



УДК 622:51-7; 622:007

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА НАНОСИСТЕМЫ, ПОЗВОЛЯЮЩЕЙ ПОВЫСИТЬ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ СКВАЖИНЫ

### DETERMINATION OF THE OPTIMAL COMPOSITION OF A NANOSYSTEM THAT ALLOWS INCREASING THE PERMEABILITY OF THE WELLBORE ZONE

**Джаббарова Кенюль Шахбаз кызы**

старший инженер,  
SOCAR, Нефтегазовый научно-исследовательский  
проектный институт  
jabbarova.k@gmail.com

**Jabbarova Konul Shahbaz kyzy**

Senior Engineer, SOCAR,  
Oil and Gas Research Design Institute  
jabbarova.k@gmail.com

**Аннотация.** Идентифицирован оптимальный состав наносистемы, предназначенной для очистки от тяжелых углеводородов, отложившихся в порах неоднородного пласта, обработки дисперсных систем и повышения проницаемости призабойной зоны скважины, на основе применения которой обеспечено существенное увеличение текущей добычи за счет вовлечения в разработку остаточных запасов нефти прискважинной зоны. Эффективность обработки специально выбранной добывающей скважины с использованием наносистемы определялась резким увеличением срока эксплуатации (примерно на 112 суток) при высокой ее добыче по сравнению с ее текущей добычей до обработки и средним увеличением текущей добычи нефти в 1,63 раза по сравнению с ее добычей до обработки.

**Annotation.** The optimal composition of nanosystem designed for cleaning from heavy hydrocarbons deposited in the pores of heterogeneous reservoir, treatment of dispersed systems and increasing the permeability of the bottom-hole zone of the well, on the basis of which application a significant increase in current production due to the involvement in the development of residual oil reserves of the bottom-hole zone was identified. The effectiveness of treatment of a specially selected production well using the nanosystem was determined by a sharp increase in the operating time (about 112 days) with high production compared to its current production before treatment and an average increase in current oil production by 1.63 times compared to its production before treatment.

**Ключевые слова:** очистка тяжелых углеводородов, обработка наносистемой, текущая добыча нефти, нефтенасыщенность, неоднородный пласт.

**Keywords** heavy hydrocarbon treatment, nanosystems treatment, current oil production, oil saturation, heterogeneous formation.

## Введение

При добыче нефти и газа в эксплуатацию могут быть введены только скважины с максимально возможной производительностью, что позволяет поддерживать высокие суточные показатели добычи нефти или газа и обеспечивать высокую продуктивность разрабатываемого пласта в течение всего срока его эксплуатации. Однако в процессе открытия и эксплуатации пластов уровень продуктивности постепенно снижается, главным образом, в результате воздействия многочисленных факторов, которые могут ухудшать фильтрационно-емкостные свойства призабойной зоны скважин. Результаты анализа, проведенного в [1–4], свидетельствуют о следующих основных причинах ухудшения фильтрационно-емкостных свойств призабойной зоны добывающих скважин: кольматация призабойной зоны смолами и асфальтенами, содержащимися в добываемых углеводородных продукциях; осаждение солей, содержащихся в добываемой воде, а также осаждение частиц пород продуктивного коллектора в результате их выноса из пласта; образование эмульсий под забоем при тампонировании скважин солевыми растворами в период подготовки к капитальному и подземному ремонту; жидкости, используемые при бурении, заканчивании и освоении скважин, и повреждение пласта; загрязнение призабойной зоны при строительстве и ремонте скважин; загрязнение при образовании и миграции тонкодисперсных частиц твердой фазы; образование органических и неорганических осадков; набухание глинистых минералов в породе в результате их взаимодействия с фильтруемой слабоминерализованной водой (опресненной водой); насыщение пор горной породы твердыми частицами буровым раствором в процессе бурения; закупорка или засорение поровых каналов пористой среды в результате миграции частиц твердой фазы, содержащихся в пластовых флюидах и т.д.

