

УДК 622.276.64

МРНТИ 52.47.17

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108627>

Получена: 23.11.2022.

Одобрена: 13.03.2023.

Опубликована: 30.03.2023.

Оригинальное исследование

Методы оценки эффективности химических методов увеличения нефтеотдачи трассерными исследованиями SWCTT и PITT

Ю.А. Келлер, А.А. Усков

Инжиниринговый центр ООО «Сиам Мастер», г. Томск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В России, как и в мире в целом, растёт число нефтяных месторождений, находящихся на последней стадии разработки и характеризующихся высоким показателем обводнённости добываемой продукции. Для продления срока их рентабельной эксплуатации требуется переход от классического заводнения к применению химических методов увеличения нефтеотдачи (далее – МУН), что подразумевает предварительную оценку их потенциальной эффективности.

Цель. Подбор и оценка химических композиций, тестирование на керновых материалах с последующей рекомендацией эффективных составов.

Материалы и методы. В статье приводится описание технологий SWCTT и PITT (Partitioning Inter-Well Tracer Test), а также дается оценка места этих технологий в цепочке реализации химических МУН от лабораторных экспериментов до коммерческой реализации. Метод SWCTT (Single Well Chemical Tracer Test) был разработан в 1970-х гг. как средство для оценки остаточной нефтенасыщенности в призабойной зоне скважины после применения методов увеличения нефти. Этот метод базируется на использовании разделяющегося нефтерастворимого индикатора, который в призабойной зоне скважины образует вторичный неразделяющийся водорастворимый индикатор благодаря процессу гидролиза. Оценка остаточной нефтенасыщенности осуществляется по задержке во времени прихода нефтерастворимого и водорастворимого индикаторов.

Результаты. В результате выполнения пилотного проекта получен опыт реализации технологии SWCTT для оценки эффективности ПАВ-заводнения на добывающей нефтяной скважине одного из месторождений Ханты-Мансийского автономного округа.

Заключение. Оценка и эффективность технологии с подобранными составами с использованием моделирования и применением альтернативных трассерных методов SWCTT/PITT доказана промысловыми испытаниями.

Ключевые слова: полимерное заводнение, химические методы увеличения нефтеотдачи, оценка эффективности МУН, SWCTT, PITT.

Как цитировать:

Келлер Ю.А., Усков А.А. Методы оценки эффективности химических методов увеличения нефти трассерными исследованиями SWCTT и PITT // *Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана*. 2023. Том 5, №1. С. 47–56. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108627>.

UDC 622.276.64

CSCSTI 52.47.17

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108627>

Received: 23.11.2022.

Accepted: 13.03.2023.

Published: 30.03.2023.

Original article

The methods for evaluating the efficiency of EOR by SWCTT & PITT tracer tests

Yuriy A. Keller, Alexander A. Uskov

Engineering Center, Siam Master LLC, Tomsk, Russia

ABSTRACT

Background: In Russia, as well as in the whole world, the number of oil fields that at the last stage of development and characterized by a high water cut of the production is growing. In order to extend the period of their cost-effective operation, a transition from classical waterflooding to the use of chemical methods to enhanced oil recovery (hereinafter - EOR) is required, which implies a preliminary assessment of their potential effectiveness.

Aim: To select and evaluate chemical compositions, test on core materials with subsequent recommendation of effective compositions.

Materials and methods: This paper reviews a description of the SWCTT and PITT and evaluation is made of the place of these technologies in the chain of implementation of EOR from laboratory experiments to commercial implementation. The SWCTT method was developed in the 1970s to measure residual oil saturation in the near-wellbore zone after the application of oil enhancement methods. This method is based on the use of partitioning oil-soluble tracer, which forms a secondary non-separable water-soluble traces in the near-wellbore zone due to the hydrolysis process. Evaluation of residual oil saturation is carried out by the time delay in the arrival of the oil and water partitioning tracers.

Results: As a result of the pilot project, experience was gained in implementing SWCTT technology to evaluate the effectiveness of surfactant flooding at a producing oil well in one of the fields of the Khanty-Mansiysk Autonomous Region.

