

УДК544.77.022; 622. 276. 72; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2023-2.14>

<https://orcid.org/0009-0001-1196-234X>

<https://orcid.org/0000-0003-1182-7460>

<https://orcid.org/0009-0009-3909-0035>

<https://orcid.org/0000-0002-6913-1549>

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ АКТИВАТОРОВ (С ВНУТРЕННИМ И НАРУЖНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ МАГНИТОВ) ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТИ ПО НЕФТЕПРОВОДУ



Н.К. ЖАМАНТАЙ,
магистрант,
zhamantay.nadir.2001@gmail.com



Қ. ТОШТАЙ,
Ph.D., старший
преподаватель,
kainaubek.toshtay@gmail.com



С. РОХУЛЛАХ,
магистрант,
rohullahsofizada96@gmail.com



Д.А. БАЙСЕЙТОВ,
Ph.D., старший преподаватель,
dauren_b91@mail.ru

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. АЛЬ-ФАРАБИ
Республика Казахстан, Алматы, 050040, пр.аль-Фараби, 71

Данная работа направлена на улучшение реологических свойств высокопарафинистой нефти при транспортировке по трубопроводам с помощью физико-химической обработки сырья магнитной, термической и химической обработкой. Избирательность воздействия магнитной обработки в зависимости от состава масляной смеси, и в то же время способствует значительному улучшению реологических свойств исследуемых масляных смесей за счет снижения их температуры застывания, кинематической вязкости, отложений парафинов определяемого при помощи метода холодного стержня и перепад давления в модельном трубопроводе.

Актуальность работы заключена в новизне по изучению воздействия магнитного поля на нефтяные смеси Кумкольского месторождения, а также депрессорные присадки Рандеп-5102.

Были исследованы влияния магнитной и термической обработки на реологические свойства кумкольской нефтесмеси, такие как температура потери текучести, температура застывания, кинематическая вязкость и степень ингибирования асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО).

На основании проведенных исследований установлено, что магнитная обработка на 9 °С снижает температуру потери текучести и застывания исходной Кумкольской нефтесмеси и на 12 °С смеси с добавлением присадки. Однако, температура потери текучести и застывания нефтесмеси с добавкой депрессанта после магнитной обработки не изменилась. Кинематическая вязкость кумкольской нефтесмеси изменяется лишь незначительно. Степень ингибирования незначительно изменилась с воздействием магнитного поля, но магнитная обработка с термической обработкой показали значительные улучшения и снижение массы отложений по сравнению с исходной смесью.

Магнитная обработка существенно (почти в 2 раза) увеличивает степень ингибирования асфальтосмолопарафиновых отложений по сравнению с нефтесмесью с присадкой. Исследования на модельном трубопроводе показали, что магнитная обработка приводит к понижению в 2 раза дифференциального давления в трубопроводе и оказывает пролонгирующее действие.

Результаты этого исследования имеют значение для нефтегазовой отрасли, поскольку они могут привести к разработке более эффективных и экономичных методов транспортировки нефти по трубопроводам. В целом магнитная обработка улучшает транспортировку нефтяных смесей различного состава.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нефть, нефтяная смесь, магнитная обработка, кинематическая вязкость, температура застывания, асфальтосмолопарафиновые отложения (АСПО), депрессант, перепад давления, модель трубопровода.

МҰНАЙ ҚҰБЫРЫ АРҚЫЛЫ МҰНАЙ ТАСЫМАЛДАУ ҮДЕРІСТЕРІН ЖАҚСARTУ ҮШІН МАГНИТТІК АКТИВАТОРЛАРДЫ (МАГНИТТЕРДІҢ ІШКІ ЖӘНЕ СЫРТҚЫ ОРНАЛАСУЫМЕН) ЗЕРТТЕУ

Н.К. ЖАМАНТАЙ, 1 курс магистранты, zhamantay.nadir.2001@gmail.com
Қ. ТОШТАЙ, Ph.D., аға оқытушы, kainaubek.toshtay@gmail.com
С. РОХУЛЛАХ, 2 курс магистранты, rohullahsofizada96@gmail.com
Д.А. БАЙСЕЙТОВ, Ph.D., аға оқытушы, dauren_b91@mail.ru

ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ,
Қазақстан Республикасы, 050040, Алматы, әл-Фараби даңғылы, 71

