

**ВОЗДЕЙСТВИЕ НА УГЛЕВОДОРОДЫ ПОСРЕДСТВОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ
СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ**

А.Ф. Фицнер

Научный руководитель - инженер-исследователь лаборатории геологии Н.Ю. Коношонкин
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Резервуары и резервуарные парки занимают особое место в системе трубопроводного транспорта. Несмотря на достигнутый в последние годы прогресс в резервуаростроении, резервуары для углеводородов и их продуктов остаются одними из наиболее опасных объектов. Для обеспечения надежности и безопасности на любой стадии жизненного цикла необходимо своевременно проводить осмотры корпуса, крыши и днища резервуара. С этой целью резервуары должны подвергаться периодической зачистке. Для удаления донных отложений и грязи очистка может производиться вручную скребками либо при помощи специальных установок с использованием воды для подогрева донных отложений паром.

В связи с этим возникает необходимость в новой системе подогрева, которая позволит сократить затраты на переоборудование и обогрев содержимого резервуаров. Такой системой вполне может оказаться система сверхвысокочастотного нагрева (СВЧ нагрева), осуществляющая нагрев за меньшее время, энергетически и экономически выгоднее чем альтернативные традиционные системы разогрева паром либо через теплообменники, в то же время обеспечивая экологичность процесса.

Доказана перспективность использования высокочастотного электромагнитного излучения для интенсификации добычи вязких нефтей, их транспорта и дальнейшей переработки сырья. Свидетельствами этому служат результаты лабораторных и промысловых испытаний [4], в работе [1] отмечается, что битуминозные отложения можно нагревать источником электромагнитного излучения до 100 °С и выше. В работе [2] описано применение способа подогрева тяжелых нефтей, позволяющего повысить эффективность слива из железнодорожных цистерн. Данный способ заключается в нагревании объема нефти посредством СВЧ- или ИК-излучения, что обеспечит значительную экономии тепловой энергии, требуемой для нагрева тяжелых нефтей в холодное время года. Также практическое использование, преимущества и сравнение данного метода с традиционными методами нагрева пластов для снижения вязкости нефти было рассмотрено США и Канаде [5, 6].

Процесс удаления шлама нефтепродуктов в хранилищах представляется трудоёмким и небезопасным. Для снижения трудоёмкости предлагается разжижать шлам путём его нагрева электромагнитным полем сверхвысоких частот. В этом случае нагрев идёт не с поверхности путём конвекционного прогрева, а в объеме на глубину проникновения поля СВЧ. С этой целью предлагается рассмотреть возможность нагрева с помощью ряда распределенных по площади резервуара излучателей СВЧ энергии, опускаемых сверху на поверхность шлама либо установленных вручную через люк-лазы проектируемого резервуара.

Рассмотрим порядок приближенного теплового расчёта при СВЧ нагревании шлама и нефтепродуктов.

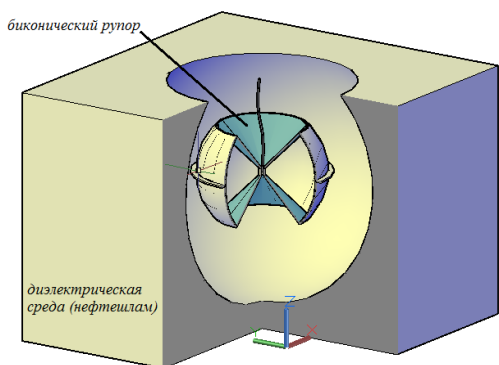


Рис. 1 Биконический рупор в диэлектрической среде

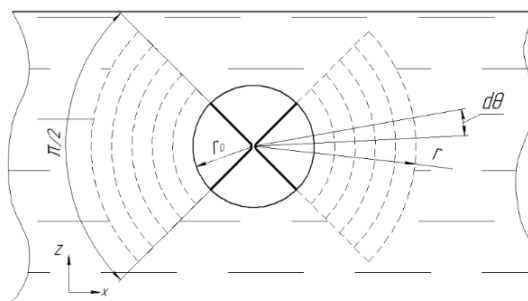


Рис. 2 Параметры излучателя в сферической системе координат

Представим модель излучателя в виде биконического рупора, изображенного на рисунке 1, помещенного в слабо проводящую сплошную диэлектрическую среду с определенными электрофизическими параметрами.

К рупорному излучателю подводится мощность $P_0 = 2$ кВт на частоте $f = 915$ МГц. Рассмотрим раскрыв излучателя, представленного на рисунке 2, который начинается с некой поверхности шарового сектора второго рода на расстоянии r , определяемого следующими параметрами в сферической системе координат: по углу места $-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$, по азимуту $0 < \varphi \leq 2\pi$ и радиусу r .

