

В рамках реализации проекта выполнен комплекс экспериментальных исследований реологического поведения тяжелых высоковязких нефтей после ультразвуковой (УЗ) обработки. Исследовано десять различных по физико-химическому составу образцов нефти из месторождений Республики Татарстан (Зычевашское, Арзамасское, Первомайское, Кзыл-Тай и Контузлинское, а также месторождения Новошешминского района Республики Татарстан). Экспериментальные исследования реологических свойств выполнены с помощью приобретенного за счет средств настоящего гранта реометра Physica MCR 102. Озвучивание образцов нефти было осуществлено с частотой от 18 до 24 кГц, мощностью воздействия до 1000 Вт и продолжительностью от 1 до 20 мин. На основе полученных экспериментальных данных найдены параметры реологических моделей, учитывающих частоту, мощность и продолжительность УЗ.

Установлено, что вязкость озвученной нефти после хранения в закрытом сосуде в темном шкафу в течение 24 часов увеличивается по отношению к исходной нефти (контрольные измерения вязкости при температуре 293К). Аналогичная зависимость выявлена для термически обработанной нефти. Уменьшение вязкости после УЗ обработки в основном обусловлено термическим эффектом (температура сырой нефти возрастает после ультразвуковой обработки). На примере исследованных образцов сырой нефти получено, что УЗ обработка не оказывает существенного влияния на температуру застывания нефти.

Установлено, что ультразвуковая обработка нефти приводит к увеличению энергии активации вязкого течения, но не более чем на 6,6%, для образцов сырой нефти ряда месторождений Республики Татарстан. Установлено, что для нефти с вязкостью от 3000 до 4000 мПа·с наблюдается градиент температуры по высоте цилиндрического сосуда. Для нефти с малой вязкостью от 29 до 30 мПа·с после УЗ наблюдался равномерный прогрев во всем объеме. Выявленный градиент температуры сохраняется в широком диапазоне мощности УЗ и продолжительности воздействия.

Анализ экспериментальных данных реологических свойств озвученной нефти выявил степенной и экспоненциальный законы увеличения вязкости от продолжительности дальнейшего хранения (рисунок 1).

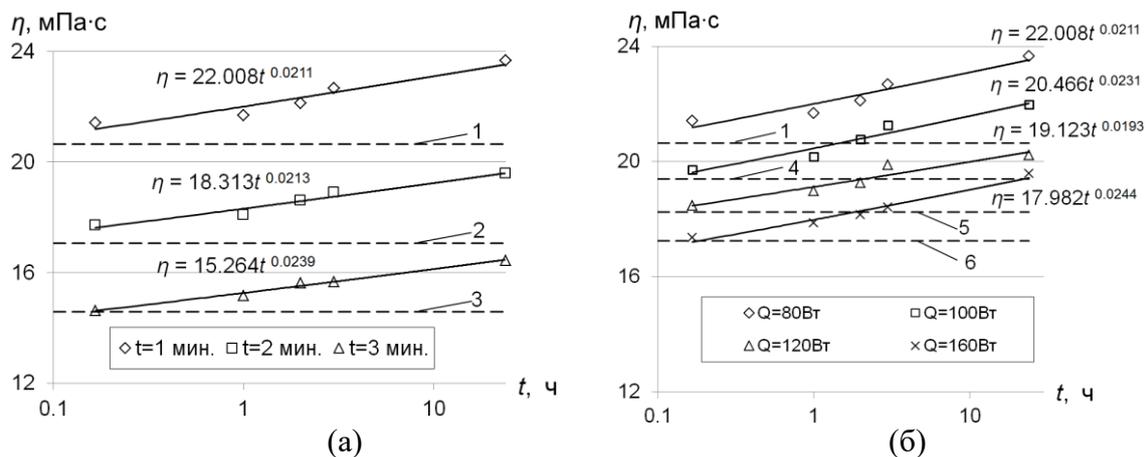


Рисунок 1 – Динамика изменения вязкости образца №1: (а) от продолжительности обработки при $Q=80$ Вт, (б) от мощности прибора при $t=1$ мин (22kHz) (исходные данные [Energies 2019, $\eta(\dot{\gamma} = 5)$]): 1 – $\eta_{T=30,9^{\circ}\text{C}} = 20,65$, 2 – $\eta_{T=35,9^{\circ}\text{C}} = 17,07$, 3 – $\eta_{T=42,4^{\circ}\text{C}} = 14,58$, 4 – $\eta_{T=32,9^{\circ}\text{C}} = 19,39$, 5 – $\eta_{T=34,7^{\circ}\text{C}} = 18,25$, 6 – $\eta_{T=37,3^{\circ}\text{C}} = 17,25$.