Бұл мақала шикізатты магниттік, термиялық және химиялық өңдеумен физика-химиялық өңдеу арқылы құбырлар арқылы тасымалдау кезінде жоғары парафинді мұнайдың реологиялық қасиеттерін жақсартуға бағытталған. Мұнай қоспасының құрамына байланысты магниттік өңдеу әсерінің селективтілігі және сонымен бірге олардың қатаю температурасын, кинематикалық тұтқырлығын, суық өзек әдісімен анықталған парафин шөгінділерін және модельдік құбырдағы қысымның төмендеуін төмендету арқылы зерттелетін май қоспаларының реологиялық қасиеттерін едәуір жақсартуға ықпал етеді. Жұмыстың өзектілігі Құмкөл кен орнының мұнай қоспаларына магнит өрісінің әсерін, сондай-ақ рандел-5102 депрессорлық қоспаларын зерттеу бойынша жаңалыққа айналды. Магниттік және термиялық өңдеудің Құмкөл мұнай қоспасының аққыштық қасиетін жоғалту температурасы, қатаю температурасы, кинематикалық тұтқырлық және асфальтосмолопарафинді шөгінділердің (АСПШ) ингибирлену дәрежесі сияқты реологиялық қасиеттеріне әсері зерттелді. Жүргізілген зерттеулердің негізінде магниттік өңдеу бастапқы Құмкөл мұнай қоспасының аққыштық қасиетін жоғалту температурасын және қатаю температурасын 9 градусқа және депрессорлық қоспа қосылған мұнайдыкін 12 градусқа төмендететіні анықталды. Алайда, магниттік өңдеуден кейін депрессант қоспасы бар мұнай қоспасының аққыштық қасиетін жоғалту температурасы мен қатаю температурасы өзгерген жоқ. Ингибирлеу дәрежесі магнит өрісінің әсерінен аздап өзгерді, бірақ термиялық және магниттік өңделген бастапқы қоспамен салыстырғанда шөгінді массасының айтарлықтай жақсарғанын және төмендегенін көрсетті. Мұнай мен депрессорлық қоспаны магниттік өңдеу АСПШ ингибирлену дәрежесін айтарлықтай (шамамен екі есеге) арттырды. Модельдік құбырдағы зерттеулер магниттік өңдеу құбырдағы дифференциалдық қысымның 2 есе төмендеуіне әкелетінін және пролонгациялық әсер ететінін көрсетті. Бұл зерттеудің нәтижелері мұнай-газ саласына әсер етеді, өйткені олар мұнайды құбырлар арқылы тасымалдаудың тиімді және үнемді әдістерін жасауға әкелуі мүмкін. Жалпы магниттік өңдеу әртүрлі құрамдағы мұнай қоспаларын тасымалдауды жақсартады.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: мұнай, мұнай қоспасы, магниттік өңдеу, кинематикалық тұтқырлық, құю нүктесі, асфальт-шайыр-парафин шөгінділері (АРПД), депрессант, қысымның төмендеуі, құбыр үлгісі.

STUDY OF MAGNETIC ACTIVATORS (WITH INTERNAL AND EXTERNAL MAGNETS) TO IMPROVE THE PROCESSES OF OIL TRANSPORTATION THROUGH THE PIPELINE

N.K. ZHAMANTAY, 1 year master student, zhamantay.nadir.2001@gmail.com

K. TOSHTAY, Ph.D., senior lecturer, kainaubek.toshtay@gmail.com

S. ROKHULLAH, 2 year master student, rohullahsofizada96@gmail.com

D.A. BAISEITOV, Ph.D., senior lecturer, dauren_b91@mail.ru

AL-FARABI ATYNDAGY KAZAKH ULTTYK UNIVERSITY,
71 Al-Farabi av., 050040, Almaty, Kazakhstan Republic

This work is aimed at improving the rheological properties of high-paraffin oil during transportation through pipelines using physical and chemical processing of raw materials by magnetic, thermal and chemical treatment. The selectivity of the magnetic treatment effect depends on the composition of the oil mixture, and at the same time contributes to a significant improvement in the rheological properties of the studied oil mixtures by reducing their pour point, kinematic viscosity, paraffin deposits determined using the cold rod method and the pressure drop in the model pipeline. The relevance of the work lies in the novelty of studying the effect of the magnetic field on the oil mixtures of the Kumkol field, as well as the depressor additives Randep-5102. The

effects of magnetic and heat treatment on the rheological properties of the Kumkol oil mixture, such as flow loss temperature, pour point, kinematic viscosity and the degree of inhibition of asphaltresin-paraffin deposits (ARPD) were investigated. Based on the conducted studies, it was found that magnetic treatment reduces the temperature of loss of fluidity and solidification of the initial Kumkol oil mixture by 9 degrees and the mixture with the addition of an additive by 12 degrees. However, the temperature of the loss of fluidity and solidification of the oil mixture with the addition of a depressant after magnetic treatment has not changed. The kinematic viscosity of the Kumkol oil mixture changes only slightly. The degree of inhibition changed slightly with the influence of a magnetic field, but magnetic treatment with heat treatment showed significant improvements and a decrease in the mass of deposits compared to the initial mixture. Magnetic treatment significantly (almost 2 times) increases the degree of inhibition of ARPD compared to an oil mixture with an additive. Studies on the model pipeline have shown that magnetic treatment leads to a 2-fold decrease in the differential pressure in the pipeline and has a prolonging effect. The results of this study are important for the oil and gas industry, as they can lead to the development of more efficient and cost-effective methods of transporting oil through pipelines. In general, magnetic treatment improves the transportation of oil mixtures of various compositions.

