

УДК 62-225; 553.9.082.74

Разработка СВЧ-технологии защиты трубопровода от закупорок при транспортировке вязких жидкостей

Н.Н. Морозов

Политехнический факультет МГТУ, кафедра физики

Аннотация. Обсуждается технология СВЧ-нагрева вязких жидкостей для защиты трубопровода от закупорок. Предлагается методика расчета СВЧ-энергии, необходимой для поддержания рабочей температуры в трубопроводе. Показана эффективность этой технологии в сравнении со сжиганием сырой нефти для той же цели.

Abstract. The paper considers microwave (MV) technology of heating tough liquid in order to protect pipelines from corking. Methods for calculation MV energy necessary to support working temperature in pipelines have been proposed. The efficiency of this technology in comparison to crude oil burning for the same purpose has been shown.

Ключевые слова: СВЧ-излучение, трубопровод, объемный разогрев, несимметричная полосковая линия
Key words: microwave radiation, pipeline, volumetric heating, asymmetric strip line

1. Введение

При транспортировке нефтепродуктов и природного газа трубопроводами в условиях северных широт возникает проблема закупорки трубопроводов, связанная с резким уменьшением вязкости транспортируемого продукта при низких температурах. Эта проблема возникает также при образовании асфальто-парафиновых отложений и газогидратов в полости трубопровода. Разработка методов эффективного восстановления трубопроводов является сложной и весьма актуальной задачей трубопроводного транспорта страны.

2. Постановка задачи

При перекачках нефти и нефтепродуктов сухопутными трубопроводами происходит их постепенное остывание вследствие теплообмена между трубопроводом и окружающей средой. По мере продвижения по трубопроводу подогретая жидкость может остыть до температуры окружающей среды, если ее дополнительно не подогревать. Поэтому большинство высоковязких нефтей и нефтепродуктов перед перекачкой по магистральному трубопроводу предварительно подогревают в резервуарах с целью снижения их вязкости и во избежание закупорки трубопровода при их остывании по длине. Подогрев этих продуктов при большой протяженности магистрального трубопровода осуществляется на головной станции и промежуточных подогревательных пунктах (тепловых станциях) (Гвоздев и др., 1988).

Существуют проекты, в которых для подогрева используются жаровые трубы, на поверхности которых температура нефти больше, чем в остальном объеме, что приводит к уменьшению эффективного сечения трубопровода, нарушению структуры потока и локальным перегревам нефтепродуктов. В ряде случаев используются различные ингибиторы, уменьшающие вязкость и смешивание нефти высокой вязкости с нефтью, имеющей низкую вязкость. Такой способ экономически невыгоден и, кроме того, предусматривает наличие легкой нефти на промыслах, что не всегда выполняется.

Известны методы уменьшения вязкости нефтепродукта при воздействии ультразвуковой энергии. Примером тому является описание устройства (Yong Bai, Qiang Bai, 2005). Данное решение технически труднореализуемо и осуществляется только за счет звуковой энергии, на получение которой требуются большие энергетические затраты. В этом случае воздействие идет на холодную нефть, в которой еще сильны связи между ее структурными образованиями.

Один из способов – обрабатывать поток постоянным электрическим и магнитным полем одновременно или электрическим полем и пульсирующим полем давления.

Наиболее интересным является проект, где подогрев осуществляется введением СВЧ-энергии через торец трубопровода, при этом трубопровод используется в качестве волновода. Использование трубопровода в качестве волновода приводит к значительным потерям энергии в металле ввиду скин-эффекта СВЧ-токов, а также к ограничениям частотного диапазона используемых СВЧ-полей, что связано с частотной дисперсией круглых волноводов. Необходимо добавить, что СВЧ-волна, введенная через торец волновода, заполненного средой с заданным тангенсом угла потерь на СВЧ, будет быстро затухать по мере удаления от места введения ее в трубопровод, что приведет к местному перегреву нефтепродуктов.

Перечисленные выше подходы к решению проблемы не являются оптимальными. Среди указанных методов восстановления трубопроводов наиболее приемлемым является микроволновый метод разогрева, который позволяет осуществлять объемный разогрев транспортируемого продукта.

