

УДК 622.276.72

А.В. Козлов, К.А. Вяткин**A.V. Kozlov, K.A. Vyatkin**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОБРАЗОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАБОЙНЫХ И ЛИНЕЙНЫХ ПРОБ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ СКАЖИН

Рассматривается явление образования органических отложений при добыче нефти. Основным направлением борьбы с данным осложнением является разработка моделей прогнозирования парафинообразования при добыче и транспортировке флюида. На установке Wax Flow Loop проведены лабораторные исследования по оценке динамики образования органических отложений при исследовании забойных и линейных проб с одного добывающего объекта, а также предложены методы их сравнения. Показано, что при исследовании забойной пробы наблюдается более интенсивное образование парафина, а наиболее корректным способом оценки является интегрирование получаемой кривой парафинообразования.

Ключевые слова: органические отложения, кинетика, забой, нефть, скважина.

The paper considers the phenomenon of formation of organic deposits during oil production. The main direction of combating this complication is the development of models for predicting paraffin formation during fluid extraction and transportation. At the Wax Flow Loop installation, laboratory studies were conducted to assess the dynamics of organic sediment formation during the study of downhole and linear samples from one mining facility, and methods for their comparison were proposed. It is shown that during the study of the downhole sample, more intensive paraffin formation is observed, and the most correct way of evaluation is the integration of the resulting paraffin formation curve.

Keywords: organic deposits, kinetics, downhole, oil, well.

INVESTIGATION OF THE KINETICS OF FORMATION OF WAX DEPOSITION OF BOTTOM-HOLE AND LINEAR SAMPLES OF OIL-PRODUCING AREAS

Введение

В процессе добычи и транспортировки нефти возникает множество осложнений. Одним из наиболее распространенных осложнений является образование органических отложений, а именно асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) [1]. При формировании данных отложений в лифтовой колонне нефтедобывающей скважины ее эффективный диаметр уменьшается,

возрастает давление в системе и увеличивается нагрузка на нефтепромысловое оборудование [2].

Борьба с данными отложениями ведется двумя методами: предупреждение их образования и удаление сформированных отложений. Основной задачей современной нефтедобычи является разработка методов борьбы с данными отложениями. Однако для наиболее корректного выбора метода борьбы и способа его применения необходимо наличие исчерпывающих данных о кинетике образования органических отложений [3].

С этой целью разрабатывается множество моделей парафинообразования, позволяющих оценивать возможность образования органических отложений, распределение отложений по поверхности парафинообразования и скорость их накопления [4, 5]. В настоящее время не существует единой «верной» модели образования органических отложений – каждая из моделей корректно работает лишь в определенных условиях. Целью данной работы является исследование изменения кинетики образования органических отложений в лабораторном стенде Wax Flow Loop при исследовании забойных и линейных проб добываемого флюида. Также необходимо определить возможные механизмы оценки изменения кинетики при исследовании забойной и линейной пробы.

Материалы и методы

Лабораторные исследования по оценке кинетики образования органических отложений выполнялись на установке Wax Flow Loop. Данная установка, приведенная на рис. 1, состоит из насоса (*a*), дифманометра (*b*), гидравлического контура (*c*), снабженного охлаждающей «рубашкой» (*d*), сырьевой емкости (*h*), охлаждающей «рубашки» сырьевой ёмкости (*m*) и датчика уровня жидкости (*i*). С целью контроля температуры в «рубашках» *d* и *m* используются циркуляционный термостаты *e* и *g* соответственно. Контроль массового расхода жидкости и ее плотности осуществляется расходомером (*f*).

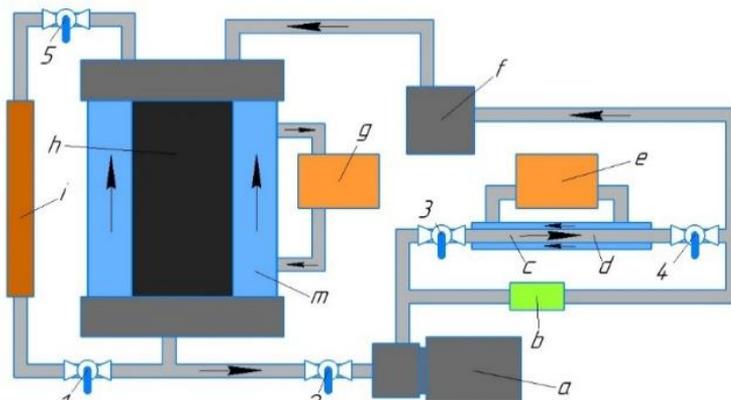


Рис. 1. Гидравлическая схема установки Wax Flow Loop

Данная установка предназначена для проведения исследований при создании необходимых термобарических условий. Принцип работы данной установки состоит в регистрации перепада давления между входом и выходом из тестовой секции и применении уравнения Пуазейля для оценки толщины органических отложений (выражение 1). Вязкость нефти определяется аналогичным методом в условии равенства температур поверхности тестовой секции и исследуемого флюида, что предупреждает образование исследуемых органических отложений. Для оценки корректности проводимого исследования также регистрируется множество других параметров.

$$d = \left(\frac{Q \cdot 128 \cdot \eta \cdot l}{\pi \cdot \Delta P} \right)^{1/4}, \quad (1)$$

где ΔP – перепад давления в трубопроводе, МПа; Q – объемный расход смеси, м³/с; η – вязкость смеси, м²/с; l – длина трубы, м; d – диаметр трубы, м.

Лабораторные исследования проводились на забойной и пластовой пробе пластового флюида со скважины «Х». Их свойства представлены в таблице.