KEY WORDS: oil, oil mixture, magnetic treatment, kinematic viscosity, pour point, asphaltresin-paraffin deposits (ARPD), depressant, pressure drop, pipeline model.

Введение. Разработка вопросов технологии освоения нефтяных месторождений, добычи и транспорта высоковязких и высокозастывающих нефтей тесно связана со знаниями особенностей их реологических свойств, изучение которых позволяет успешно воздействовать на нефть с целью улучшения текучести и стабильности при хранении.

К настоящему времени физико-химическая природа процессов структурообразования и их связь с реологическими свойствами нефтяных систем еще полностью не выяснены, и этим объясняется отсутствие достаточной четкости в вопросах регулирования структурно-механических свойств нефтей.

Энергия магнитного поля является одним из самых эффективных, экономичных и доступных видов энергии. Во многих областях человеческой деятельности накоплен большой положительный опыт использования постоянных магнитных полей, создаваемых специальными устройствами – магнитотронами или магнитоактиваторами, которые действуют на неферромагнитные вещества, имеющие различную физическую природу и находящиеся в разных агрегатных состояниях [1-3].

Сам метод является эффективным и экономным, при внедрении в систему нефтедобычи, транспортировке до НПЗ через трубопроводы не требует полной реконструкции, при этом эффект от физической обработки влияет и управляет структурообразованием в самой смеси [4-8].

В работах [9-11] рассматривается использование магнитных полей для интенсификации процессов первичной подготовки нефти, что может привести к более качественному разделению компонентов нефти, воды и газа. Авторы описывают различные типы устройств магнитной обработки и их потенциальные преимущества в нефтегазовой отрасли. Влияние магнитных полей на гистерезис краевого угла полиолефиновых плотов. Авторы обнаружили, что магнитное поле может активировать плоты и заставлять их плавать на поверхности воды, что может иметь потенциальное применение при очистке разливов нефти [12]. Так же были проведены исследования влияния магнитной обработки на эффективность ингибирования

ния коррозии на нефтяных месторождениях. Авторы обнаружили, что магнитная обработка может повысить эффективность ингибиторов коррозии и снизить скорость коррозии в нефтепромысловом оборудовании. Магнитная обработка может улучшить производительность насосом самым снизить затраты на техническое обслуживание и позволяет улучшить процесс деэмульгации и повысить эффективность нефтеотдачи [13-14].

В работах [15-17] исследуется механизм магнитной активации нефти для защиты добывающих скважин от асфальтосмоло-парафиновых отложений. Автор предполагает, что магнитная обработка может предотвратить накопление этих отложений и повысить продуктивность скважины.

Цель настоящей работы – изучение влияния магнитного поля в сочетании с вводом депрессорной присадки (в составе кумкольской нефтесмеси) на реологические свойства выше указанных казахстанских нефтесмесей, транспортируемых по магистральному трубопроводу. Комплекс полученных результатов свидетельствует об избирательности действия магнитной обработки в зависимости от состава нефтесмеси, и в то же время способствует существенному улучшению реологических свойств исследованных нефтесмесей путем снижения их температуры потери текучести, кинематической вязкости, отложений АСПО и дифференциального давления в модельном трубопроводе. В целом магнитная обработка способствует улучшению транспортировки нефтесмесей различного состава.

Материалы и методы исследования. Для приготовления смеси сначала с помощью шейкера ее доводили до однородности в течение 30 мин при скорости 150 об/мин, затем смешивали в пропорциях друг с другом и доводили до однородности на шейкере. После получения смеси ее разливают в емкости объемом 600 мл. Для модельного трубопровода на аппарате парафиновая петля 11 израсходовано 600 мл на опыт, для определения температуры застывания и водоотдачи потребовалось загрузить 40 мл смеси. Определение АСПО проводили методом холодного стержня, для чего требовалось около 300 мл. Для определения кинематической вязкости с помощью вискозиметра необходимо 100 мл смеси [17,18].

Были использованы такие методы как – метод холодного стержня, модель трубопровода на системе waxflowloop 11, которая включает собственную программу на ПК, которая вычисляет перепад давления и может отображать его в виде графиков, определение температуры застывания и потерь жидкости проводилось на аппарате linetronictechnologies afl-12a, метод вискозиметра с использованием типа Пинкевича вискозиметр [19]. Все результаты получены в научном парке Казахского национального университета им. аль-Фараби.