Решение вышеуказанных проблем требует интенсификации притока нефти к скважинам, в том числе подбора технологии физико-химической очистки призабойной зоны, что позволит добиться положительных результатов. Технология разработки выбирается в зависимости от типа загрязнения и характеристик пласта (температуры, пористости, проницаемости, трещиноватости, пластового давления и т.д.), результатов предыдущих обработок по интенсификации притока нефти, конструкции скважины и ее технического состояния.



Для решения этой проблемы в терригенных пластах широко применяется химическая обработка скважин (в основном кислотами). Одним из факторов, существенно влияющих на эффективность кислотной обработки, является определение параметров зоны изменения фильтрационных свойств и их учет при проектировании воздействия. Однако используемые традиционные методы не позволяют полностью устранить существующую проблему. В связи с этим необходима разработка нового типа наносистемы с комплексными свойствами для очистки от тяжелых углеводородов, осаждающихся в порах и дисперсных системах неоднородных пластов, повышения проницаемости призабойной зоны путем ее применения в промысловых условиях, а также разработка и применение методов повышения эффективности эксплуатации неоднородных пластов.

#### **Постановка задачи и метод решения**

При воздействии на неоднородные пласты необходим поиск реагентов, обеспечивающих их растворимость в различных органических растворителях, очистку отложений тяжелых углеводородов в порах и обработку дисперсных систем.

Первоначально в качестве различных органических растворителей были выбраны бензин, конденсат, дизельное топливо, керосин и легкая пиролизная смола. На основании результатов исследований, проведенных при различных температурах, выявлены легкие пиролизные смолы и дизельное топливо как органические растворители, обладающие наиболее эффективной способностью растворять тяжелые углеводородные отложения. Для повышения растворимости указанных растворителей была реализована новая система путем добавления в ее состав поверхностно-активных веществ (ПАВ). Изучено влияние новых систем, полученных путем добавления ПАВ к органическим растворителям, на предотвращение осаждения тяжелых углеводородов. Для этого в качестве ПАВ в легкую пиролизную смолу и дизельное топливо добавляли деэмульгатор «Алкан ДЕ-202Б» в концентрации 0,5–1,0 %. Добавление высокоэффективного ПАВ в растворитель не только повышает его растворимость, но и облегчает проникновение реагента в осадок и микропоры горных пород.

Были выбраны комбинации вышеупомянутых систем в различных пропорциях. Например, эффективность растворения тяжелых углеводородных отложений определялась путем обработки дизельной топливы с 0,5 % ПАВ-ом. Этот показатель составил 23,27 % при 20 °С и 70,97 % при 40 °С. Установлено, что при увеличении количества ПАВ в данной комбинации еще на 0,5 %, т.е. до 1,0 %, эффективность растворения тяжелых углеводородных осадков при температуре 20 °С может быть увеличена до 23,52 %. При температуре 40 °С этот показатель составил 71,36 %.

При обработке легкой пиролизной смолы с помощью системы ПАВ были получены аналогичные результаты при температурах 20 °С и 40 °С в зависимости от температуры как в 0,5 %, так и в 1,0 % смесях ПАВ. Так, практически одинаковая эффективность растворения наблюдается при добавлении ПАВ в количествах 0,5 % и 1,0 %.

Таким образом, добавление ПАВ к органическим растворителям повысило эффективность влияния системы по растворению тяжелых углеводородов.

При этом эффективность растворения тяжелых углеводородов системами, полученными при добавлении Лапрола 4202 в качестве ПАВ к органическим растворителям (дизельному топливу и легкой пиролизной смоле), примерно такая же, как и при добавлении реагента Алкан ДЕ-202 Б. То есть, для повышения эффективности действия органических растворителей на тяжелые углеводороды в их состав можно добавлять 0,5–1,0 % ПАВ.

Для повышения эффективности влияния системы органический растворитель+ПАВ на тяжелых углеводородах в нее в малых концентрациях добавляли металлическую наночастицу и исследовали способность полученных наносистем растворять тяжелых углеводородов.