Результаты экспериментальных исследований показывают, что на стабильность реологических свойств озвученной нефти при хранении оказывают влияние продолжительность и мощность УЗ воздействия. При этом эффективность озвучивания зависит от исходных свойств сырой нефти. Обработка экспериментальных данных выявила, что зависимость прогрева нефти от мощности и продолжительности УЗ воздействия подчиняется степенному и экспоненциальному законам. Найдена линейная зависимость вязкости от частоты ультразвуковой обработки, причем с уменьшением

контрольной температуры, при которой выполнены измерения, скорость прироста вязкости по отношению к исходному значению увеличивается.

На рис. 2 на примере двух высоковязких нефтей представлены экспериментальные данные зависимости вязкости от скорости сдвига и результаты аппроксимации данных зависимостей реологическими моделями.

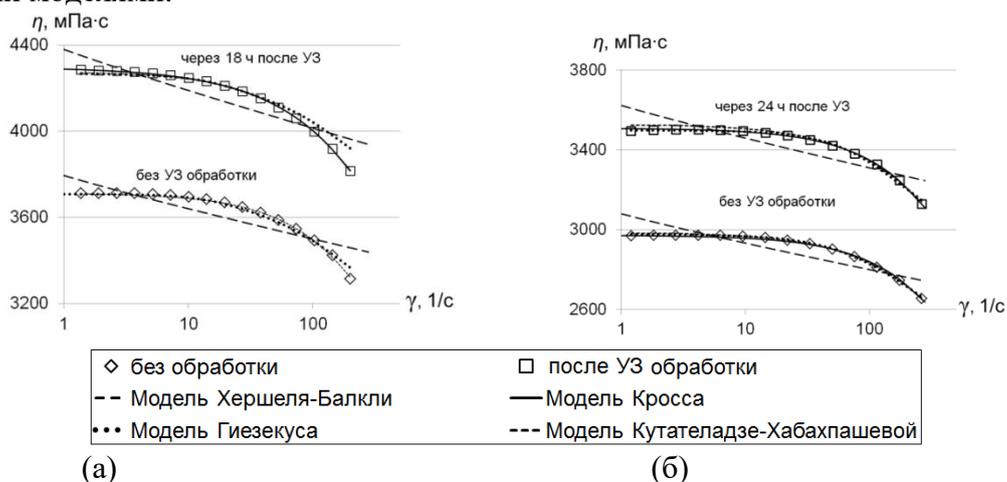


Рисунок 2 – Зависимость вязкости от скорости сдвига:
а) образец №1, б) образец №2 (Т=20 °С)

Основываясь на литературных данных и встроенных в коммерческие пакеты (например, Ansys PolyFlow, Comsol, OpenFoam) реологических уравнений наибольшее распространение получили модели Cross и Carreau–Yasuda, которые адекватно описывают реологическое поведение обобщенно вязких сред. Вязкость сырой нефти в диапазоне температур, при которой осуществляется ее транспортировка, не обладает вязкоупругими свойствами, поэтому использование дифференциальных уравнения состояния среды, таких как модели Гиезекуса или Фан-Тьен-Таннера, является избыточным.

Предложена математическая модель процесса теплопереноса при течении сырой высоковязкой нефти в канале нефтепровода, основанная на литературных данных. На примере высоковязкой нефти численно рассчитаны линии равных значений температуры в слое грунта в летний и зимний периоды. Численные результаты показали, что при одинаковом объеме перекачиваемой нефти температура по длине трубы для более вязкой нефти остывает медленнее, чем для маловязкой.

Результаты исследований представлены конференциях: 73-я Международная молодежная научная конференция «Нефть и газ – 2019» (Москва, 22-25 апреля 2019г.), XXXV Сибирский теплофизический семинар (Новосибирск, 27-29 августа 2019 г.), Международная научно-техническая конференция «Smart Energy Systems 2019» (Казань, 18-20 сентября 2019 г.). Поданы для участия в International Conference on Structural Engineering and Materials, Seoul, South Korea, 13-15 ноября 2020 г. online.

Результаты проекта опубликованы в журналах:

Energies (WoS; SCOPUS Q1, IF=0.61),
Journal of Physics: Conference Series (WoS; SCOPUS IF=0.22),

E3S Web of Conferences (WoS; SCOPUS IF=0.17),

SOCAR Proceedings (WoS; SCOPUS IF 0.482)

Энергобезопасность и энергосбережение (РИНЦ IF=0.304)
и в сборнике тезисов докладов 73-ей Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2019»,
Направлены в печать:

Petroleum Science and Technology (WoS; SCOPUS IF=0.976),
Key Engineering Materials (WoS; SCOPUS).