Способ исследования реологических свойств нефтяных смесей. Модельный трубопровод. Перед началом работы с модельным трубопроводом проводят очистку через впускную трубку о-ксилолом объемом 250 мл при скорости насоса 25 мл/мин, после чего удаляют 150 мл масляной смеси с о-ксилолом. После очистки выпускное отверстие трубки погружают в емкость с масляной смесью и цикл закрывают. Эксперимент начинается с момента замыкания контура, температурный режим выбирается в зависимости от результатов, полученных на аппарате для потери жидкости и затвердевания. Время для всех экспериментов одинаковое – 2 часа 10 минут.

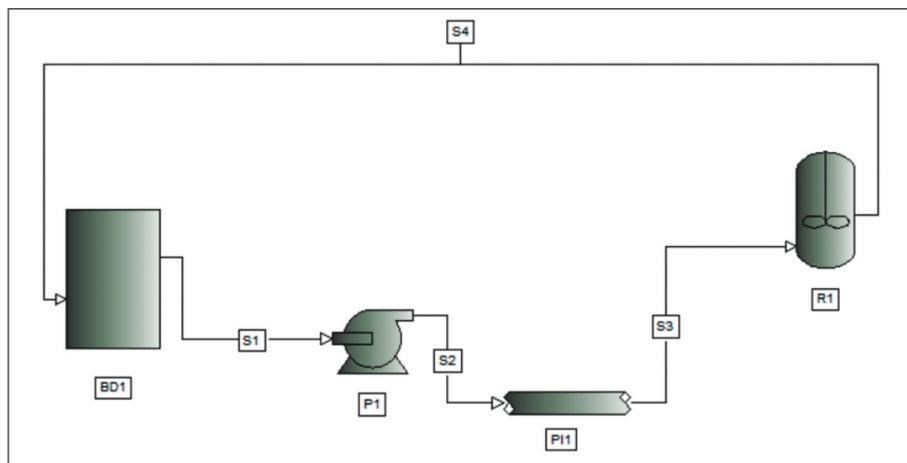


Рисунок 1 – Схема работы модельного трубопровода
S1,2,3,4 – Трубы, BD1 – Емкость хранения нефтесмеси, P1 – Насос,
P11 – Металлическая трубка, R1 – Криостат

Температура застывания и точка застывания. Основано на межгосударственном стандарте 20287-91. Температуру определяют в объемах 40 мл с постепенным снижением температуры до -40°C или когда масло полностью затвердеет.

Кинематическая вязкость.

Кинематическая вязкость, мм/с, рассчитывается по формуле:

$$v = Ct \tag{1}$$

где C – постоянная вискозиметра, мм/с; t – среднее арифметическое значение времени истечения, сек.

Динамическая вязкость, МПа с, рассчитывается на основе кинематической вязкости по формуле:

$$\eta = vp10^{-3} \tag{2}$$

где η – кинематическая вязкость, мм/с; ρ – плотность при той же температуре, при которой определялась кинематическая вязкость, кг/м.

Результаты и обсуждения. Исследование влияния магнитной обработки на реологические свойства кумкольской нефтесмеси (плотность при 20°C равна $816,0 \text{ кг/м}^3$). В *таблицах 1 – 3* показаны результаты влияния магнитной и термической обработки на потерю текучести, кинематическую вязкость и отложение АСПО соответственно. Изучая литературу и влияние магнитной и термической обработки на нефтяные смеси, мы пришли к заключению использования магнитов силой $0,1 \text{ Т}$ [9].

Таблица 1 – Влияние магнитной обработки на температуру потери текучести кумкольской нефтесмеси

Кумкольская нефтесмесь (КС)	Температура застывания, $^{\circ}\text{C}$	Температура потери текучести, $^{\circ}\text{C}$
КС исходная	+6	+9
КС + магнитная обработка (МО) (0,1 Тл)	-3	0
КС + термообработка (ТО) при 60°C	+3	+6
КС + ТО при 60°C + МО	-3	0
КС + депрессант (Рандеп 5102) 200 ppm	-6	-3
КС + депрессант (Рандеп 5102) 200 ppm + МО	-6	-3

Магнитная обработка на 9 градусов снижает температуру потери текучести исходной Кумкольской нефтесмеси и на шесть градусов термообработанной смеси. Однако, температура потери текучести нефтесмеси с добавкой депрессанта после магнитной обработки не изменилась. Высокая восприимчивость исходной нефти к магнитной обработке объясняется неоднородностью ее нефтяной дисперсной системы, а термообработка при 60 °С вероятно не является оптимальной [19].

