

## МОНИТОРИНГ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

<sup>1</sup> Земенкова М.Ю., <sup>2</sup>Шалай В.В., Земенков Ю.Д<sup>1</sup>, <sup>2</sup>Щерба В.Е.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Тюмень, Россия (625000, Тюмень, ул. Володарского, 38), e-mail: muzemenkova@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», Омск, Россия, e-mail: info@omgtu.ru

В ТюмГНГУ проведен комплекс исследований теплофизических свойств углеводородов и их влияния на надежность и безопасность в процессах транспорта и хранения углеводородов. На степень повышения температуры верхних слоев нефти за счет прямой солнечной радиации оказывают влияние и термодинамические условия на поверхности и цвет нефти. С целью установления характера влияния солнечной радиации на температуру поверхности в ТюмГНГУ были проведены экспериментальные исследования по испарению углеводородов и изменением температуры нефти и нефтепродуктов на свободной поверхности с различной степенью теплоизоляции боковых стенок и дна емкости. Проверка экспериментальных исследований с пробами нефти и дизельного топлива данных на воспроизводимость опытов, проведенная с использованием критерия Кохрена, показала однородность дисперсий.

Ключевые слова: газовый конденсат, углеводород, теплофизические свойства, эксплуатационные свойства, оперативный мониторинг, трубопроводный транспорт

## MONITORING OF EKSPLOTATON ROPERTIES OF OIL AND OIL PRODUCTS IN CASE OF IMPACT OF SOLAR RADIATION

<sup>1</sup>Zemenkov Y.D., <sup>2</sup>Shalay V.V., <sup>1</sup>Zemenkova M.Y., <sup>2</sup>Shcherba V.E.

<sup>1</sup>FGBO of higher education "Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia, (625000, Tyumen, Volodarskogo street, 38), e-mail: muzemenkova@mail.ru

<sup>2</sup>FGBO of higher education "Omsk state technical university", Omsk, Russia, e-mail: info@omgtu.ru

The complex of researches termophysical properties of hydrocarbons and their influence on reliability and safety in system of transport and storage of hydrocarbons is made in TSOGU. On extent of temperature increase of the top layers of oil at the expense of direct solar radiation thermodynamic conditions have impact on surfaces and color of oil also. For the purpose of establishment of nature of influence of solar radiation on surface temperature in TSOGU pilot studies on evaporation of hydrocarbons and change of temperature of oil and oil products on a free surface with various degree of thermal insulation of sidewalls and a bottom of capacity were conducted. Check of pilot studies with tests of oil and diesel fuel of the experiences given on reproducibility use by Kohhren criterion showed uniformity of dispersions.

Keywords: gas condensate, hydrocarbon, heatphysical properties, operational properties, expeditious monitoring, pipeline transport

Нефть, разлитая во время аварии, или хранящаяся в земляных амбарах, достаточно продолжительное время подвергается воздействию солнечной радиации. Анализ существующей литературы показывает, что научные исследования по данному вопросу, достаточно часть носят качественный характер. На степень повышения температуры верхних слоев нефти за счет прямой солнечной радиации оказывают влияние и термодинамические условия на поверхности и цвет нефти. Известно, что явление теплового излучения, как процесс распространения энергии в виде электромагнитных волн, по природе отлично от теплопроводности и конвекции и сопровождается превращением тепловой энергии в лучистую и, наоборот, лучистой энергии - в тепловую. Излучение энергии происходит в результате сложных внутриатомных процессов, возникающих за счет тепловой энергии. При

нагревании тела часть энергии неизбежно превращается в лучистую, величина которой и определяется температурой. К настоящему времени опубликовано достаточно много специальной литературы, монографий, как переводных, так и отечественных авторов, где на высоком научном уровне изучены многие положения тепломассопереноса и связанного с ним массообмена. Процесс испарения жидкости сопровождается обычно процессами тепло- и массообмена в пограничных слоях. Для обобщения опытных и расчетных данных этих условий применяются разные системы чисел подобия. Соответственно различаются получаемые исследователями результаты. Имеющиеся данные для испарения в пределах их точности не позволяют пока обнаружить отчетливого влияния неоднородности смеси на коэффициент тепло- и массообмена.

