений, выполненный в виде скребков,

прижатых к очищаемой поверхности, причем скребки и отделяемые от поверхности трубы парафинобитумные отложения также нагреваются и размягчаются в результате работы теплогенератора. Но главный недостаток конструкции известного устройства заключается в том, что из-за небольшого объема химического реагента, предназначенного для работы теплогенератора, существенно ограничивается время его работы в процессе перемещения устройства внутри МН под давлением транспортируемой продукции, что, соответственно, ограничивает расстояние его полезного перемещения и не обеспечивает предотвращения парафиноотложения на стенках МН на больших перегонах, в результате чего значительно снижается технологическая и экономическая эффективность применяемой технологии.

Таким образом, перед специалистами стоит непростая задача повышения эффективности теплового воздействия внутри МН выше температуры кристаллизации парафина в транспортируемой углеводородной продукции (нефтепродукта), перекачиваемой между насосными станциями, расположенными на больших расстояниях до 50 км и более в различных климатических условиях.

Указанная задача может быть успешно решена тем, что в устройстве для очистки внутренней поверхности труб магистральных нефтепроводов, содержащем корпус теплогенератора и корпус узла механической очистки внутренней поверхности трубы от отложений, снабженный скребками, прижатыми к очищаемой внутренней поверхности труб, в отличие от известного, теплогенератор необходимо снабдить батареей топливных элементов, использующих в качестве топлива водород, содержащийся в транспортируемой по МН углеводородной продукции, преобразуемой с помощью топливных элементов в воду и углекислый газ с одновременным разогревом окружающей среды до 80 °С и более.

Теплогенератор и узел механической очистки внутренней поверхности трубы от отложений парафина должны быть помещены в контейнеры, снабженные роликовыми центраторами и эластичными уплотнительными манжетами.

Указанные контейнеры должны быть соединены между собой карданной сцепкой, а корпус контейнера с теплогенератором необходимо снабдить входными отверстиями для пропуска через них встречного потока нефтепродукта и выходными отверстиями, ориентированными под углом 45° к оси контейнера.

Батареи твердотопливных элементов должны быть расположены в контейнере теплогенератора с зазором между ними и корпусом контейнера, обеспечивающим сквозной переток по нему транспортируемой по МН углеводородной продукции.

На приведенном рис.1 представлена конструкция предлагаемого устройства для эффективной очистки внутренней поверхности труб МН в различных климатических условиях.

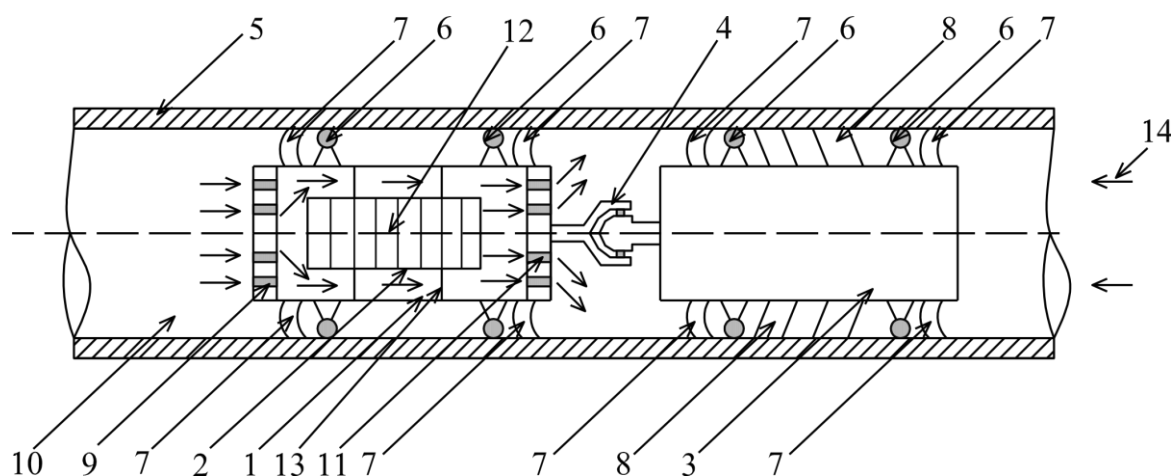


Рис. 1. Энергосберегающее устройство на топливных элементах предназначенное для эффективной очистки внутренней поверхности магистральных нефтепроводов от отложений асфальтосмолопарафиновых отложений.

Устройство содержит корпуса контейнера 1 с теплогенератором 2 и контейнера 3 с узлом механической очистки трубы МН от отложений, соединенные между собой карданной сцепкой 4.

Корпуса 1 и 3 центрируются в трубе 5 МН с помощью колесных центраторов 6, а зазоры между корпусами 1, 3 и трубой 5 перекрыты с помощью эластичных уплотнительных манжет 7.