Таблица 2 – Влияние магнитной обработки на кинематическую вязкость

Кумкольская нефтесмесь (КС)	Кинематическая вязкость при 40°С
КС исходная	4,5
КС + магнитная обработка (МО) (0,1 Тл)	4,6
КС + термообработка (ТО) при 60 °С	4,5
КС + ТО при 60 °С + МО	4,6
КС + депрессант (Рандеп 5102) 200 ppm	4,4
КС + депрессант (Рандеп 5102) 200 ppm + МО	4,5

Таблица 3 – Влияние магнитной обработки на отложения АСПО

Кумкольская нефтесмесь (КС)	Масса отложений АСПО, г	Степень ингибирования АСПО, %
КС исходная	3,5	-
КС + магнитная обработка (МО)(0,1 Тл)	3,3	5,7
КС + термообработка (ТО) при 60 °С	3,5	-
КС + ТО при 60 °С + МО	2,5	28,6
КС + депрессант (Рандеп 5102) 200 ppm	2,3	34,3
КС + депрессант (Рандеп 5102) 200 ppm + МО	1,4	60,0

Кинематическая вязкость кумкольской нефтесмеси изменяется лишь незначительно (таблица 2). Магнитная обработка существенно (почти в 2 раза) увеличивает степень ингибирования АСПО по сравнению с нефтесмесью с присадкой (таблица 3).

На рисунках 2 - 4 представлены результаты, полученные на модельном трубопроводе.

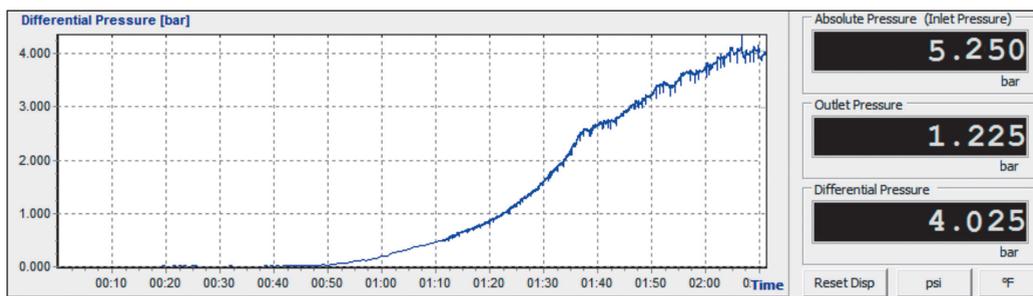


Рисунок 2 – Изменение дифференциального давления в модельном трубопроводе с исходной кумкольской смесью во времени, полученные при ступенчатом понижении температуры до – 3°С

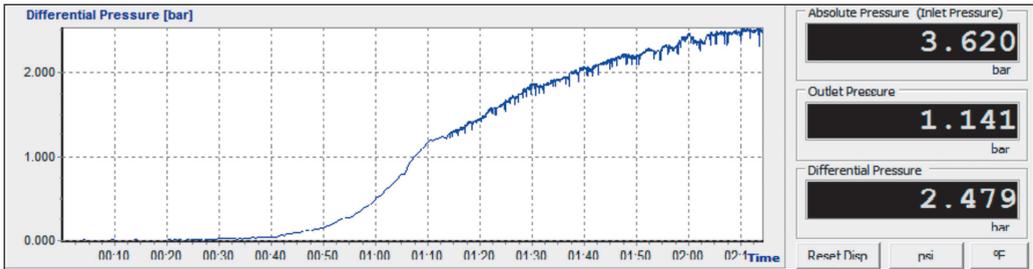


Рисунок 3 – Изменение дифференциального давления в модельном трубопроводе с кумкольской смесью с добавлением присадки во времени, полученные при ступенчатом понижении температуры до – 3°С

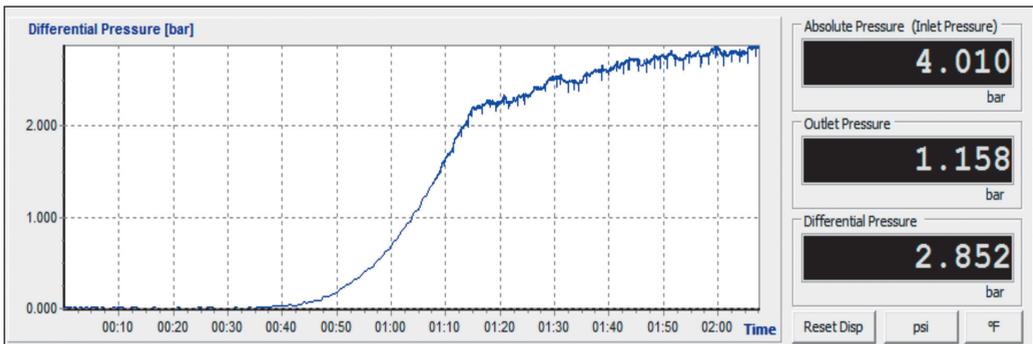


Рисунок 4 – Изменение дифференциального давления в модельном трубопроводе с кумкольской смесью с добавлением присадки и после магнитной обработки во времени, полученные при ступенчатом понижении температуры до – 3°С

Добавление присадки существенно снижает давление в трубопроводе, однако магнитная обработка не усиливает ее влияние.