Conclusion: The evaluation and effectiveness of the technology with the selected formulations using simulation and the use of alternative SWCTT/PITT tracer methods has been proven by field tests.

Keywords: *polymer flooding, chemical methods of enhanced oil recovery, evaluation of EOR efficiency, SWCTT, PITT.*

To cite this article:

Keller YA, Uskov AA. The methods for evaluating the efficiency of EOR by SWCTT & PITT tracer tests. *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. 2023;5(1):47–56. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108627>.

ӨЖ 622.276.64

ҒТАХР 52.47.17

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108627>

Қабылданды: 23.11.2022.

Мақұлданды: 13.03.2023.

Жарияланды: 30.03.2023.

Түпұнса зерттеу

SWCTT және PITT трассерлік зерттеулерімен мұнай беруді арттырудың химиялық әдістерінің тиімділігін бағалау әдістері

Ю.А. Келлер, А.А. Усков

«Сиам Мастер» ЖШҚ Инжинирингтік орталық, Томск қаласы, Ресей

АННОТАЦИЯ

Негіздеу. Ресейде, жалпы әлемдегі сияқты, игерудің соңғы сатысында тұрған және өндірілетін өнімнің сулануының жоғары көрсеткішімен сипатталатын мұнай кен орындарының саны өсуде. Олардың тиімді қызмет ету мерзімін ұзарту үшін классикалық су тасқынынан мұнай өндіруді арттырудың химиялық әдістерін қолдануға көшу қажет, бұл олардың әлеуетті тиімділігін алдын ала бағалауды білдіреді.

Мақсаты. Химиялық композицияларды таңдау және бағалау, кейіннен тиімді құрамдарды ұсына отырып, кен материалдарында тестілеу.

Материалдар мен әдістер. Мақалада SWCTT и PITT (Partitioning Inter-Well Tracer Test) технологияларының сипаттамасы келтірілген, сонымен қатар зертханалық тәжірибелерден бастап коммерциялық іске асыруға дейінгі химиялық МБАӨ тізбегіндегі осы технологиялардың орны бағаланады. SWCTT (Single Well Chemical Tracer Test) әдісі 1970 жылдары мұнайды ұлғайту әдістерін қолданғаннан кейін ұңғыманың төменгі аймағында қалдық мұнайдың қанықтылығын бағалау құралы ретінде жасалды. Бұл әдіс гидролиз процесінің арқасында ұңғыманың төменгі аймағында екінші бөлінбейтін суда еритін индикаторды құрайтын бөлінетін мұнайда еритін индикаторды қолдануға негізделген. Мұнайдың қалдық қанықтылығын бағалау мұнайда еритін және суда еритін индикаторлардың келу уақытының кешігуі бойынша жүзеге асырылады.

Нәтижелері. Пилоттық жобаны орындау нәтижесінде Ханты-Мансийск автономиялық округінің кен орындарының бірінің өндіруші мұнай ұңғымасында ББЗ-сулану тиімділігін бағалау үшін SWCTT/PITT технологиясын іске асыру тәжірибесі алынды.

Қорытынды. Модельдеуді қолдана отырып және SWCTT/PITT альтернативті трассерлік әдістерін қолдана отырып, таңдалған құрамдармен технологияны бағалау және тиімділігі кәсіпшілік сынақтармен дәлелденген.

Негізгі сөздер: полимерлі суландыру, мұнай беруді арттырудың химиялық әдістері, МБАӨ тиімділігін бағалау, SWCTT, PITT.

Дәйексөз келтіру үшін:

Келлер Ю.А., Усков А.А. SWCTT және PITT трассерлік зерттеулерімен мұнай беруді арттырудың химиялық әдістерінің тиімділігін бағалау әдістері // *Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы*. 2023. 5 том, №1. 47–56 б. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108627>.

Введение

Энергетическая стратегия Российской Федерации до 2030 г. предполагает совершенствование технологий добычи нефти, в т.ч. и современных химических методов увеличения нефтеотдачи (далее – ХМУН), для увеличения коэффициента извлечения нефти¹. Перед нефтяной промышленностью ставится задача не только разработки новых технологий ХМУН, но и обеспечения оценки эффективности методов на стадии пилотного проекта для снижения экономических рисков на этапе их промышленного тиражирования. Такой перспективной технологией является технология Single Well Chemical Tracer Test (далее – SWCTT).

