

UDC 622.323

DOI 10.52171/2076-0515_2024_16_04_52_59

Impact of Cooling Rate on the Rheological Properties of Flooded Crude Oils

F.B. Ismayilova, G.A. Zeynalova

Azerbaijan State University of Oil and Industry (Azadlig ave., 16/21, Baku, AZ1010, Azerbaijan)

For correspondence:

Zeynalova Gulnara / e-mail: gulnara.zeynalova93@mail.ru

Abstract

The article presents the results of studies on the influence of the water ratio factor and the cooling rate on the rheological properties of anomalous crude oils. Laboratory studies have shown that an increase in the water content in emulsions of more than 40% leads to a significant increase in viscosity over the entire temperature range. It is also shown that an increase in water ratio increases the pour point of oil by $7\div 14$ °C.

Keywords: viscosity, emulsion, water dosage, cooling rate, rheological properties, resin, asphaltene, paraffins, flow curves.

Received 03.07.2023

Revised 10.12.2024

Accepted 16.12.2024

For citation:

F.B. Ismayilova, G.A. Zeynalova

[Impact of Cooling Rate on the Rheological Properties of Flooded Crude Oils]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2024, vol. 16, № 4, pp. 52-59 (in Russian)

Sulaşmış neftlərin soyuma tempinin onların reoloji xassələrinə təsiri

F.B. İsmayılova, G.A. Zeynalova

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)

Xülasə

Məqalədə anomal neftlərin reoloji xüsusiyyətlərinə soyuma tempinin və sulaşma əmsalının təsiri ilə bağlı tədqiqatların nəticələri təqdim olunur. Laboratoriya tədqiqatları göstərdi ki, emulsiyalarda suyun tərkibinin 40%-dən çox artması bütün temperatur diapazonunda özlülüyün əhəmiyyətli dərəcədə artmasına səbəb olur. Həmçinin göstərilir ki, sulaşmanın artması neftin donma temperaturunu $7\div 14^{\circ}\text{C}$ artırır.

Açar sözlər: özlülük, emulsiya, sulaşma, soyuma tempi, reoloji xassələr, qatran, asfaltənlər, parafinlər, axma əyriləri.

О влиянии темпа охлаждения на реологические свойства обводненных нефтей

Ф.Б. Исмайлова, Г.А. Зейналова

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг, 16/21, Баку, AZ1010, Азербайджан)

Аннотация

В статье приведены результаты исследований по изучению влияния фактора обводненности темпа охлаждения на реологические свойства аномальных нефтей. Лабораторные исследования показали, что увеличение содержания воды в эмульсиях более 40% приводит к значительному росту вязкости во всем температурном диапазоне. Показано, что увеличение обводненности повышает температуру застывания нефти на $7-14^{\circ}\text{C}$.

Ключевые слова: вязкость, эмульсия, обводненность, темп охлаждения, реологические свойства, смола, асфальтены, парафины, кривые течения.

Введение

Опыт эксплуатации нефтяных месторождений показывает, что в системах сбора и транспортировки продуктов скважин в силу обводненности нефтей часто образуются нефтяные эмульсии с аномальными свойствами [1, 2].

Проведены лабораторные исследования по изучению особенностей влияния обводненности аномальных нефтей на реологические свойства эмульсий. В качестве объекта исследования выбрана смолистая и высокопарафинистая дегазированная нефть, состав которой представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические свойства исследуемой дегазированной нефти

Table 1 – Physical and chemical properties of the studied degassed oil

Плотность при 20°С, г/см ³	Вязкость динамическая, мПа*с при температуре			Вязкость кинематическая, мм ² /с при температуре			Содержание, % вес.		
	40°С	50°С	60°С	40°С	50°С	60°С	парафина	смол	асфальтенов
0,8459	5,5	0,9	7,56	18,6	13,2	9,23	17,15	9,12	0,68

Как видно из таблицы 1, исследуемая нефть характеризуется небольшими значениями плотности, высоким содержанием парафиновых углеводородов и асфальтосмолистых веществ до 25% вес, обусловивших высокую температуру ее застывания (30-32 °С), обводненностью 83%, осложняющие процессы подъема, промышленного сбора, предварительной и товарной подготовки нефти.