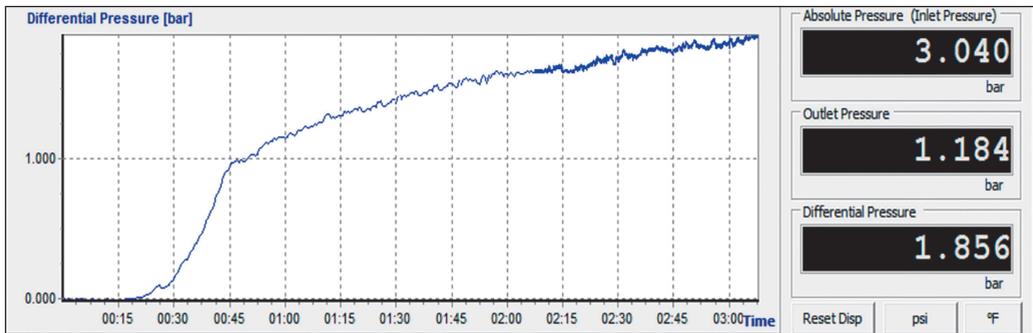


Рисунок 5 – Изменение давления в модельном трубопроводе с кумкольской смесью после добавления присадки, полученные при ступенчатом понижении температуры до 6°С

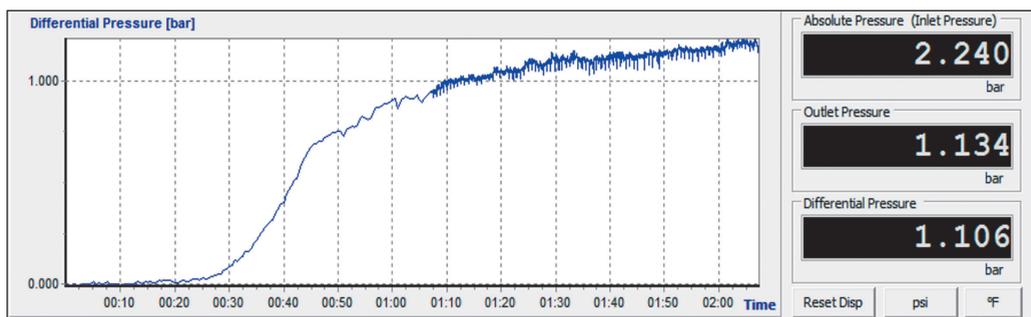


Рисунок 6 – Изменение давления в модельном трубопроводе с кумкольской смесью после добавления присадки и магнитной обработки (0.2 Тл)

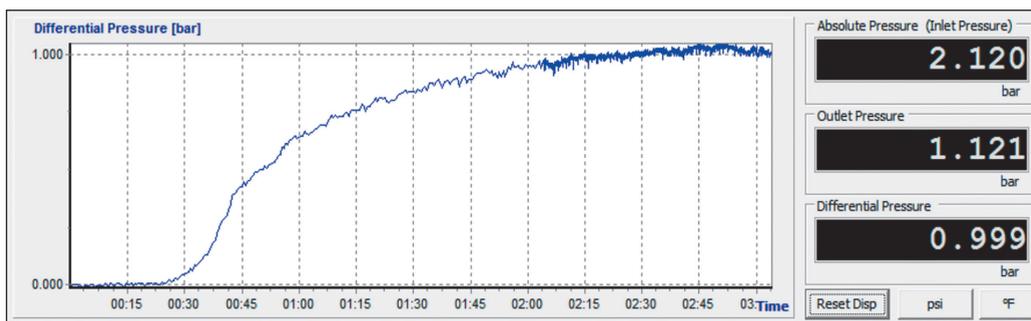


Рисунок 7 – Изменение давления в модельном трубопроводе с кумкольской смесью после добавлением присадки и магнитной обработки (0.3Тл)

В первом опыте (рисунок 5), проведенном без применения магнитной обработки наблюдается достижение дифференциального давления в 1,856 бар с последующим ростом давления, что свидетельствует о том, что присадка не в состоянии самостоятельно эффективно ингибировать процесс отложения АСПО. Тогда как в случае применения магнита с величиной магнитной индукции 0,3 Тл (рисунок 7) вместе с выше указанной присадкой это, во-первых, привело к понижению дифференциального давления в два раза, но вместе с этим имеет место пролонгирующее действие, где не наблюдается роста давления по достижению давления в один (0.999) бар на протяжении 3 часов.