Теоретические основы метода

Данная технология показала свою эффективность в оценке остаточной нефтенасыщенности после применения МУН [1]. Практическая реализация технологии была осуществлена в 1971 г. Г.А. Динном [2] и быстро получила свое промышленное применение, в первую очередь, на территории США.

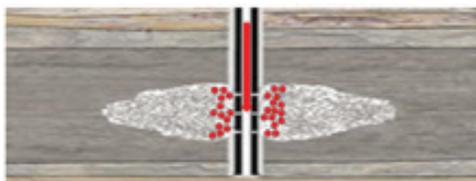
Полный цикл внедрения ХМУН на месторождении может занимать от 5 до 10 лет. Одними из важных этапов в реализации проекта являются подбор химических композиций и тестирование на керновых образцах с последующей рекомендацией эффективных составов к проектированию заводнения на месторождении. Следующим необходимым этапом является проведение промысловых испытаний подобранных химических составов на месторождении с дальнейшей оценкой эффективности мероприятий посредством моделирования, анализа дополнительной добычи нефти, а также альтернативных трассерных технологий (SWCTT, Partitioning Interwell Tracer Test (далее – PITT)). По итогам доказанного эффекта от ХМУН принимается решение о переходе на масштабное заводнение месторождений.

Суть SWCTT сводится к закачке в скважину нефтерастворимого разделяющего индикатора (далее – НИИ) с последующей продавкой на глубину 2–6 м в призабойную зону пласта (далее – ПЗП). Во время технологического отстоя скважины в результате химической реакции гидролиза в ПЗП образуется водорастворимый неразделяющийся индикатор

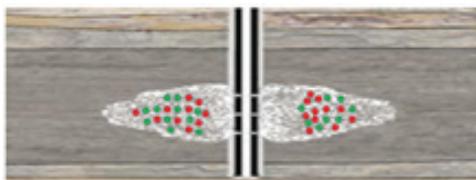
(далее – ВНИ). После того как исследуемая скважина запущена в работу и произведен отбор проб на содержание в них индикаторов, по времени задержки между приходом НИИ и ВНИ определяется остаточная нефтенасыщенность пласта [3]. Необходимо отметить, что при оценке остаточной нефтенасыщенности делается предположение о плоскорадиальной фильтрации флюида в районе призабойной зоны исследуемой скважины. Если по каким-либо причинам это условие нарушается, в величине оценки остаточной нефтенасыщенности появляется неопределенность.

Схематично принцип действия технологии показан на рис. 1.

Ввод разделяющего индикатора (**этилацетат**)
Entering separating tracer (**ethyl acetate**)



Образование **этанол** в процессе гидролиза
Ethanol formation during hydrolysis



Вынос **этилацетата** и **этанола** при запуске скважины / Ethyl acetate and ethanol export during launch of the well

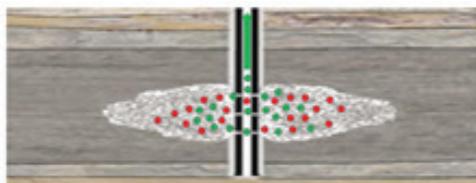


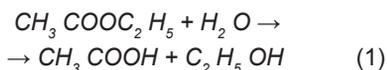
Рисунок 1. Принцип действия технологии SWCTT

Figure 1. The mechanism of SWCTT technology

¹ Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 г.

№ 1715-р «Об Энергетической стратегии России на период до 2030 г.».

Опыт применения данной технологии показал, что наиболее часто в качестве НРИ применяется этиловый эфир уксусной кислоты $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$ (этилацетат). После ввода в скважину и продавки в пласт в результате реакции гидролиза (1) образуется ВНИ – этанол $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.



