

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ПРОДУКТОВ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

В статье приведены результаты экспериментальных исследований применения ультразвукового метода для контроля плотности продуктов первичной переработки нефти, основанного на эмпирическом определении расчетных зависимостей скорости распространения акустической волны в нефтепродукте от его плотности.

Контроль качества технологического процесса первичной переработки нефти сопровождается постоянным измерением ряда физических параметров, в частности плотности, промежуточных нефтепродуктов (НП) на различных его этапах. Вследствие этого актуальной является задача точного и надежного измерения плотности без отбора проб непосредственно в магистрале с НП.

Для решения этой задачи перспективным представляется ультразвуковой (УЗ) метод измерения, базирующийся на определении скорости распространения УЗ колебаний в жидкости. Как известно из [1], зависимость скорости распространения УЗ колебаний в жидкости от ее плотности, в основном, устанавливается эмпирически. Однако характер этой зависимости может различаться от жидкости к жидкости и определяться особенностями каждого класса жидкостей со схожими физико-химическими свойствами [2]. В [3] показано, что связь плотности жидкостей из класса НП ρ и скорости распространения в них УЗ колебаний V можно представить следующим образом:

$$\rho = a \cdot V + b, \quad (1)$$

где a и b – постоянные коэффициенты пересчета скорости распространения УЗ колебаний в плотность.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на изучение возможности применения описанного в [3] УЗ метода для определения плотности продуктов первичной переработки нефти.

Как известно из [4], на современных нефтеперерабатывающих заводах первичная переработка нефти осуществляется на атмосферно-вакуумных трубчатых (АВТ) установках и заключается в обессоливании нефти, а также ее первичной и вторичной перегонке. Процесс обессоливания предназначен для удаления воды и солей из нефти, первичная перегонка – для разделения нефти на фракции для последующей переработки или использования в качестве товарной продукции, вторичная перегонка – для разделения фракций, полученных при первичной перегонке, на более узкие погоны. Основой всех процессов является постепенный нагрев исходного сырья (нефти), сопровождающийся выпариванием соответствующих нефтяных фракций и их последующей конденсацией в специальных холодильных колоннах.

Именно температурная разгонка нефти с отсутствием всевозможных изменений в химической структуре входящих в ее состав углеводородов являлась главной предпосылкой применения предложенного в [3] УЗ метода для контроля плотности НП на различных этапах технологического процесса.

Экспериментальные исследования проводились в климотермокамере КТК-800, производства фирмы NEMA (Германия) с применением опытного образца УЗ прибора, измеряющего скорость распространения УЗ волн в НП и его температуру, описанного в [5]. Объектом изучения были НП первичной переработки, выработанные на установке АВТ-10 Омского нефтеперерабатывающего завода. Температурный диапазон испытаний каждого НП определялся его летучестью и соответствовал требованиям ГОСТ Р

51069 – 97. НП поочередно наливали в экспериментальную установку, представляющую собой фрагмент магистрального трубопровода диаметром 50 мм с установленным в нем УЗ прибором, и дискретно нагревали (летучие НП охлаждали) до максимально (минимально) возможной температуры. В нескольких точках температуру стабилизировали и снимали показания прибора и погруженного в НП ареометра для нефти типа АН из стандартного набора.

По окончании процесса измерения были построены зависимости скорости распространения УЗ волны в НП от температуры, плотности НП от температуры и скорости распространения УЗ волны в НП от плотности, аналогично [3]. Результаты представлены на рис. 1-3 (зависимость скорости распространения УЗ волны от плотности НП представлена в удобном для вычисления плотности виде, температура выражена в °К).