Работы выполненные по нашей теме также подтверждают улучшение некоторых видов нефтяных смесей путем влияния магнитной обработки на структурообразование и характер взаимодействий между различными компонентами в нефти [9].

Выводы

На основании проведенных исследований можно судить что исследование влияния магнитной обработки (МО) на реологические свойства Кумкольской нефтесмеси (КС) показало, что магнитная обработка:

- на 9 градусов снижает температуру потери текучести и застывания исходной Кумкольской нефтесмеси и на 12 градусов смеси с добавлением присадки;
- кинематическая вязкость кумкольской нефтесмеси изменяется лишь незначительно;

- магнитная обработка существенно (почти в 2 раза) увеличивает степень ингибирования АСПО по сравнению с нефтесмесью с присадкой;
- исследования на модельном трубопроводе показали, что МО приводит к понижению в 2 раза дифференциального давления в трубопроводе и оказывает пролонгирующее действие. 

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках проекта AP14871087.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Лаптев Б.И., Горленко Н.П., Дунаевский Г.Е., Сидоренко Г.Н. Реализация информационных воздействий в неживых и живых системах. - Томск: ТГУ, 2018. – 107 с. [Laptev B.I., Gorlenko N.P., Dunaevskij G.E., Sidorenko G.N. Realizaciya informacionnyh vozdeystvij v nezhiivyh i zhivyh sistemah. - Tomsk: TGU, 2018. – 107 s.]
- 2 Классен В.И. Намагничивание водных систем. –М.: Наука, 2020. - 296 с. [Klassen V.I. Namagnitchivanie vodnyh system. –M.: Nauka, 2020. - 296 s.]
- 3 Инюшин Н.В., Каштанова Л.Е., Лаптев А.Б., Мугтабаров Ф.К. Магнитная обработка полевых жидкостей. - Уфа: Реактивный, 2019. – 58 с. [Inyushin N.V., Kashtanova L.E., Laptev A.B., Mughtabarov F.K. Magnitnaya obrabotka polevyh zhidkostej. - Ufa: Reaktivnyj, 2019. – 58 s.]
- 4 Леонтьев А.Ю., Полетаева О.Ю., Шакиров Р.А., Хасанов И.И., Бабаев Э.Р. Влияние магнитного поля на реологические свойства тяжелых высоковязких нефтей // Нефтегазохимия. – 2019. – №3-4. – С. 18-22. [Leont'ev A.YU., Poletaeva O.YU., SHakirov R.A., Hasanov I.I., Babaev E.R. Vliyanie magnitnogo polya na reologicheskie svojstva tyazhelyh vysokovязких neftej // Neftegazohimiya. – 2019. – №3-4. – S. 18-22.]
- 5 Каргин В.А. Краткие очерки по физической химии полимеров. - М.: Химия, 2019. – 232 с. [Kargin V.A. Kratkie ocherki po fizicheskoj himii polimerov. - M.: Himiya, 2019. – 232 s.]
- 6 Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах; Физико-химическая механика. - М.:Наука, 1979. – 384 с. [Rebinder P.A. Poverhnostnyye yavleniya v dispersnyh sistemah; Fiziko-himicheskaya mekhanika. - M.:Nauka, 1979. – 384 s.]
- 7 Эйрих Ф. Реология, теория и применение. - М.: ИЛ, 2021. – 833 с. [Ejrih F. Reologiya, teoriya i primenenie. - M.: IL, 2021. – 833 s.]
- 8 Енотов В.М. Движение аномальных жидкостей в пористой среде // Труды всесоюзной школы по реологии "Реология: полимеры и нефть"- Новосибирск: СО АН СССР, 2020. – С. 144-162. [Enotov V.M. Dvizhenie anomalnyh zhidkostej v poristoi srede // Trudy vsesoiyznoi shkoly po reologii "Reologiya: polimery i neft" – Novosibirsk: SO AN SSSR, 2020. – S. 144-162].
- 9 Власова Г.В., Пивоварова Н.А., Куликова Е.Д., Хафизуллина Н.Р. Пути улучшения низкотемпературных параметров транспортируемой парафиновой нефти // Neftegaz.RU. – 2017. – №12. – С. 48-50. [Vlasova G.V., Pivovarova N.A., Kulikova E.D., Hafizullina N.R. Puti uluchsheniya nizkotemperaturnyh parametrov transportiruemoj parafinovoj nefti // Neftegaz.RU. – 2017. – №12. – S. 48-50].
- 10 Голубев И.А., Голубев А.В., Лаптев А.Б. Практика применения устройств магнитной обработки для интенсификации процессов первичной подготовки нефти // Записки горного института. – 2020. – Т. 245. – С. 554-560. [Golubev I.A., Golubev A.V., Laptev A.B. Praktika primeneniya ustrojstv magnitnoj obrabotki dlya intensivkacii processov pervichnoj podgotovki nefti // Zapiski gornogo instituta. – 2020. – T. 245. – S. 554-560.]