Помимо этого, при реализации технологии SWCTT используются ещё два индикатора: кавер-индикатор (далее – КИ) и индикатор массового баланса (далее – ИМБ). КИ используется при интерпретации для качественной оценки корректности определения остаточной нефтенасыщенности, а также в случае, если НРИ не вышел на дневную поверхность после запуска скважины в работу, а ИМБ используется для оценки времени завершения исследования. Обычно в качестве КИ используется *n*-пропанол $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$, а в качестве ИМБ – изопропанол $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$ [4].

Описание хода работ на месторождении

Классическая схема проведения SWCTT состоит из следующих этапов [5]:

1. *Большеобъёмная закачка.* Целью этапа является снижение текущей нефтенасыщенности до остаточной путём закачки в скважину больших объемов воды (как правило, от 3 до 5 поровых объемов исследуемой зоны).

2. *Закачка индикаторов.* Целью этапа является размещение в ПЗП триплета индикаторов: НРИ, КИ и ИМБ.

3. *Продавка индикаторов.* Продавка закачанных индикаторов в ПЗП на глубину исследования от 2 до 6 м осуществляется объемом воды с растворенным в нём ИМБ.

4. *Технологический отстой скважины.* Во время технологического отстоя совершается химическая реакция гидролиза (1) в ПЗП скважины с выделением продукта реакции этанола. Этап длится несколько дней.

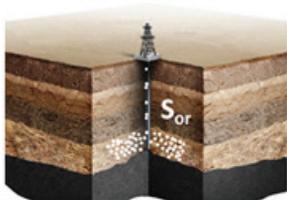
5. *Запуск скважины в работу.* Во время этого осуществляется отбор проб и определение в них содержания индикаторов.

Поскольку интенсивность гидролиза зависит от pH среды в окрестности ПЗП исследуемой скважины, важным является корректная оценка интенсивности гидролиза во время подготовки к проведению SWCTT. Также во время лабораторных исследований определяется коэффициент разделения НРИ (этилацетат) между нефтью и водой. Измерение данных параметров должно быть выполнено в условиях, аналогичных условиям исследуемого пласта (температура, давление, минерализация и соотношение фаз флюида).

Межскважинные трассерные исследования (PITT) применяются с аналогичной целью, однако разделяющийся химический трассер и неразделяющийся, инертный к межскважинной среде, трассер закачиваются в нагнетательную скважину, и по времени задержки их выхода также оценивается нефтенасыщенность в ячейке заводнения. Принципиальные отличия технологий SWCTT и PITT проиллюстрированы на рис. 2 и в табл. 1.

Интерпретация результатов исследования начинается с построения зависимостей концентрации закачанных индикаторов в ПЗП добывающей скважины от накопленной за период проведения исследования добычи жидкости. Получаемые типовые зависимости показаны на рис. 3.

Single Well Chemical Tracer Test



Partitioning Inter-Well Tracer Test

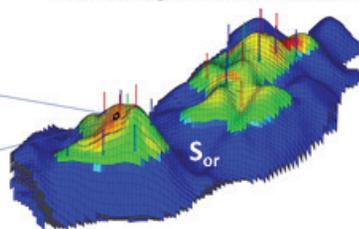


Рисунок 2. Отличия технологий SWCTT и PITT
Figure 2. Differences between SWCTT and PITT technologies

Таблица 1. Сравнительная характеристика технологий SWCTT и PITT
Table 1. Comparative characteristics of SWCTT and PITT technologies

Технология SWCTT / SWCTT technology	Технология PITT / PITT technology
Зона охвата составляет от 3 до 5 м Coverage area is 3 to 5 m	Зона охвата составляет от 100 до 500 м Coverage area is 100 to 500 m
Позволяет оценить остаточную нефтенасыщенность Evaluates residual oil saturation	Позволяет оценить остаточную нефтенасыщенность и установить факт наличия гидродинамической связи Evaluates residual oil saturation and establishes the hydrodynamic connection
Позволяет оценить эффективность ХМУН Evaluates the effectiveness of EOR	Позволяет оценить эффективность ХМУН / заводнения Evaluates the effectiveness of EOR/ water flooding
Позволяет минимизировать риски и вовремя отказаться от масштабного внедрения технологии при недоказанном эффекте Minimizes risks and timely rejection of large-scale implementation of the technology in case of unproven effect	Позволяет произвести корректировку гидродинамической модели Adjusts the hydrodynamic model
Длительность исследования составляет около 1 мес. Study period is about 1 month	Длительность исследования составляет около 1 г. Study period is about 1 year