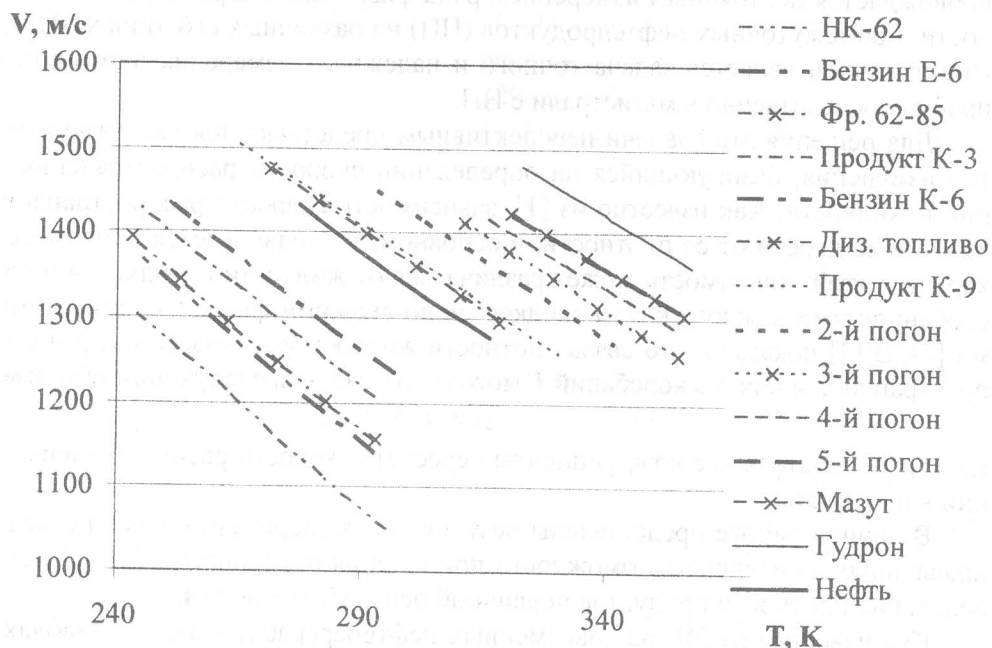


Рис. 1. Зависимости скорости распространения УЗ волны в НП от температуры

Как видно из рис. 1-3, температурные зависимости скорости распространения УЗ волны в НП и плотности НП линейны; взаимосвязь скорости и плотности также имеет линейный характер. Сравнение данных на рис. 1 и рис. 2 выявляет следующую закономерность: порядок следования температурных зависимостей скорости распространения УЗ волны в НП аналогичен порядку следования температурных зависимостей плотности соответствующих НП. Эта закономерность позволяет идентифицировать НП в семействе предварительно установленных зависимостей измерением скорости распространения в нем УЗ волны и его текущей температуры, и вычислять текущую плотность НП по известному из [3] алгоритму.

На основании измеренной скорости распространения ультразвука $V_{изм}$ и температуры контролируемого НП $T_{изм}$ выбираются две близлежащие зависимости скорости распространения ультразвука от температуры из семейства предварительно установленных калибровочных зависимостей. Выбор близлежащих зависимостей производится подстановкой измеренной температуры $T_{изм}$ в каждую из предварительно установленных калибровочных зависимостей скорости распространения ультразвука от температуры $V(T)$ для всего класса продуктов первичной переработки нефти, вычислением рас-

четного значения скорости распространения ультразвука V_i для каждой зависимости по выражению (1) и определением абсолютных отклонений $\Delta V_i = |V_{изм} - V_i|$. Минимальные значения ΔV_i и ΔV_{i+1} определяют близлежащие к точке измерения зависимости $V_1(T)$, $V_2(T)$ и соответствующие им $\rho_1(V)$, $\rho_2(V)$, по которым производится расчет плотности ρ согласно выражению:

$$\rho = \rho_1(V_{изм}) \cdot \frac{\Delta V_2}{\Delta V_1 + \Delta V_2} + \rho_2(V_{изм}) \cdot \frac{\Delta V_1}{\Delta V_1 + \Delta V_2} \quad (2)$$