Цель работы

Исследования сырых нефтей различного происхождения отчетливо продемонстрировало различие их реологических свойств. Наиболее важная, с точки зрения применения, реологическая характеристика нефтей – это их вязкостные свойства (кривые течения), поскольку основные инженерные проблемы связаны с задачей транспортировки нефти на дальние расстояния. При этом следует учитывать, что сырая нефть – нестабильный материал, и ее рео-

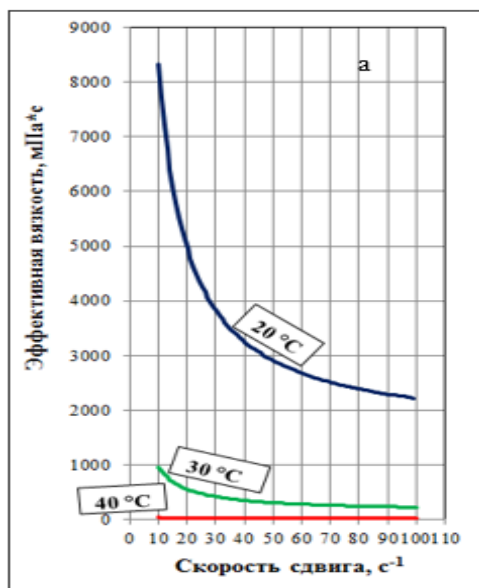
логические и транспортные характеристики зависят от предыстории материала, которая определяет состояние кристаллизующихся компонент. Кроме того, реологические свойства сырых нефтей могут быть очень разнообразными и в сильной степени зависящими от ее состава. Соответственно, реологические свойства сырой нефти варьируются от вязкой жидкости до вязкопластичной среды с четко выраженным пределом текучести. К тому же реологические свойства многих нефтей в сильной степени чувствительны к изменению температуры, особенно если перекрываются температуры транспортировки и кристаллизации содержащихся в нефти парафинов [3-5].

Реологические испытания нефтей различной обводненностью были проведены на реометре MCR 502 в диапазоне температур от 20 до 50 °С. Кривые течения снимались вначале для безводной нефти, затем – обводненной на 10-90 %.

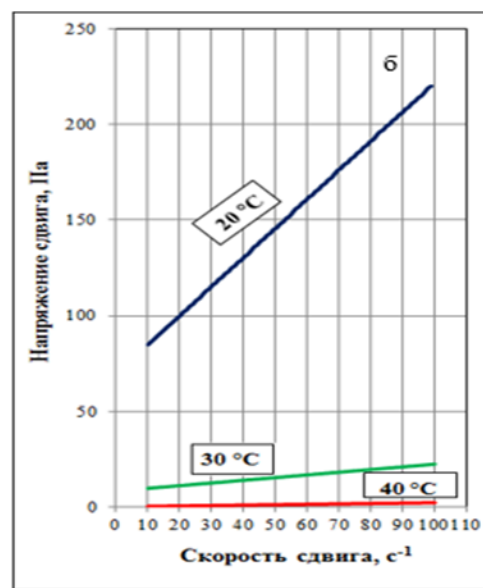
Постановка задачи

Из рис. 1, где показаны реологические параметры безводной нефти, видно, что исследуемая нефть при высоких температурах ведет себя как ньютоновская жидкость, так как структура в жидкости полно-

стью разрушается. При температуре ниже 40 °С вязкость увеличивается, проявляются аномально-вязкие свойства, в связи с кристаллизацией и ростом концентрации выделившихся парафинов в объеме нефти.



$$a) \mu = f(\dot{\gamma})$$



$$b) \tau = f(\dot{\gamma})$$

Рисунок 1 – Кривые течения безводной нефти при различных температурах
Figure 1 – Curves of flow of oil without water at various temperatures

Проведенные лабораторные исследования показали, что увеличение содержания пластовой воды в эмульсиях более 40 % приводит к значительному росту вязкости во всем температурном диапазоне.

Решение задачи

Реологические зависимости вязкости от скорости сдвига для эмульсии с различным содержанием пластовой воды (от 10 до 90 %) при разных температурах (от 20 до 50 °С) приведены на рис 2 и 3. Зависи-

мость вязкости нефти от температуры при различных ее обводненности представлены на рис. 3, вязкость эмульсии при температурах 40-50 °С слабо зависит от скорости сдвига, лишь при начальных скоростях от 10 до 20 с⁻¹ происходит снижение вязкости, далее кривые лежат параллельно оси скорости сдвига.

Эмульсии с содержанием воды 10 и 20 % по вязкости близки к исходной нефти во всем температурном интервале от +30 до 60 °С.