Физико-химические свойства исследуемой нефти

Объемный коэффициент, д. ед.		1,084
Содержание, %	Парафина	3,35
	Смол и асфальтенов	21,08
Плотность ρ_n , кг/м ³	Устьевая	873
	Пластовая	847
Вязкость, мПа·с	Устьевая	13,17
	Пластовая	5,41

Результаты

В результате проведения лабораторных исследований получены графики кинетики образования органических отложений для забойных и линейных проб (рис. 2). Стоит отметить, что условия проведения лабораторных исследований для различных проб были идентичны, что обуславливает возможность сравнения полученных результатов.

Данные графики иллюстрируют различие в интенсивности парафинообразования при исследовании различных проб. Как можно заметить, скорость и характер роста толщины органических отложений у данных графиков условно схожи, однако у забойной пробы наблюдается более значительная скорость парафинообразования. Особенностью проведения исследований на рассматриваемом лабораторном стенде является возможность исследования

только однофазной жидкости. Соответственно забойные пробы пластового флюида исследуется при удалении из них свободного газа.

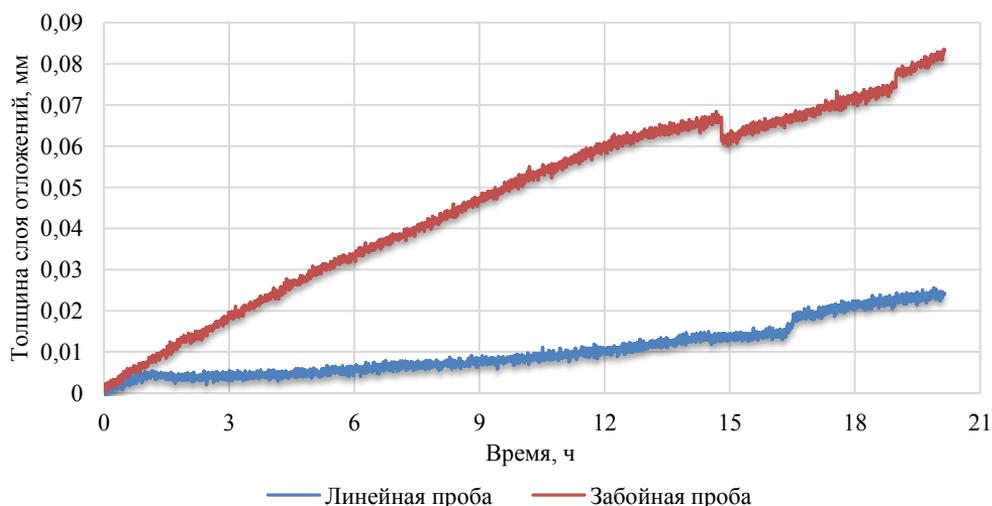


Рис. 2. Результат проведенных исследований

Далее предложено три варианта оценки снижения интенсивности парафинообразования при переходе от забойной пробы к устьевой:

1. Построение линейной линии тренда, оценка и сравнение углов наклона прямой к оси абсцисс.
2. Интегрирование полученных графиков и сравнение полученных площадей под графиками.
3. Выбор наибольшей толщины органических отложений для каждого графика и сравнение данных величин.

Недостатком использования первого метода является невозможность описания линейным законом большого числа экспериментально полученных кривых «толщина слоя отложений – время». Недостатком второго метода является его трудоёмкость, а третьего – использование лишь одной точки, без учета всей рассматриваемой кривой.

При исследовании линейной пробы первым методом снижение интенсивности образования парафина составляет 77,27 %, вторым методом – 61,80 %, а при использовании третьего – 70,97 %.

Заключение

Анализ и сравнение полученных графиков может стать значительным шагом в процессе формирования корректных методик моделирования процесса парафиноотложения. Одновременное исследование забойных и линей-

ных проб может позволить оценивать процесс парафинообразования во всей системе сбора месторождения, без необходимости исследования каждого участка в отдельности. Предложенные методики исследования необходимы для корректной оценки изменения динамики парафинообразования двух проб, среди них наиболее достоверной принимается методика интегрирования. Причиной этому является учет всего интервала парафинообразования и возможность применения к любому виду графиков.

Список литературы

1. Influences of the water cut of pumping oil and the mineralization of the associated water on the rate of sludging / K. Vyatkin [et al.] // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11, no. 15. – P. 6678.
2. Krivoshchekov S.N., Vyatkin K.A., Kozlov A.V. Modeling of asphaltene-resin-wax deposits formation in a string of hollow rods during simultaneous separate operation of two oil reservoirs // Chemical and Petroleum Engineering. – 2021. – P. 1–7.
3. Sousa A.L., Matos H.A., Guerreiro L.P. Preventing and removing wax deposition inside vertical wells: a review // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. – 2019. – Vol. 9, no. 3. – P. 2091–2107.
4. Occurrence and characterization of paraffin wax formed in developing wells and pipelines / M.M. El-Dalatony [et al.] // Energies. – 2019. – Vol. 12, no. 6. – P. 967.
5. Application of the avrami theory for wax crystallisation of synthetic crude oil / A. Hosseinipour [et al.] // International Journal of Engineering. – 2019. – Vol. 32, no. 1. – P. 18–27.

Получено 21.09.2021.

Козлов Антон Вадимович – студент, кафедра «Нефтегазовые технологии», горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский университет, e-mail: anton.kozlov@girngm.ru.

Вяткин Кирилл Андреевич – аспирант, кафедра «Нефтегазовые технологии», горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский университет, e-mail: krill.vyatkin@girngm.ru.

Научный руководитель **Илюшин Павел Юрьевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Нефтегазовые технологии», Пермский национальный исследовательский политехнический университет.