Носителем лучистой энергии являются электромагнитные колебания с длиной волны от долей микрона (солнечные лучи) до многих километров (радиоволны). В физике они известны под названием ультрафиолетовых, видимых - световых, инфракрасных лучей и электромагнитных волн. Здесь наибольший интерес представляют световые и инфракрасные лучи с длиной волны от 0,4 до 40 микрон, которые поглощаются телами с переходом их энергии в тепловую. Если вся лучистая энергия проходит сквозь вещество, то его называют *абсолютно прозрачным*, или *диатермичным*. Твердые тела и жидкости для тепловых лучей практически непрозрачны (*атермичны*).

Точно также обстоит дело и с понятиями поглощения и отражения. Белая поверхность хорошо отражает лишь видимые (солнечные) лучи. На практике это свойство широко используется - белая окраска вагонов - цистерн, резервуаров, где инсоляция нежелательна. Примечательно, невидимые тепловые лучи белая краска поглощает так же хорошо, как и темная.

Известно, что нефтям придают окраску нейтральные смолы. Они обладают интенсивной окраской и сильной красящей способностью. Действительно, достаточно 0,005% тяжелой нейтральной смолы, чтобы окрасить бесцветный бензин в соломенно-желтый. По мнению В. М. Рыбака, между цветом и количеством смолистых веществ нет строгой зависимости. Например, для масел одной и той же нефти цвет может в какой-то степени служить критерием обессмоливания, но при переходе к маслам, полученным из других нефтей, нужно считаться с тем, что смолистые вещества разных нефтей обладают различной окраской. Здесь следует напомнить, что существует множество различных видов смол (нефтяные, нейтральные, потенциальные и фактические), принципиально различающихся как по физическим, так и по химическим свойствам. Можно отдельно выделить также карбамидные, фенолоформальдегидные смолы. С оптической точки зрения карбамидные обладают высокой светостойкостью и прозрачны, фенолформальдегидные

смолы окрашены в желтый или коричневый цвет, который под воздействием солнечного света может перейти в желто-коричневый цвет или даже черный.

Известно, что непрозрачность слоев нефти обуславливается наличием в ней асфальтенов – наиболее высокомолекулярных веществ, имеющих молекулярную массу в пределах 1600-6000. Асфальтены не плавятся, при высокой температуре способны образовывать газы и трудно сгорающий кокс, являются трудно растворимым компонентом, аналогичным в этом смысле различного рода механическим примесям.

Следует ожидать, что цвет нефти будет зависеть также от содержания в ней жиров, парафинов, церезина и т. п. Известные методы определения цвета не дают возможности определить концентрацию окрашивающих веществ сравнением интенсивности окраски нефти и образца. Калориметрическая практика позволяет утверждать, что цвет нефти и нефтепродуктов не является аддитивным свойством и приближается к окраске более темного компонента.

Таким образом, под цветом нефти необходимо понимать условную величину, характеризующую окраску нефти и степень ее интенсивности по сравнению с окраской стандартных растворов. Следует также предположить, что степень черноты нефти  $\varepsilon$  зависит и от интенсивности окраски. Данных о степени черноты нефтей и нефтепродуктов при анализе опубликованной литературы не обнаружено, хотя, например, для шестнадцати различных красок всех цветов степень черноты колеблется от 0,92 до 0,96.

Под прямой солнечной радиацией понимается радиация, поступающая на поверхность непосредственно от Солнца радиусом  $5^0$ . В системе СИ интенсивность радиации измеряется в (Вт/м<sup>2</sup>). Эту величину обычно называют энергетической освещенностью. В актинометрии применяется равнозначный термин "интенсивность радиации".