Эффективность растворения тяжелых углеводородов наносистемы дизельное топливо+ПАВ+0,001 % Al (50–70 нм) при 20 °С составила 25,65 %, тогда как при 40 °С этот показатель составил 74,33 %. В результате увеличения массы используемой наночастицы алюминия в 5 (пять) раз и доведения ее до 0,005 % эффективность растворения тяжелых углеводородов составила 27,44 % и 75,92 %, соответственно, при исследуемых температурах.

Комбинации легкой пиролизной смолы + SAM и наночастиц алюминия (0,001 % Al и 0,005 % Al) показали эффективность растворения 40,25 % и 38,58 % при 20 °С, соответственно, а при 40 °С этот показатель составил 87,05 % и 85,16 %, соответственно.

В результате проведенных исследований перспективным можно считать оптимальный состав наносистемы, обладающей высокой растворимостью тяжелых углеводородов, осаждаемых в порах пласта, и предназначенной для повышения проницаемости призабойной зоны, на единицу объема пор, 0,5 % неионогенного ПАВ, 0,001 ÷ 0,005 % наночастиц алюминия размером 50–70 нм, остальная часть единицы объема пор – дизельное топливо или легкая пиролизная смола. В этом случае практически важным представляется использование в составе в качестве неионогенного ПАВ Алкана ДЕ-202 Б или Лапрола 4202.



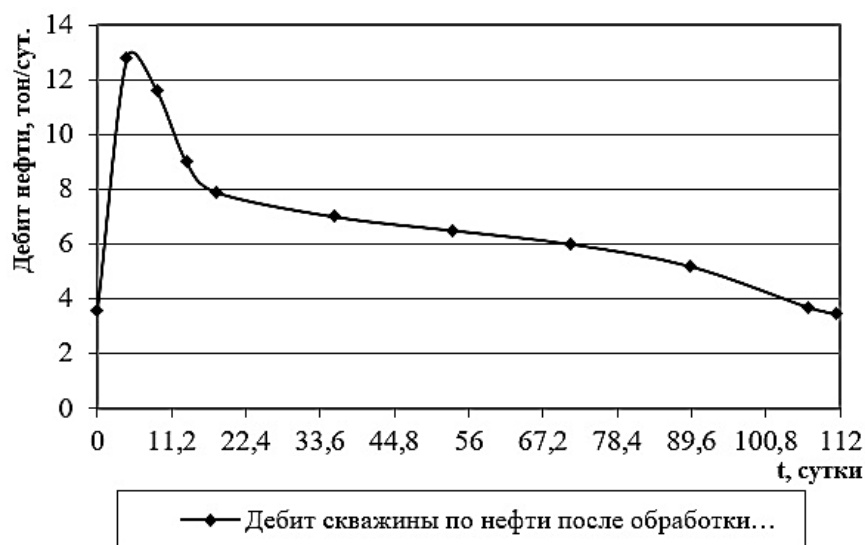
### Результаты расчетов

Для прогнозирования возможностей восстановления первоначального значения проницаемости с применением разработанной наносистемы и ее влияния на текущую добычу нефти скважины была выбрана скважина № 2387 месторождения № 2182 НГДУ «Нефтяные Камни».

Ориентировочные геометрические размеры зоны дренирования скважины по длине и ширине составляют  $250 \times 250 \text{ м}^2$ . Средняя высота нефтенасыщения месторождения составляет около 25 м, удельный вес нефти в пластовых условиях –  $0,883 \text{ г/см}^3$ , вязкость –  $6,4 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ . Содержание глины в породах участка (в %) составляет 1,01. Средняя пористость призабойной зоны скважины составляет 0,24, а проницаемость –  $0,16 \text{ мкм}^2$ . Насыщенность участка флюидами неоднородна.