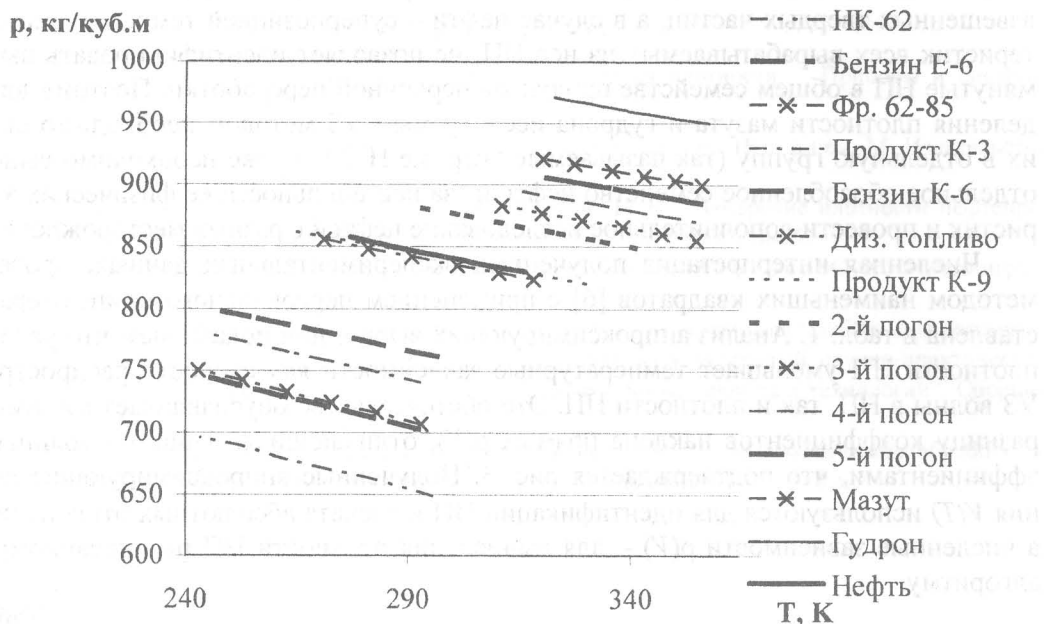


Рис. 2. Зависимости плотности НП от температуры

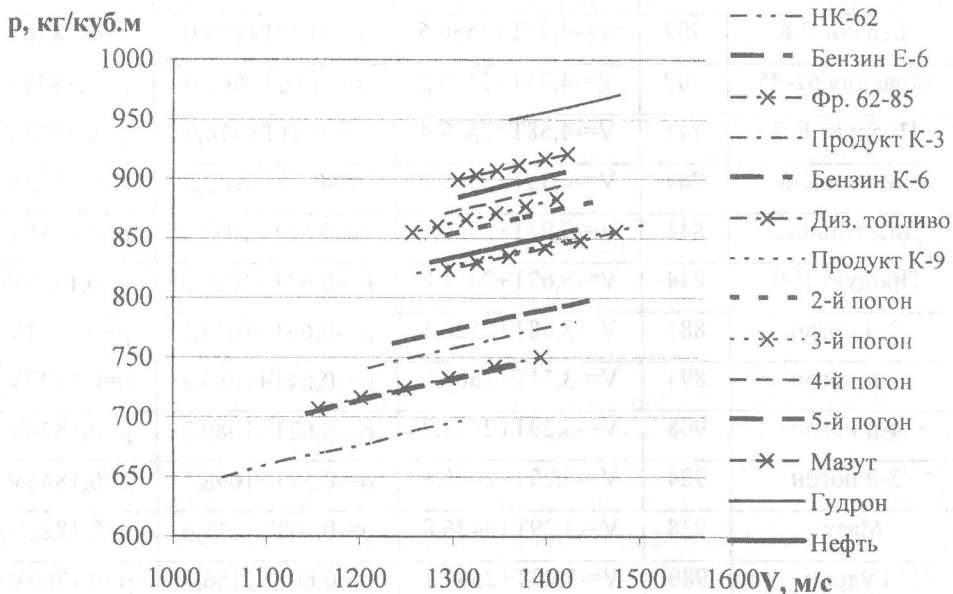


Рис. 3. Зависимости скорости распространения УЗ волны от плотности НП

Исключение из выявленной закономерности составляют мазут, гудрон и обессоленная нефть. Как видно из рис. 1, температурная зависимость скорости распространения УЗ в мазуте практически совпадает с зависимостью 5-го нефтяного погона, а аналогичная зависимость нефти находится между линиями бензина К-6 и дизельного топлива. Однако (рис. 2) температурная зависимость плотности мазута лежит между 5-м погоном и гудроном, а нефти – совпадает с продуктом К-9. Аналогичные температурные зависимости гудрона также не пропорционально удалены от близлежащих к ним линий мазута. Это обстоятельство, обусловленное в случае мазута и гудрона наличием в них взвешенных твердых частиц, а в случае нефти – суперпозицией температурных характеристик всех вырабатываемых из нее НП, не позволяет идентифицировать вышеупомянутые НП в общем семействе продуктов первичной переработки. Поэтому для определения плотности мазута и гудрона исследуемым УЗ методом необходимо выделить их в отдельную группу (так называемые “черные НП”). Также необходимо выделить в отдельное обособленное семейство нефть из-за нестабильности ее физических характеристик и провести дополнительное исследование нефтей с разных месторождений.

Численная интерпретация полученных экспериментальных данных, проведенная методом наименьших квадратов [6] с применением персонального компьютера, представлена в табл. 1. Анализ аппроксимирующих выражений показывает, что увеличение плотности НП уменьшает температурные зависимости как скорости распространения УЗ волны в НП, так и плотности НП. Это обстоятельство обуславливает минимальную разницу коэффициентов наклона прямых $\rho(V)$, отличающихся лишь постоянными коэффициентами, что подтверждается рис. 3. Полученные аппроксимирующие выражения $V(T)$ используются для идентификации НП и расчета абсолютных отклонений ΔV_i , а численные зависимости $\rho(V)$ – для вычисления плотности НП по описанному выше алгоритму.