Корпус 3 узла механической очистки трубы от отложений снабжен скребками 8, прижатыми к очищаемой внутренней поверхности труб 5.

Корпус контейнера 1 с теплогенератором 2 снабжен входными отверстиями 9 для пропуска через них встречного потока нефтепродукта 10 и выходными отверстиями 11, для ее выхода ориентированными под углом 45° к оси корпуса 1.

Теплогенератор 2 снабжен батареей топливных элементов 12, использующих в качестве топлива водород, содержащийся в транспортируемой по МН углеводородной продукции, преобразуемый с помощью батарей топливных элементов 12 в воду и углекислый газ.

Батареи топливных элементов 12 расположены в корпусе контейнера 1 с зазором 13 между ними, обеспечивающим встречный сквозной переток углеводородной продукции 10. Поз. 14 – направление потока перекачиваемой продукции.

Существует множество типов высокотемпературных топливных элементов, в которых используется водород и кислород в качестве основных химических элементов необходимых для их преобразования в тепловую энергию [12].

Известны, например, твердооксидные топливные элементы, в которых тепло вырабатывается в процессе физико-химических реакций в топливном элементе.

Твердооксидные (твердоокисные) топливные элементы (Solid-oxide fuel cells, SOFC) — разновидность топливных элементов, электролитом в

которых является керамический материал (например, на базе диоксида циркония), проницаемый для ионов кислорода [13].

При действии этих элементов вырабатывается очень высокая температура от 600 до 1000 °С, которая может обеспечить нагрев окружающей среды.

Известно, также, что таким источником тепла могут служить топливные элементы, которые в качестве топлива используют водород, например, в автомобиле на топливных элементах АТЭЛ-3, где водород получают из бензина на борту автомобиля с помощью топливного процессора, преобразующего бензин в водород и углекислый газ. Стандартный топливный бак объемом 45 л обеспечит ему запас хода почти в тысячу километров [14].

Учитывая то, что расстояния (перегоны) между перекачивающими насосными станциями, расположенными вдоль МН, могут достигать 50 км и более, то применение такого долговременного источника тепла, которое вырабатывают топливные элементы, использующие водород, получаемый из транспортируемой по МН углеводородной продукции, является решением задачи прогрева транспортируемых нефтепродуктов с целью предотвращения парафиноотложения на стенках МН на больших перегонах, в результате чего повышается экономическая и технологическая эффективность применяемого теплового метода борьбы с парафиноотложениями.

Внутри трубы 5 МН под давлением, развиваемым транспортируемой по нему продукцией 14, перемещается технологический снаряд, состоящий из двух контейнеров: контейнера 1 с теплогенератором 2 и контейнер 3 с узлом механической очистки трубы от отложений, соединенные между собой карданной сцепкой 4. Оба контейнера удерживаются на оси МН с помощью колесных центраторов 6, а приводятся в движение за счет создаваемого гидравлического сопротивления транспортируемой

продукции с помощью эластичных уплотнительных манжет 7, перекрывающих зазоры между обоими контейнерами 2 и 3 и внутренней стенкой трубы 5. В процессе осевого перемещения сцепки технологических контейнеров 2 и 3 происходит очистка внутренней стенки трубы 5 МН от имеющегося на ней размягченного слоя разогретого парафина (на рис. 1 не показан) под действием скребков 8, прижатых к очищаемой внутренней поверхности труб 5.

При движении по оси МН технологической сцепки, состоящей из контейнера 1 с теплогенератором и скребково - механического контейнера 3, встречный поток 10 транспортируемой продукции, поступает внутрь корпуса 1 контейнера 2 через отверстия 9 в его передней поверхности, и омывает стенки батареи топливных элементов 12. Водород, содержащийся в транспортируемой углеводородной продукции, которая реформируется с помощью батарей топливных элементов 12 в воду и углекислый газ, вызывает их разогрев за счет протекания в топливных элементах 12 реакции разложения на протоны и электроны (на рис. 1 не показано). Далее разогретая до некоторой температуры, выше температуры кристаллизации парафина ($\geq 25 - 30^{\circ}\text{C}$), транспортируемая продукция через отверстия 11 в его задней поверхности в уже разогретом состоянии поступает для омывания внутренней стенки трубы 5 МН с последующим размягчением имеющихся на ней отложений парафина, которые легко удаляются с нее с помощью скребков 8, расположенных на внешней поверхности контейнера 3.

Достоинством предлагаемого устройства для очистки внутренней поверхности МН является его высокая эффективность, которая обусловлена применением топливных элементов утилизирующих водород из транспортируемой продукции (нефти) и нагревающей ее в результате экзотермической реакции до температуры выше температуры кристаллизации парафина.