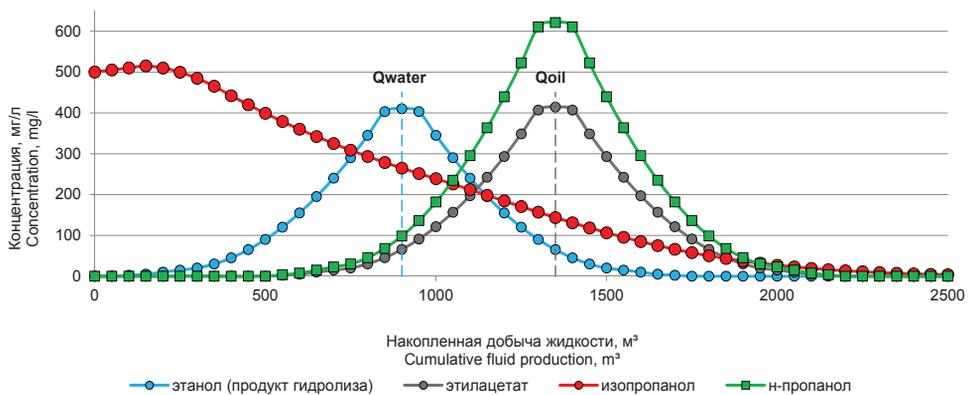


Рисунок 3. Зависимость концентраций индикаторов от накопленной добычи жидкости
Figure 3. Dependence of tracer concentrations on cumulative fluid production

На приведенных выше зависимостях выбираются значения накопленной добычи жидкости, соответствующие экстремумам кривых концентраций (значения Q_{oil} и Q_{water}). Зная коэффициент разделения K_d и объем ствола скважины δ , величину коэффициента остаточной нефтенасыщенности ($K_{н.о.}$) (в англ. литературе S_{or}) можно определить по формуле (2) [6].

$$K_{н.о.} = \frac{((Q_{oil} - \delta)/(Q_{water} - \delta) - 1)}{((Q_{oil} - \delta)/(Q_{water} - \delta) - 1 + K_d)} \quad (2)$$

где

Q_{oil} – накопленная добыча жидкости, соответствующая экстремуму на кривой этилацетата, м³;

Q_{water} – накопленная добыча жидкости, соответствующая экстремуму на кривой этанола, м³;

δ – объем ствола скважины, м³;

K_d – коэффициент разделения этилацетата нефтью и водой, ед.

Целью проводимых работ являлось исследование остаточной нефтенасыщенности пласта в ПЗП добывающей скважины одного из месторождений Ханты-Мансийского автономного округа до закачки поверхностно-активных веществ (далее – ПАВ) и после с последующей оценкой эффективности ПАВ-композиции.

Работы по определению $K_{н.о.}$ были проведены в 2021 г. На рис. 4 показано расположение технологических ёмкос-



Рисунок 4. Расположение оборудования на месторождении для выполнения SWCTT
Figure 4. Location of equipment in the field to perform SWCTT

тей, агрегатов и оборудования для проведения SWCTT. Для замеса индикаторов использовались установка «КУДР» и три ёмкости по 50 м³ каждая, для продавки химических индикаторов в пласт использовался цементировочный агрегат ЦА-320,

анализ отобранных проб осуществлялся в мобильной химико-аналитической лаборатории (далее – ХАЛ), расположенной в непосредственной близости от объекта выполнения работ.

Основные параметры исследования приведены в табл. 1. Общий объём воды для проведения большеобъёмной закачки составил 3 поровых объёма исследуемой зоны для снижения текущей нефтенасыщенности до остаточной в пределах радиуса исследования (~5 м). Закачка в скважину композиций индикаторов производилась с расходом 6,6 м³/ч, не превышая затрубного давления и давления опрессовки. Коэффициент разделения, определенный в ХАЛ при пластовой температуре 870°С, составил 3,465. Между SWCTT № 1 и № 2 была произведена закачка ПАВ-композиции в объёме 60 м³.