Известно, что облученность свободной поверхности Солнцем определяет активность и положение Солнца над горизонтом, а также состояние атмосферы. Активность Солнца по данным актинометрических наблюдений из космоса в течение многих лет остается постоянной. Прямая солнечная радиация  $J$  измеряется с помощью актинометров типа Савинова - Янишевского, АТ - 50 и др. на актинометрических станциях (АС). Расположение АС на территории России крайне неравномерно. Так, например, в районе Западной Сибири имеется лишь одна Омская АС. Поскольку данные актинометрических станций могут распространяться на территорию до 100 км, то в ряде случаев интенсивность прямой солнечной радиации можно рассчитывать с использованием среднестатистических значений интенсивности радиации в зависимости от широты местности, с вероятностью поступления 0,95.

Состояние атмосферы с актинометрической точки зрения характеризуют прозрачностью, колеблющейся от 0 до 100%: 0% - атермичная атмосфера, 100%- диатермичная. Когда прозрачность атмосферы равна примерно 0,8 или 80%, это значит, что через атмосферу проходит 80% энергии, а остальные 20% рассеиваются. Прозрачность атмосферы зависит от облачности, являющейся продуктом конденсации и сублимации водяного пара. Для инженерных расчетов облачность можно количественно оценивать по различным характеристикам и признакам облачности.

При наличии данных об облачности, среднесуточную интенсивность прямой солнечной радиации  $J_{CP}$ , поступающей на горизонтальную поверхность, можно определить по следующей формуле:

$$J_{CP} = \left[ \frac{K_1 J_1 \tau_{1-B}}{2} + \left( \frac{K_1 J_1}{2} + \sum_{i=2}^4 K_i J_i + \frac{K_5 J_5}{2} \right) \tau_0 + \frac{K_5 J_5 \tau_{3-5}}{2} \right] \tau^{-1}_{DH}, \quad (1)$$

где  $\tau_{1-B}$  - промежуток времени между восходом Солнца и первым сроком наблюдения, час;  $\tau_{3-5}$  - промежуток времени между заходом Солнца и последним сроком наблюдения, час;  $K_i$  - облачность, наблюдаемая в соответствующие сроки наблюдений;  $J_i$  - интенсивность прямой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, Вт/м<sup>2</sup>;  $\tau_{DH}$  - продолжительность дневного времени, час;

$$\tau_{DH} = \tau_3 - \tau_B, \quad (2)$$

где  $\tau_B$ ,  $\tau_3$  - время восхода и захода Солнца для данной местности;  $\tau_0$  - промежуток времени между сроками наблюдений.

В технических справочниках обычно перечисляются общие поглотательные или излучательные свойства поверхностей, использование которых может привести к существенным ошибкам. На самом деле, общая поглотательная способность зависит не только от природы вещества, температуры и давления, но и от распределения падающего излучения по длине волн. Большинство известных тел обладают монохроматической поглотательной способностью. Напомним, что *серой поверхностью* принято называть такую, поглотательная (отражающая) способность которой одинакова для значительного диапазона длины волн. Известная всем вода поглощает 50-60% излучения с длиной волн около 6500-9000 нм, а длиной 5800-6300 - до 80-90%, 3500-5500 – только 25-30%, 2800-3200 – более 90% и 800-2300 – менее 15%. Таким образом, широкий спектр длин волн (до 3000 нм) солнечного излучения, с одной стороны, и имеющиеся ограничения возможностей измерительной техники и сложность состава нефтей, с другой, сдерживают научные исследования поглотательной способности углеводородных сред, таких, как конденсат, нефти, СУГ и т.д.