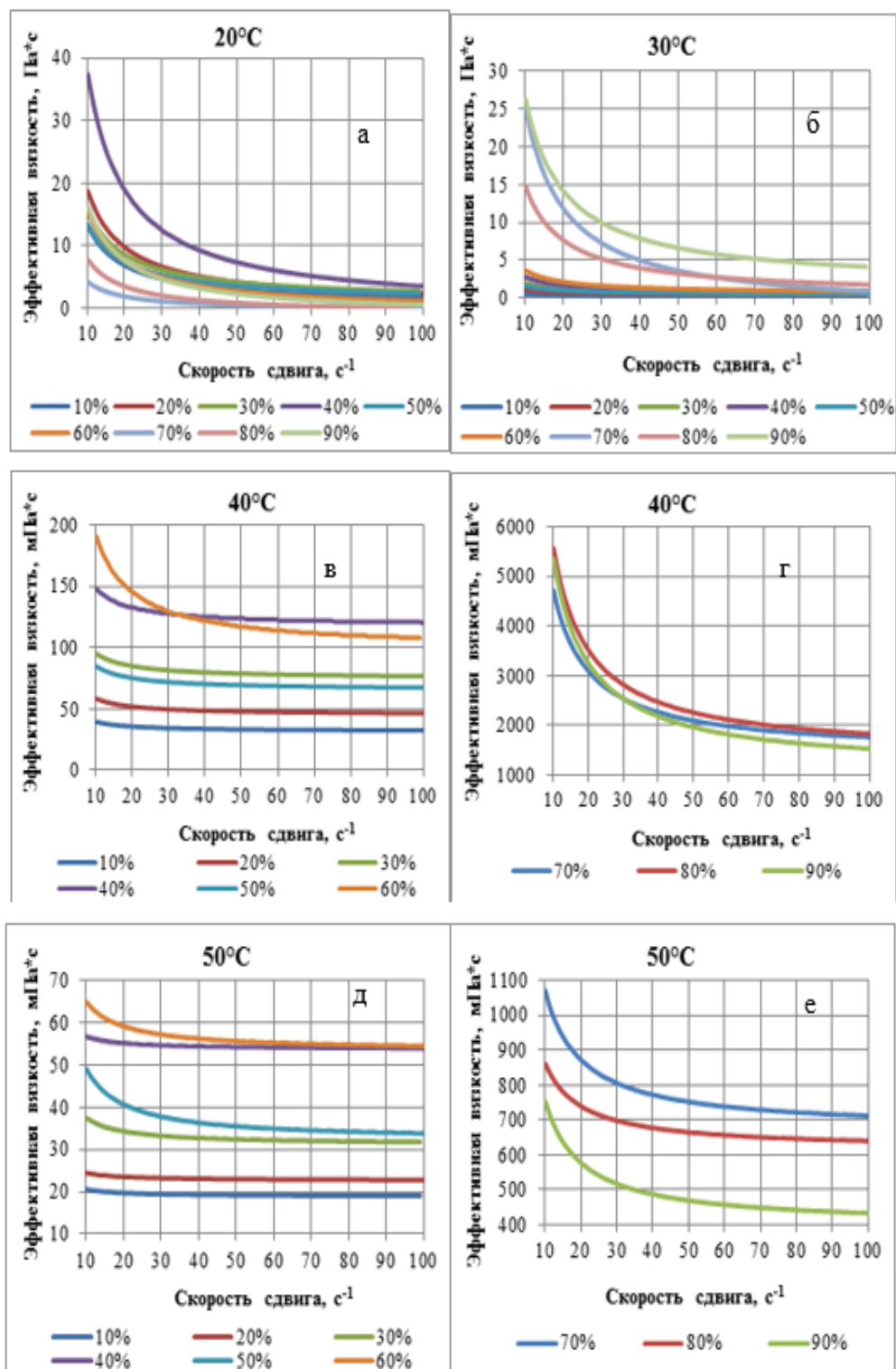


Рисунок 2 – а), б), в), г), д), е) - Зависимость эффективной вязкости нефтяной эмульсии различной обводненности от температуры

Figure 2 – a), b), c), d), e), f) - Dependence of the effective viscosity of an oil emulsion of various water cut on temperature