Таблица 2. Основные параметры SWCTT
Table 2. Main parameters of SWCTT

Операции / Operations	SWCTT #1	SWCTT #2
Большеобъёмная закачка / Large-volume injection		
Минерализация, мг/л / Salinity, mg/l	13210	13210
Общее количество закачанной воды, м ³ / Total amount of water injected, m ³	180	180
Закачка индикаторов в скважину / Injection of tracers into the well		
Концентрация этилацетата / н-пропанола / изопропанола, мг/л / Concentration of ethyl acetate / n-propanol / isopropanol, mg/l	9200 / 4150 / 2800	9200 / 4150 / 2800
Общее количество закачанного раствора, м ³ / Total amount of injected solution, m ³	28	28
Продавка индикаторов в призабойную зону / Tracer sales to the near-wellbore zone		
Концентрация изопропанола, мг/л / Concentration of isopropanol, mg/l	2800	2800
Общее количество закачанного раствора, м ³ / Total amount of injected solution, m ³	60	60
Технологический отстой скважины / Technological settling of the well		
Продолжительность, сут / Duration, days	1,9	2,3
Работа скважины / Well operation		
Дебит скважины, м ³ /сут / Продолжительность, сут / Flow rate of the well, m ³ /day / Duration, days	129–157 / 0,9	112–130 / 1
Накопленная добыча жидкости, м ³ / Cumulative fluid production, m ³	126	121

Аналитическая интерпретация данных из ХАЛ на содержание индикаторов в пробах заключалась в исследовании характера поведения кривых концентраций индикаторов – этилацетата и этанола, выделения объёмов жидкости, соответствующих экстремумам на кривых концентраций, с последующим расчетом Кн.о. по формуле (2). Замеренные значения концентраций индикаторов пока-

заны на рис. 5. Рис. 5а демонстрирует поведение кривых концентраций во время проведения первого SWCTT, а рис. 5б – во время второго SWCTT после применения ПАВ-композиции. По оси абсцисс графиков отложена накопленная добыча жидкости, а по оси ординат – концентрации индикаторов. Исходные данные для применения (2) и полученные величины Кн.о. приведены в табл. 2.