Таблица 1

Аппроксимация экспериментальных данных

№	Нефтепродукт	ρ_{20}	$V(T)$	$\rho(T)$	$\rho(V)$
1	НК-62	652	$V=-4,95T+2514,2$	$\rho=-0,91T+919,1$	$\rho=0,1841V+456,1$
2	Бензин Е-6	702	$V=-4,77T+2536,6$	$\rho=-0,87T+959,0$	$\rho=0,1836V+493,1$
3	Фракция 62-85	707	$V=-4,75T+2545,2$	$\rho=-0,86T+961,0$	$\rho=0,1824V+496,6$
4	Продукт К-3	741	$V=-4,58T+2549,4$	$\rho=-0,81T+978,9$	$\rho=0,1772V+527,2$
5	Бензин К-6	764	$V=-4,33T+2518,2$	$\rho=-0,75T+982,8$	$\rho=0,1723V+549,1$
6	Диз. топливо	841	$V=-3,92T+2540,6$	$\rho=-0,67T+1037,7$	$\rho=0,1718V+601,2$
7	Продукт К-9	844	$V=-3,67T+2471,8$	$\rho=-0,63T+1029,5$	$\rho=0,1726V+602,9$
8	2-й погон	881	$V=-3,68T+2526,1$	$\rho=-0,66T+1074,2$	$\rho=0,1794V+621,0$
9	3-й погон	894	$V=-3,51T+2503,0$	$\rho=-0,64T+1080,3$	$\rho=0,1807V+627,9$
10	4-й погон	908	$V=-3,29T+2453,7$	$\rho=-0,62T+1089,3$	$\rho=0,1878V+628,4$
11	5-й погон	924	$V=-3,25T+2461,8$	$\rho=-0,59T+1098,5$	$\rho=0,1846V+643,9$
12	Мазут	938	$V=-3,29T+2476,8$	$\rho=-0,60T+1113,6$	$\rho=0,1828V+660,8$
13	Гудрон	989	$V=-3,43T+2586,1$	$\rho=-0,60T+1166,3$	$\rho=0,1766V+709,5$
14	Нефть	845	$V=-3,95T+2523,9$	$\rho=-0,69T+1050,5$	$\rho=0,1770V+603,8$

Проведенные экспериментальные исследования подтверждают возможность применения УЗ метода, основанного на измерении скорости распространения УЗ волн в НП, для определения плотности продуктов первичной переработки нефти. Анализ экспериментальных данных выявляет необходимость разделения семейства НП первичной переработки на подгруппы для более точной идентификации отдельного НП описанным в [3] способом. Полученные в результате исследований численные зависимости позволяют автоматизировать процесс измерения плотности средствами вычислительной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бражников Н.И. Ультразвуковые методы измерения плотности. – Приборы и системы управления, 1976. №10. С. 17-21.
2. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. Пер. с нем. М. Издательство иностранной литературы, 1957. - 728 с.
3. Чахлов В.Л., Чепрасов А.И., Шаверин Н.В. Измерение плотности нефтепродуктов и их смесей ультразвуковым методом. – Дефектоскопия, 2002. №6. С. 90-95.
4. Справочник нефтехимика. В двух томах. Т.1. Под ред. Огородникова С.К. – Ленинград: Химия, 1978. - 496 с.
5. Шаверин Н.В. Исследование ультразвукового метода и разработка прибора для автоматизированного контроля плотности нефтепродуктов. – Труды VIII международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых “Современные техника и технологии”. Сборник докладов, том 1. –Томск: Изд-во ТПУ, 2002. – С. 112-114.
6. Гришин В.К., Живописцев Ф.А., Иванов В.А. Математическая обработка и интерпретация физического эксперимента. – Москва. Изд-во Моск. ун-та, 1988. - 318 с.

УДК 622.692.4

Л.А.ШНАЙДЕР, В.К.КУЛЕШОВ

ВОЗМОЖНОСТЬ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО МОНИТОРИНГА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ УЗЛОВ И УЧАСТКОВ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

В статье рассматриваются необходимость и возможность акустико-эмиссионного (АЭ) мониторинга линейной части магистрального нефтепровода (МНП). АЭ-мониторинг всей линейной части МНП трудно реализуем и экономически не выгоден в связи с большой протяжённостью и использования большого количества АЭ-датчиков. Поэтому необходимо выделить потенциально опасные узлы и участки МНП, не требующие оснащения большим количеством АЭ-датчиков. Наличие мешающих факторов, характерных для рассматриваемых объектов (снег, дождь, град и другие атмосферные явления) не позволяет использовать имеющиеся АЭ-системы мониторинга. Необходимо разработка алгоритма отстройки от мешающих факторов.

В настоящее время на территории России эксплуатируется около 65 тыс. км магистральных нефтепроводов (МНП). В последние несколько лет аварийность на нефтепроводах зафиксирована на уровне 0,06 на 1000 км. Срок эксплуатации около половины МНП достиг нормативного срока службы: свыше 33 лет – 30%, от 20 до 30 лет – 37%. К 2005 году доля нефтепроводов с возрастом свыше 33 лет составит 40%. В связи с этим вероятность возникновения аварий с разливами нефти на МНП будет возрастать [1]. Аварийные ситуации связаны с экологическим ущербом окружающей природной среде и огромными экономическими издержками на восстановление работоспособности МНП.