С большой степенью точности можно полагать, что вся подводимая мощность P_0 будет равномерно излучаться во все стороны по $\varphi = 360^\circ$. Поэтому на поверхности сферического кольца радиусом r_0 имеет место напряженность электрического поля, равная [3]:

$$E_0^2 = \frac{P_0 \cdot W_{cp}}{S_k}, \quad (1)$$

где: P_0 – подведённая мощность, Вт; W_{cp} – волновое сопротивление среды, S_k – площадь сферического кольца радиусом r , м.

Площадь сферического кольца:

$$S_k = 2\pi r h. \quad (2)$$

Волновое сопротивление среды через диэлектрическую проницаемость среды определяется по формуле:

$$W_{cp} = \frac{120\pi}{\sqrt{\varepsilon}}. \quad (3)$$

Амплитуда электромагнитного поля уменьшается по следующему закону вплоть до затухания плоской волны:

$$E = E_0 \cdot e^{-\alpha r}, \quad (4)$$

где: α – коэффициент затухания волны в среде; r – расстояние от излучателя до рассматриваемой поверхности сферического кольца.

Выделяемая удельная мощность в единице объёма бесконечно малой среды вычисляется следующим образом [3]:

$$P_0 = \omega \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \int_V E^2 dV, \quad (5)$$

где: $\omega = 2\pi f$ – циклическая частота излучения; dV – единица объёма в сферической системе координат.

Диэлектрические потери в нефти малоизучены. Тангенс угла диэлектрических потерь характеризует потери в диэлектрике и в интервале частот 0,1–2 МГц уменьшается с увеличением частоты, достигает минимума и вновь возрастает. Ввиду разного композиционного состава нефтешлама тангенс угла диэлектрических потерь находится в интервале $\operatorname{tg} \delta = 0,05 \div 0,1$.

Подставляя выражения (1), (2), (3) и (4) в (5) и расписав элементарный объём в сферической системе координат получим:

$$P_0 = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \operatorname{tg} \delta \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{P_0 \cdot 120 \cdot \pi}{2 \cdot \pi \cdot h \cdot \sqrt{\varepsilon}} \int_{\varphi} d\varphi \int_{\theta} d\theta \int_r \frac{1}{r} \cdot e^{-2\alpha r} \cdot r^2 dr. \quad (6)$$

Проинтегрировав выражение (6) и подставив пределы интегрирования $r=r_0 \div r$, $\varphi = 0 \div 2\pi$, $\theta = -\pi/4 \div \pi/4$ можно получить конечную формулу для определения удельной поглощаемой мощности среды до расстояния r для заданного излучателя. Зная удельную поглощаемую мощность можно определить, сколько потребуется времени, чтобы нагреть определенный объём нефтешлама на требуемую температуру, располагая излучателем определённой мощности и наоборот, определить мощность излучателя.

Для изучения СВЧ электромагнитного воздействия на нефть и нефтешламы был сконструирован экспериментальный макет, состоящий из излучателя, аналогичного излучателю на рисунке 1, источника СВЧ энергии и соединяющего их перехода. Данный излучатель помещается в металлический цилиндр, имитирующий вертикальный стальной резервуар, боковая поверхность которого выполнена из сетки для обеспечения возможности наблюдения процесса. Данный цилиндр, наполненный нефтью и шламом, помещается в стеклянный сосуд. Эксперимент проводится для определения времени нагрева объёма нефти и нефтешлама и определения КПД экспериментальной установки.

Из полученных в результате эксперимента данных можно заключить, что СВЧ нагрев может быть применен для разжижения нефтешлама. При этом обеспечивается объёмный нагрев среды, технология является энергоэффективной и позволяет проще организовать систему автоматического контроля и регулировки температуры. В сравнении с традиционным подогревом паром, снижаются энергетические затраты и время разогрева сокращается, в то время как ёмкость резервуара не загромождается трубами системы подогрев.

Литература

1. Бурже Ж.П., Сурио М., Комбарну М. Термические методы повышения нефтеотдачи пластов. – М.: Недра, 1988. – 422 с.
2. Галанов Е.К., Яковенко Е. К. и др. Применение СВЧ- и ИК-излучения для повышения эффективности слива тяжёлых нефтей // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2006. – Вып.№2. – С.118–123.
3. Диденко, А.Н. СВЧ-энергетика. Теория и практика. – М.: Наука, 2003. – 445 с.
4. Саяхов Ф.Л., Багаутдинов Н.Я. Электротепловые методы воздействия на гидратопарафиновые отложения. – М.: Недра-Бизнес-центр, 2003. – 119 с.
5. Chhetri, A.B., Islam, M.R. A Critical Review of Electromagnetic Heating for Enhanced Oil Recovery // Petroleum Science and Technology. – 2008. – V. 26. – P. 1619-1631.
6. Vermeulen, F., McGee, B. In situ electromagnetic heating for hydrocarbon recovery and environmental remediation // J. Can. Pet. Technol. 2000. – V. 39. – P. 25–29.