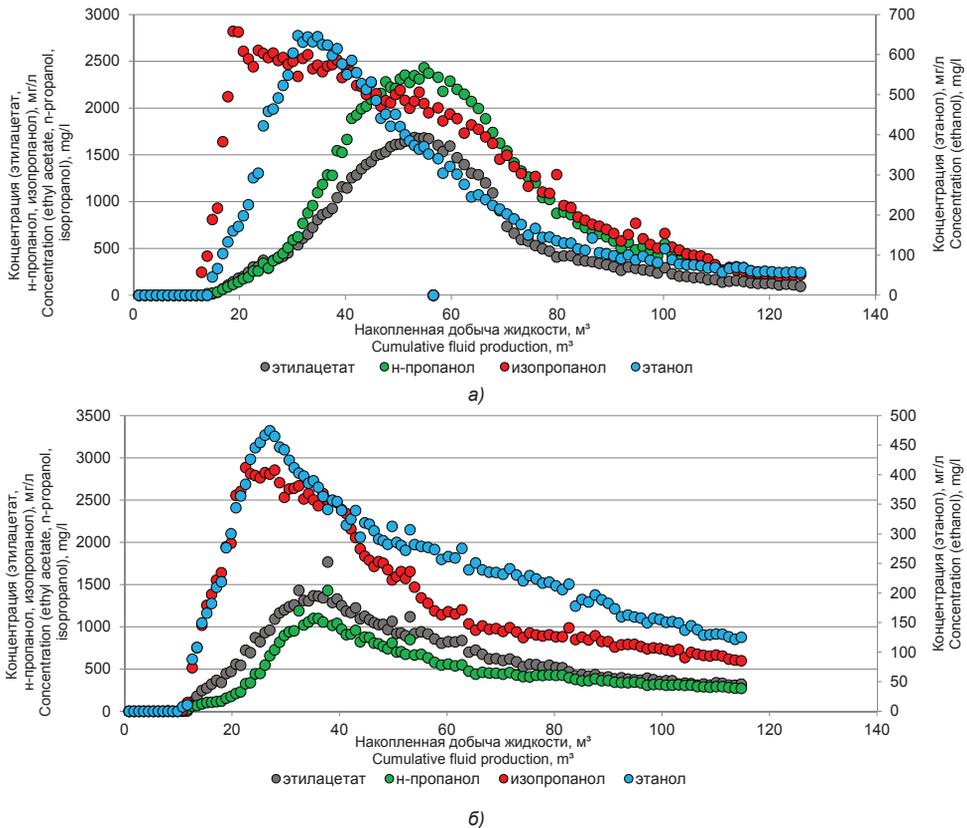


Рисунок 5. Концентрации индикаторов этилацетата и этанола во время проведения SWCTT
Figure 5. Ethyl acetate and ethanol tracer concentrations during SWCTT
 а) SWCTT №1; б) SWCTT №2

Таблица 3. Значения исходных данных для расчета остаточной нефтенасыщенности
Table 3. Values of initial data for calculation of residual oil saturation

Параметр / Parameter	SWCTT №1	SWCTT №2
Накопленная добыча жидкости, соответствующая экстремуму на кривой концентрации этилацетата (Qoil), м³ / этанола (Qwater), м³ / Cumulative fluid production relevant to the extremum on the concentration curve of ethyl acetate (Qoil), m³ / ethanol (Qwater), m³	53,53 / 34,65	35,93 / 27,79
Объем ствола скважины (δ), м³ / Wellbore volume (δ), m³	17,2	12,95
Кэффициент разделения нефтью и водой этилацетата (Kd), ед. / Oil/water partition coefficient of ethyl acetate (Kd), units.	3,465	3,465
Остаточная нефтенасыщенность (Кн.о.), д. ед. / Residual oil saturation (ROS), d, units	0,24	0,14

Оценка эффективности мероприятий по применению ПАВ-композиции осуществлялась по формуле (3):

$$\Delta K_{н.о.} = \left(\frac{K_{н.о.}^1 - K_{н.о.}^2}{K_{н.о.}^1} \right) \times 100 \quad (3)$$

где $K_{н.о.}^1$ – остаточная нефтенасыщенность до применения ПАВ-композиции, д. ед.;

$K_{н.о.}^2$ – остаточная нефтенасыщенность после применения ПАВ-композиции, д. ед.;

$\Delta K_{н.о.}$ – эффективность применения ПАВ-композиции, %.

В случае, если по итогам проведения двух тестов будет наблюдаться снижение Кн.о. в исследуемой ПЗП скважины, то применение ПАВ-композиции демонстрирует свою эффективность. Для данного

состава ПАВ-композиции продемонстрирована эффективность, величина которой, согласно (3), составила 42%. В целом полученный результат оценки эффективности ПАВ-композиции показал схожий интервал величин с работами, проведенными за рубежом [2, 6].

Выводы

В данной статье проанализирован опыт применения ПАВ-композиции на одной добывающей нефтяной скважине месторождения, находящегося на территории Ханты-Мансийского автономного округа, и дана оценка её эффективности с помощью SWCTT. Ключевыми аспектами являются:

1. Технология проведения работ (выбранный триплет химических индикаторов, технологические объемы продавки, входные концентрации индикаторов, дискретность отбора проб) показала свою при-

менимость в условиях рассматриваемого месторождения.

2. До закачки ПАВ-композиции остаточная нефтенасыщенность призабойной зоны пласта в районе исследуемой скважины составила 0,24 д. ед., после закачки ПАВ-композиции – 0,14 д. ед. Относительное уменьшение остаточной нефтенасыщенности составило 42%.

3. Проведенные работы показали востребованность технологии SWCTT на этапе между лабораторными исследованиями эффективности ПАВ-композиции на керновом материале и масштабным внедрением ПАВ-полимерного заводнения на месторождении.