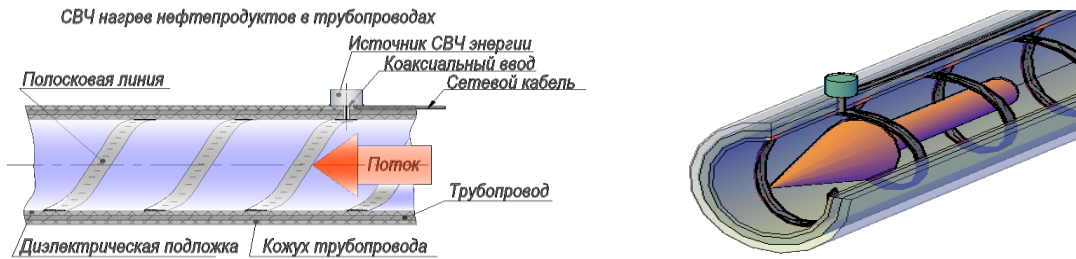


Рис. СВЧ-нагрев нефтепродуктов в трубопроводах

3. Метод решения задачи

В работах (Морозов, Кашкатенко, 2010) представлен метод, основанный на введении в трубопровод компактного волновода в виде полосковой линии передач, расположенной на внутренней поверхности трубы, как это представлено на рисунке. Такой подход позволяет вводить энергию равномерно в объем трубопровода и решает проблему согласования нагруженного фидера с источником излучения, а также дает возможность использовать сравнительно маломощные (до 25 кВт) источники излучения и, тем самым, решить проблему СВЧ-пробоев.

Полосковая линия, как и коаксиальный кабель, является широкополосным фидером. Это позволяет использовать энергию как СВЧ-, так и ВЧ-диапазонов, что делает эффективным электромагнитный нагрев для разных углеводородных систем.

Оценку СВЧ-энергии, необходимой для поддержания рабочей температуры транспортируемого продукта, можно провести, рассмотрев баланс энергий на участке трубопровода длиной L . Тепловыделение происходит вследствие работы сил трения и в результате поглощения жидкостью СВЧ-энергии. Уход тепла подчиняется закону Фурье. Работу сил внутреннего трения в жидкости $A_{тр}$ можно оценить исходя из полой трения и формулы Пуазеля

$$A_{тр} = \int_0^R \Delta P L 2\pi r dr = (8\eta L Q^2 / \pi R^4) \times \int_0^R 2r dr = 8\eta L^2 / R^2,$$

где ΔP – разность давлений на участке трубопровода длиной L ; R – внутренний радиус трубы; Q – дебет жидкости в м³/с; η – вязкость жидкости.

Мощность тепловыделения сил трения дается выражением

$$N_{тр} = 8\eta L Q^2 / \pi R^4.$$

Мощность поглощенного СВЧ-излучения оценим как теплоток через теплоизолятор трубопровода за вычетом мощности тепловыделения сил внутреннего трения

$$N_{свч} = \lambda(\Delta T / \Delta h) 2\pi R_B L - (8\eta L Q^2 / \pi R^4),$$

где λ – теплопроводность изолятора трубопровода; ΔT – разность температур трубопровода и окружающей среды; R_B – внешний радиус трубы.

4. Заключение

Для магистральных трубопроводов в условиях Крайнего Севера при средней разности температур ~ 20 °С получаем величину, близкую к 25 кВт на каждый километр трубопровода, что соответствует мощности источника СВЧ на серийном магнетроне. В условиях, когда нефть становится весьма дорогой, использование ее СВЧ-нагрева является более предпочтительным, чем сжигание для поддержания рабочих температур в трубопроводе. При СВЧ-нагреве значительно проще организовать систему автоматического контроля и регулировки рабочей температуры транспортируемого продукта. При введении серьезных экологических санкций на выброс продуктов сгорания в атмосферу сжигание нефти может оказаться весьма дорогостоящей технологией. Сравнение стоимости сжигаемой нефти для поддержания рабочей температуры в трубопроводе со стоимостью электрической энергии, необходимой для той же цели, дает экономию более чем 60 %, если считать, что баррель нефти стоит ~ 100 долларов, а киловатт-час ~ 1.5 рубля.

Литература

Yong Bai, Qiang Bai. Subsea pipelines and risers. Elsevier, 812 p., 2005.

Гвоздев Б.П., Гриценко А.И., Корнилов А.Е. Эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений. М., Недра, 575 с., 1988.

Морозов Н.Н., Кашкатенко Г.В. Микроволновый разогрев нефтепродуктов в трубопроводах. Вестник МГТУ, т. 13, № 4/2, с.974-976, 2010.