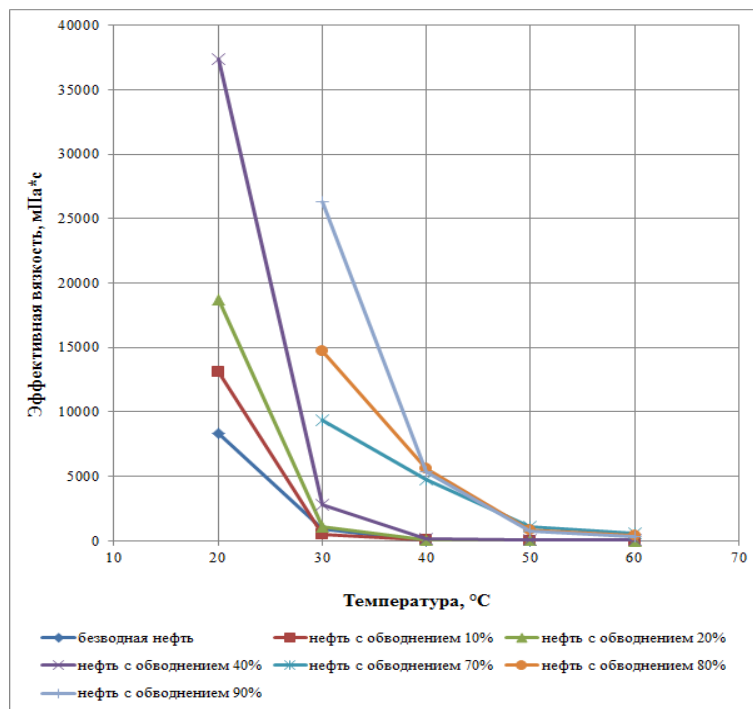


Рисунок 3 – Зависимость вязкости нефти от температуры при различных ее обводненностях

Figure 3 – Dependence of oil viscosity at various water cuts on temperature

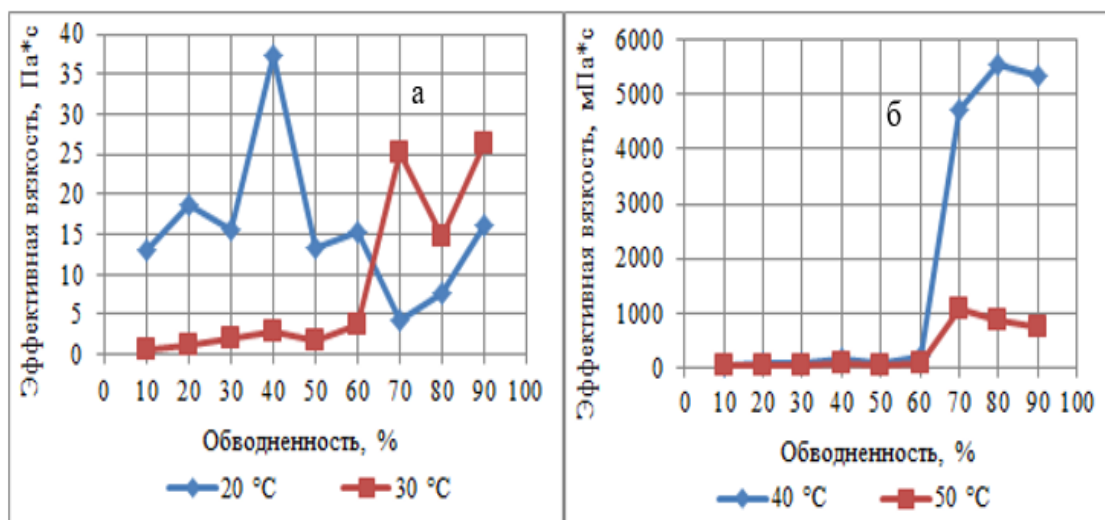


Рисунок 4 а), б) – Зависимость вязкости нефти от степени ее обводненности при разных температурах

Figure 4 a), b) – Dependence of oil viscosity on the degree of water cut at different temperatures

Увеличение содержания воды в нефти до 40 % существенно сказывается на вязкости эмульсии; при температурах +20 °C ÷ 50 °C – вязкость возрастает в 2-3 раза по

сравнению с исходной нефтью. Для эмульсий с содержанием воды от 40 до 70 % характерно существенное увеличение вязко-

сти на всем температурном диапазоне (рис. 4).

Проведены также специальные лабораторные исследования по изучению влияния темпа охлаждения на температуру застывания реологически сложных нефтей. Процесс охлаждения эмульсии различной обводненности 65÷90 % был проведен в лабораторных условиях в среде с постоянной температурой, в которой распределение температур задавался в диапазоне от 0 до 35 °С.

Пробирку с эмульсией, нагретой до 50°С, помещали в криостат (позволяет поддерживать заданную температуру) со смесью, охлажденной до 0 °С и засекали время. При достижении эмульсии температуры 35°С, секундомер останавливали и фиксировали значение времени, а исследование продолжали для определения температуры застывания. Аналогично повторяли исследования с эмульсией в криостате со смесью, охлажденной до 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 °С.