4. При доказанной эффективности химических композиций посредством SWCTT рекомендуется применять ПИТТ для оценки эффективности в масштабе ячейки заводнения.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующий образом: Усков А.А. – разработка основ проведения исследования, контроль за ходом его проведения, а также общая редакция рукописи статьи, Келлер Ю.А. – систематизация и обработка данных исследования, их анализ и последующая интерпретация данных исследования, написание статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. Alexander A. Uskov – development of the basics of research behavior, control and revision of the manuscript of the article; Yuriy A. Keller – systematization and processing of research data, their analysis and interpretation of research data, writing an paper.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Carlisle C., Al-Maraghi E., Al-Saad B., et al. One-Spot Pilot Results in the Sabriyah-Maaddud Carbonate Formation in Kuwait Using a Novel Surfactant Formulation. SPE Improved Oil Recovery Symposium; 2014 Apr 12; Tulsa, USA. Paper Number: SPE-169153-MS.

2. Deans H.A. Method of determining fluid saturations in reservoir. United States patent US 3623842. 1971.

3. Al-Abbad M.A., Sanni M.L., Kokal S., et al. A Step-Chance for Single Well Chemical Tracer Tests SWCTT: Field Pilot Testing of New Sets of Novel Tracers. SPE Annual Technical Conference and Exhibition; 2016 Sept 16; Dubai, UAE. Paper Number: SPE-181408-MS.
4. Al-Mutairi F., Tiwari S., Baroon B., et al. Simulation of Single Well Chemical Tracer Tests Conducted in Carbonate Reservoir. SPE Kuwait Oil & Gas Show and Conference; 2015 Oct 11; Mishref, Kuwait. Paper Number: SPE-175282-MS.
5. Deans H.A., Carlisle C. *Single-Well Chemical Tracer Test Handbook*. 2nd ed. Laramie, Wyoming: Chemical Tracers, Inc.
6. Jerauld G.R., Mohammadi H., Webb K.J. *Interpreting Single Well Chemical Tracer Tests*. SPE Improved Oil Recovery Symposium; 2010 Apr; Tulsa, USA. Paper Number: SPE-129724-MS.

REFERENCES

1. Carlisle C, Al-Maraghi E, Al-Saad B, et al. One-Spot Pilot Results in the Sabriyah-Maaddud Carbonate Formation in Kuwait Using a Novel Surfactant Formulation. SPE Improved Oil Recovery Symposium; 2014 Apr 12; Tulsa, USA. Paper Number: SPE-169153-MS.
2. Deans HA. Method of determining fluid saturations in reservoir. United States patent US 3623842. 1971.
3. Al-Abbad MA, Sanni ML, Kokal S, et al. *A Step-Chance for Single Well Chemical Tracer Tests SWCTT: Field Pilot Testing of New Sets of Novel Tracers*. SPE Annual Technical Conference and Exhibition; 2016 Sept 16; Dubai, UAE. Paper Number: SPE-181408-MS.
4. Al-Mutairi F, Tiwari S, Baroon B, et al. *Simulation of Single Well Chemical Tracer Tests Conducted in Carbonate Reservoir*. SPE Kuwait Oil & Gas Show and Conference; 2015 Oct 11; Mishref, Kuwait. Paper Number: SPE-175282-MS.
5. Deans HA, Carlisle C. *Single-Well Chemical Tracer Test Handbook*. 2nd ed. Laramie, Wyoming: Chemical Tracers, Inc.
6. Jerauld GR, Mohammadi H, Webb KJ. *Interpreting Single Well Chemical Tracer Tests*. SPE Improved Oil Recovery Symposium; 2010 Apr; Tulsa, USA. Paper Number: SPE-129724-MS.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Келлер Юрий Александрович

канд. физ.-мат. наук

e-mail: ykeller@integra.ru.

***Усков Александр Александрович**

e-mail: auskov@integra.ru.

AUTHORS' INFO

Yuriy A. Keller

Cand. Sc. (Physics and Mathematics)

e-mail: ykeller@integra.ru.

***Alexander A. Uskov**

e-mail: auskov@integra.ru.

*Автор, ответственный за переписку/Corresponding Author