- 11 Френкель М., Данчук В., Мултанен В., Бормашенко Е. Гистерезис угла контакта, вызванный магнитным полем, приводит в движение плавучие полиолефиновые плиты // Научные коммуникации в области коллоидов и интерфейсов. – 2018. –Т. 22. – С. 38-41. [Frenkel' M., Danchuk V., Multanen V., Bormashenko E. Gisterezis ugla kontakta, vyzvannyj magnitnym polem, privodit v dvizhenie plavuchie poliiolefinovyie ploty // Nauchnye kommunikacii v oblasti kolloidov i interfejsov. – 2018. –Т. 22. – S. 38-41.]
- 12 Golubev I.A., Laptev A.B., Alekseeva, E.L., Shaposhnikov N.O., Povyshev A.M., Kurakin M.K. The effect of magnetic treatment on the effectiveness of inhibition in oilfields // E3S Web of Conferences. – SaintPetersburg, Russia, 2019. – P. 1-5.
- 13 Ушаков А.В. Перспективы использования магнитной обработки пластовой жидкости с целью контроля эффективности погружных электроцентробежных насосов при эксплуатации в сложных условиях // Территория нефти и газа. – 2015. – №8. – С. 44-50. [Ushakov A.V. Perspektivy ispol'zovaniya magnitnoj obrabotki plastovoj zhidkosti s cel'yu kontrolya effektivnosti pogruzhnyh elektrocentrobeznyh nasosov pri ekspluatacii v slozhnyh usloviyah // Territoriya nefi i gaza. – 2015. – №8. – S. 44-50].
- 14 Докичев В.А., Свирский С. Е., Сингизова В.Х., Коростелева И.В., Телин А.Г. Влияние магнитного поля на деэмульгацию водонефтяной эмульсии пласта А4 Киенгопского месторождения. [Электрон. ресурс] – 2014. – URL: <http://ngdelo.ru/article/view/871>. [Dokichev V.A., Svirski S.E., Singizova V.H., Korosteleva I.V., Telin A.G. Vlianie magnitnogo polya na deemulgatsiu vodonefyanoi emulsii plasta A 4 Kiengopskogo mestorozhdenia. [Electronniy resurs] – 2014. – URL: <http://ngdelo.ru/article/view/871>.]
- 15 Лоскутова Ю.В., Юдина Н.В. Влияние магнитного поля на структурные и реологические свойства масел // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – № 4 (309). – С. 104-109. [Loskutova Y.V., Ydina N.V. Vlianie magnitnogo polya na strukturnye i reologicheskie svoistva masel // Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta. – 2006. – № 4 (309). –S. 104-109.].
- 16 Злобин А.А. Изучение механизма магнитной активации нефти для защиты добывающих скважин от асфальтосмолопарафиновых отложений // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017. – № 1 (16). – С. 49-63. [Zlobin A.A. Izuchenie mehanizma magnitnoi aktivatsii nefi dlya zashiti dobyvaiushih skvazhin ot asfaltosmoloparafimovyh otlozhenii // Vestnik PNIPU. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo. – 2017. – № 1 (16). – S. 49-63.].
- 17 Aminea B., Agassant M., François J., et all. Deposition in Pipelines: Flow-Loop Experiments and Investigations on a Novel Approach // Proceedings - SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – Denver, Colorado, USA, 2008. – P. 1-5. <https://doi.org/10.2118/115293-MS>.
- 18 Leng H., Han F., Liu F. et all. Permanent magnet treatment technology for crystal blockage of tunnel drainage pipes // Desalination and water treatment. – 2021. – №243.–P. 211-220.DOI: 10.5004/dwt.2021.27795.
- 19 Коробов Г.Ю., Парфенов Д.В. Механизмы образования асфальтосмолопарафиновых отложений Методики исследования // Neftegaz.RU. –2022. – №8. – С. 48-50. [Korobov G.YU., Parfenov D.V. Mekhanizmy obrazovaniya asfal'tosmoloparafimovyh otlozhenij Metodiki issledovaniya // Neftegaz.RU. –2022. – №8. – S. 48-50.].