Результаты полученных значений времени охлаждений эмульсии при различных обводненностях и температурах в

криостате представлены в таблице 2. Из таблицы 2 видна линейная зависимость потери теплотворной способности эмульсии от изменения температуры окружающей среды. Чем выше температура окружающей среды, тем больше нужно времени для снижения температуры эмульсии от 50 до 35 °С.

Темп охлаждения характеризует относительную скорость изменения температуры тела во времени. Точность определения темпа охлаждения связана в основном с определением времени τ .

Используя полученные результаты (табл. 1), были вычислены значения темпа охлаждения по формуле:

$$m = \Delta t / \tau, \text{ } ^\circ\text{C}/\text{мин.}$$

где $\Delta t = 50 - 35 = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$; τ – время охлаждения эмульсии от 50 до 35 °С, мин.

Результаты вычислений значения темпа охлаждения и температуры застывания при различных обводненностях эмульсии представлены в таблице 3. Из таблицы 3 видно, что с повышением температуры окружающей среды наблюдается тенденция понижения темпа охлаждения эмульсии.

Таблица 2 – Время охлаждения (мин.) эмульсии при различных обводненностях и температурах в криостате

Table 2 – Cooling time (min.) of the emulsion at various water cuts and temperatures in the cryostat

Обводненность, %	Температура в криостате, °С							
	0	5	10	15	20	25	30	35
65	3,07	3,27	4,03	4,43	5,40	7,32	10,45	22,41
70	3,32	3,56	4,16	4,59	6,44	6,04	10,24	21,34
75	3,39	3,48	4,24	4,58	5,54	7,18	10,05	20,25
80	3,08	3,29	3,47	4,22	5,38	6,56	9,56	18,42
85	2,57	3,39	4,05	4,44	5,18	6,49	9,03	18,51
90	3,13	3,42	3,57	4,36	5,33	6,56	9,05	20,45

Таблица 3 – Температура застывания при различных обводненностях и темпах охлаждения эмульсии

Table 3 – Pour point temperature of the emulsion at different water cuts and cooling rates

Обводненность, %	Темп охлаждения, °С/мин.							
	Температура застывания, °С							
65	4,89	4,56	3,72	3,39	2,78	2,05	1,44	0,67
	39	39	38	38	38	38	37	37
70	4,52	4,21	3,61	3,27	2,48	2,33	1,46	0,70
	41	40	40	39	38	37	37	36
75	4,42	4,31	3,54	3,28	2,71	2,09	1,49	0,74
	40	41	41	40	39	39	37	38
80	4,87	4,56	4,32	3,55	2,79	2,29	1,57	0,81
	45	41	41	41	41	40	39	39
85	4,84	4,42	3,7	3,38	2,9	2,31	1,66	0,81
	42	45	45	45	45	45	44	44
90	4,79	4,39	4,2	3,44	2,81	2,29	1,66	0,73
	46	45	45	45	45	45	45	44

Заклучение

Таким образом, проведенные исследования по влиянию содержания воды в нефти на температуру застывания эмульсий показали, что увеличение обводненности повышает температуру застывания эмульсии на 7-14°С по сравнению с исходной нефтью. С увеличением темпа охлаждения

нефтяной эмульсии, температура застывания её повышается.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

REFERENCES

1. **Pozdnişev Q.N.** Stabilizasiya i razruşeniye neftyanıx emulsiy. M., 1982, 224 s. (in Russian)
2. **İsmayılov Q.Q., Serkebayeva B.S., Adıgezalova M.B.** O nekotorig problemax promıslvoy podqotovki nefti i vodi. Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərin Xəbərləri, cild 18, №1 (2016), s.29-38. (in Russian)
3. **Kasimov T.N.** Soverşenstvovanoye texnoloqii sbora i transporta parafinistıx neftey. Almatı, 2001, 180 s. (in Russian)
4. **Karabalin U.S., Kurbanbayev M.İ., Mullayev B.T.** i dr Soverşenstvovaniye promıslvoy podqotovki nefti na mestorojdeniyax s vıskoy obvodnennostyu produksi (na primere mestorojdeniya Uzen). Materialı mejdunarodnoy nauçno-praktičeskoj konferensii “Sovremennıye problemı nefteqazovoqo kompleksa Kazaxstana”. 2011, Aktau, tom 2, s. 574-582. (in Russian)
5. **İsmayılov Q.Q., Adıgözəlova M.B., İsmayılova F.B., Zeynalova G.A.** Ballastların neft qarışıqlarının makroskopik parametrlərinə təsirinin tədqiqi. Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, 2020, cild 12, № 1, s. 51-59 (in Azerbaijani)