Эксплуатация скважины с достаточно низкой продуктивностью требует проведение мероприятий по интенсификации притока нефти, в том числе закачки в призабойную зону скважин наносистемы под определенным давлением для очистки от отложившихся в порах тяжелых углеводородов, повышения проницаемости прискважинной зоны и вовлечения запасов нефти в разработку. Для этого эффективность применения технологического процесса на участке дренирования выбранной скважины исследовалась на основе расчетной модели, полученной на основе уравнения неразрывности нефтяной фазы, закона фильтрации и уравнения состояния фазы, растворимости минералов породы в наносистеме и уравнений концентрации наносистемы, а также совместной комбинации уравнений, позволяющих выявить динамику изменения проницаемости породы [5, 6]. Перед обработкой скважины наносистемой расчетная модель была адаптирована (настроена) на участок дренирования на основе динамики дебитов нефти за определенный промежуток времени, в результате чего была выявлена функция проницаемости участка и динамика приема наносистемы.

После адаптации расчетной модели к участку дренирования спрогнозирована возможность увеличения текущей добычи нефти за счет применения технологического метода решения. Результат расчета обработки призабойной зоны скважины наносистемой представлен на рисунке. На рисунке представлена динамика зависимости дебита нефти добывающей скважины от срока разработки после ее обработки наносистемой.



**Рисунок 1** – Динамика изменений дебита скважины по нефти в зависимости от времени после обработки наносистемой

На начальном этапе эксплуатации скважин после освоения добыча нефти резко возрастает, а затем добыча снижается медленными темпами. Эффективное время работы по сравнению с предварительной обработкой составляет около 112 дней. За этот период дополнительно добыто около 118 тонн нефти.

### Выводы

На основании обобщения и анализа результатов расчетов обработки призабойной зоны скважин с наносистемой установлено:

– на основе восстановления проницаемости за счет высокой степени очистки от накопленных в призабойной зоне скважин тяжелых углеводородных отложений, в результате обработки этой зоны наносистемой, обеспечивается эффективность существенного увеличения текущей добычи нефти с приданием импульса к разработке остаточных запасов нефти.

**Список литературы:**

1. Ибрагимов Г.З. Справочное пособие по применению химических реагентов в добыче нефти / Г.З. Ибрагимов, Н.И. Хисамутдинов. – М. : Недра, 1983. – 312 с.
2. Абдулин Ф.С. Повышение производительности скважин. – М. : Недра, 1975. – 264 с.
3. Гадиев С.М. Воздействие на призабойную зону нефтяных и газовых скважин / С.М. Гадиев, И.С. Лазаревич. – М. : Недра, 1966. – 174 с.
4. Магадова Л.А. Новые реагенты в технологиях интенсификации добычи нефти. – М. : РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2012. – Вып. 72. – 20 с.
5. Suleimanov B.A. Simulation study of water shut-off treatment for heterogeneous layered oil reservoirs / B.A. Suleimanov, Kh.A. Feyzullayev // Journal of Dispersion Science and Technology. – 2024. – P. 1–11.
6. Азиз Х. Математическое моделирование пластовых систем / Х. Азиз, Э. Сеттари; Пер. с английского. – М. : Недра, 1982. – 407 с.

**List of references:**

1. Ibragimov G.Z. Reference manual on the use of chemical reagents in oil production / G.Z. Ibragimov, N.I. Khisamutdinov. – M. : Nedra, 1983. – 312 p.
2. Abdulin F.S. Increase of well productivity. – M. : Nedra, 1975. – 264 c.
3. Gadiev S.M. Impact on bottom-hole zone of oil and gas wells / S.M. Gadiev, I.S. Lazarevich. – M. : Nedra, 1966. – 174 p.
4. Magadova L.A. New reagents in technologies of oil production intensification. – M. : Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2012. – Iss. 72. – 20 p.
5. Suleimanov B.A. Simulation study of water shut-off treatment for heterogeneous layered oil reservoirs / B.A. Suleimanov, Kh.A. Feyzullayev // Journal of Dispersion Science and Technology. – 2024. – P. 1–11.
6. Aziz H. Mathematical modeling of reservoir systems / H. Aziz, E. Settari; Transl. from English. – M. : Nedra, 1982. – 407 p.