С целью установления характера влияния солнечной радиации на температуру поверхности сотрудниками ТюмГНГУ были проведены экспериментальные исследования. Пробы нефти и дизельного топлива в химической посуде высотой от 0,01 до 0,30 см устанавливали на освещенное солнцем место и в тени. Количество испарившихся углеводородов  $\sigma$  определялось весовым способом. Параллельно проводились наблюдения за изменением температуры нефти и нефтепродуктов со свободной поверхностью  $S = (0,003 \div 0,03) \text{ м}^2$  и различной степенью теплоизоляции боковых стенок и дна. Проверка экспериментальных данных на воспроизводимость опытов по величине  $\sigma$ , проведенная с использованием критерия Кохрена, показала однородность дисперсий.

На рис. 1 и в качестве примера приводятся данные по испарению шаимской (кр. 1, 3) и сургутской (кр. 2, 4) нефтей при температуре окружающего воздуха  $t_B = 29^\circ\text{C}$  и скорости ветра  $v_B = 0,6 \text{ м/с}$ . Кривые 3-4 характеризуют испарение «в тени».

Из приведенных зависимостей видно, что влияние солнечной радиации на температуру испарения нефтей достаточно велико. Так, за 9 часов испарения под воздействием солнечной радиации (кр. 1-2) величина потерь  $\sigma$  оказалась в 2 раза большей, чем при испарении «в тени». Этот факт объясняется тем, что температура поверхности  $t_{II}$  «на солнце» у шаимской и сургутской нефтей повысилась до 45 и 42 $^\circ\text{C}$ , а средняя температура нефтей «в тени» составила всего лишь 29 $^\circ\text{C}$ . Следует заметить, что при сопоставления кривых испарения, полученных при воздействии солнечной радиации, с кривыми испарения тех же нефтей без влияния на них солнечной радиации (с условием равенства температур) отмечается их полная идентичность. Изменение температуры уменьшалось с глубиной и практически прекращалась на глубине 0,15 $\div$ 0,20 м.

Анализируя экспериментальные данные, можно отметить, что высокосмолистая шаимская нефть несколько больше подвергается воздействию солнечной радиации, хотя разница и температура поверхности у исследованных нефтей не значима. Таким образом, при определении потерь нефти от испарения с открытой поверхности влияние прямой солнечной радиации представляется возможным учесть через изменение температуры в дневное время.

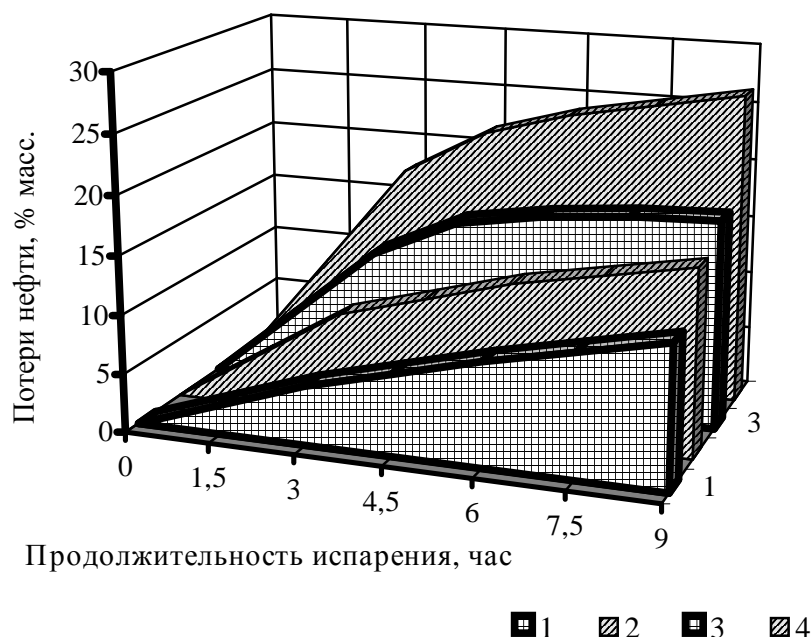


Рис. 1. Влияние солнечной радиации на динамику испарения нефтей (для нефтей: 1,3 -сургутской; 2,4 – шаимской)