При этом температура максимального прогрева транспортируемой продукции в зависимости от внешних погодных и климатических условий легко регулируется путем изменения количества топливных элементов входящих в конструкцию их батареи 12, расположенной в корпусе контейнера 1, что позволяет существенно снижать себестоимость данной технологии в летний период и, соответственно, увеличивать - в зимний.

Список литературы

1. Ибрагимов И.Г., Ишемгузин Е.И. Отложения в нефтедобыче // г.Уфа, ИНТЛ «монография». – 2003 г. – 98 с.
2. Гребнев В.Д., Марташов Д.Е., Хижняк Г.П. Конструкция и эксплуатация транспортных нефтепроводов: учебное пособие // Пермь, Пермский национальный политехнический университет. – 2012 г. – 131 с.
3. Мугаллимов Ф.М., Сафонов В.А., Мугаллимов И.Ф. Устройство для очистки внутренней поверхности трубопровода // Патент РФ, №2324550 от 5.10.2006 г.
4. Хабибуллин З.А., Галимов Ж.Ф., Ишмаков Р.М. Реагент для предотвращения асфальтосмолопарафиновых отложений // Патент РФ №2097400 от 30.05.1995 г.
5. Нацепинская А.Н., Татауров В.Г., Гребнева Ф.Н. и др. Реагент для обработки буровых растворов // Патент РФ №2154089 от 9.11.1999 г.
6. Габдрахманов М.С., Зарипов А.К., Миннивареев А.Н. Устройство для очистки внутренней поверхности труб // Патент РФ №2524581 от 22.03.2001 г.
7. Кирсанов О.Н., Лейбеш В.Г. Устройство для очистки труб от парафинобитумных отложений // Патент №2109127 от 15.11.1993 г.
8. Колчин В.Н. Устройство для очистки внутренней поверхности скважинных труб и нефтепроводов // Патент РФ №2133329 от 30.10.1997 г.
9. Ежов В.А., Платонов И.А. Гидробародинамическое устройство для очистки внутренней поверхности трубопроводов // Патент РФ №2009729 от 24.04.1992 г.
10. Хабибуллин З.А. и др. Борьба с парафиноотложениями в нефтедобыче // Уфа, УГНТУ. – 1992 г. – 89 с.
11. Гончаров Д.В., Яворский Б.Н., Устьяжанин Г.С. Способ повышения продуктивности нефтяных и газовых скважин и скважинный нагреватель для его осуществления // Патент РФ №2168008 от 26.05.1999 г.
12. <http://www.1gai.ru/publ/516646-tehnologiya-toplivnyh-elementov-i-ee-ispolzovanie-v-avtomobilyah.html>
13. http://ru.wikipedia.org/wiki/Твердооксидный_топливный_элемент
14. Wiki.zr.ru/АТЭЛ-3.

Сведения об авторах

Гуторов Юлий Андреевич, доктор технических наук, заместитель директора по научно-исследовательской работе, региональный координационный научно-технический центр «Нефтяная долина», академик РАЕН, г. Октябрьский, Республика Башкортостан, Российская Федерация.

E-mail: gutorov70@mail.ru

Габдрахманова Клара Фаткуллиловна, кандидат педагогических наук, профессор РАЕН, доцент кафедры Информационных технологий, математики и естественных наук Филиала ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Октябрьском, г. Октябрьский, Республика Башкортостан, Российская Федерация.

E-mail: klara47@mail.ru

Измайлова Гульнара Ришадовна, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры Разведки и разработки нефтяных и газовых скважин Филиала ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Октябрьском, г. Октябрьский, Республика Башкортостан, Российская Федерация.

E-mail: gulena-86@mail.ru

Гимаев Ирек Ханифович, кандидат технических наук, главный технолог ООО «Малта», г. Москва, Российская Федерация.

E-mail: Irek-gimaev@yandex.ru

Authors

Gutorov Yu.A., Dr.Sc, Deputy Director for Research and Development, Regional R&D center Neftyanaya Dolina, Member of RANS, Oktyabrsky, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

E-mail: gutorov70@mail.ru

Gabdrakhmanova K.F., PhD, Member of RANS, Assistant Professor in Information Technologies, Mathematics and Science, Ufa State Petroleum Technical University – Oktyabrsky Branch, Oktyabrsky, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

E-mail: klara47@mail.ru

Izmailova G.R., PhD, Assistant Professor in Oil and Gas Exploration and Production, Ufa State Petroleum Technical University – Oktyabrsky Branch, Oktyabrsky, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

E-mail: gulena-86@mail.ru

Gimaev I.Kh., PhD, Chief Process Engineer of OOO Malta, Moscow, Russian Federation

E-mail: Irek-gimaev@yandex.ru

Измайлова Гульнара Ришадовна
452607, Российская Федерация, Республика Башкортостан
г. Октябрьский, ул. Девонская, 54а
Тел: +7(937)1672013
E-mail: gulena-86@mail.ru