В результате регрессионного анализа экспериментальных данных представилось возможным получить формулу для расчета температуры верхних слоев жидкости

$$t_{ПД} = 0,5(t_{HD} + t_{BD})(16,94 \times 10^{-9} J_{CP}^{2,55} \tau_{DH} + 1), \quad (3)$$

где  $t_{ПД}$  и  $t_{BD}$  – температура поверхности и средняя температура воздуха днем, °С;  $t_{HD}$  – температура продукта на начало хранения,  $J_{CP}$  – средняя интенсивность прямой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность. Вт/м<sup>2</sup>;  $\tau_{DH}$  – продолжительность дневного времени, час.

Полученную зависимость можно рекомендовать для использования в инженерных расчетах, например, при определении потерь и выбросов от испарения жидких углеводородов с открытой поверхности. Относительная ошибка при определении температуры поверхности нефти в формуле (3) составляет около 20%, при интенсивности радиации  $J_{CP} \geq 190$ Вт/м<sup>2</sup>. Коэффициент множественной корреляции составил 0,94 и значим с доверительной вероятностью 0,95 по критерию Стьюдента.

### Список литературы

1. Антипов В.Н., Неволин А.П., Земенков Ю.Д. Работа промежуточных насосных станций при перекачке газонасыщенных нефтей//Нефтяное хозяйство.-1981.-№10.-С.46-48.
2. Аспекты технологической надежности и экономической эффективности эксплуатации подземных хранилищ природного газа Западной Сибири: монография/Шиповалов А.Н.,

Земенков Ю.Д., Торопов С.Ю., Подорожников С.Ю., Земенкова М.Ю., Тырылгин И.В., Павлов В.П.-Тюмень: ТюмГНГУ, 2012 -344 с.

3. Вакулин А.А., Шабаров А.Б. Диагностика теплофизических параметров в нефтегазовых технологиях. Новосибирск: Наука, 1998.-249с.

4. Дудин С. М. Моделирование фазового состава газоконденсата в трубопроводах./Дудин С. М., Земенков Ю. Д., Шабаров А. Б., Саранчин Н. В.//Известия вузов. Нефть и газ. -Тюмень, - 2010. -№6.

5. Земенков Ю.Д. Методологическое обеспечение экспертных расчетов утечек и выбросов при трубопроводном транспорте жидких углеводородов. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999 - 360с.

6. Мониторинг гидродинамических и технических характеристик трубопроводных систем: Учебное пособие. Под общей редакцией Ю.Д. Земенкова. – Тюмень: Издательство «Вектор Бук», 2008 – 432 с.

7. Техническая и параметрическая диагностика в трубопроводных системах/ Антипьев В.Н., Земенков Ю.Д., Шабаров А.Б. и др. Под общей редакцией Ю.Д. Земенкова. -Тюмень: изд-во «Вектор Бук», 2002, 432с.

8. Торопов С.Ю., Торопов В.С. Методика предсказания надежности нефтегазотранспортного оборудования//Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1997. -№ 6. -С. 135.

9. Шабаров А.Б., Ибрагимов А.А., Подорожников С.Ю. и др. Экспериментальная установка для исследования влияния напряжений на скорость коррозии трубных сталей.//Сб. тр. Всероссийской. науч.-практич. конф. «Проблемы функционирования систем транспорта». - Тюмень: ТюмГНГУ. -2012.-С. 394 -395.

10. Yu.D. Zemenkov, V.V. Shalay, M.Yu. Zemenkova. Immediate Analyses and Calculation of Saturated Steam Pressure of Gas Condensates for Transportation Conditions. Procedia Engineering, Volume 113 (2015) Pages 254-258

#### **Рецензенты:**

Торопов С.Ю., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г.Тюмень;

Чекардовский М.Н., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г.Тюмень.