

Обзор мировой практики по реализации АСП заводнения. Тенденции развития и проблемы

Маркова Олеся Михайловна – студент магистратуры Тюменского индустриального университета.

Аннотация: В данной статье рассмотрены пилотные и промышленные проекты по реализации АСП заводнения в мире, описаны основные геолого-геофизические параметры, характерные для месторождений, на которых применяли данную технологию, и типовые схемы закачки химреагентов. Также, проведен анализ опыта применения АСП заводнения и выделены основные проблемы и тенденции развития технологии.

Ключевые слова: АСП заводнение, ПАВ, повышение нефтеотдачи, солеотложения, коэффициент охвата пласта, оторочка.

В условиях непрерывного роста глобального спроса и потребления энергии, а также значительного истощения традиционных ресурсов и высокой стоимости и неопределенности по морским проектам, химические методы увеличения нефтеотдачи (МУН), особенно Щелочь-ПАВ-Полимерное заводнение (АСП-заводнение), может сыграть важную роль при извлечении остаточной нефти.

Заводнение АСП является одним из наиболее эффективных методов повышения нефтеотдачи, используемых как третичные. На основе результатов полевых пилотных проектов, реализованных в Канаде, США, Китае, Южной Америке и Индии, применение АСП заводнения может значительно увеличить коэффициент извлечения нефти (КИН) - до 25% от начальных извлекаемых запасов (Sheng, 2013). Недавние проекты по применению АСП технологии в Омане показали прирост КИН более 30% (Alkindi, и др., 2018).

На данный момент во всем мире было реализовано более 20 пилотных и промышленных проектов по АСП заводнению (таблица 1), информация по которым была освещена в литературе. В данной статье рассматриваются только проекты по осуществлению АСП технологии, исключая ПАВ-полимерное (SP-surfactant, polymer), щелочно-полимерное

(AP-alkali, polymer), ПАВ-щелочное (AS – alkali, surfactant) заводнения. Из 23 перечисленных проектов АСП - 12 были выполнены в Китае, 6 в США, 2 в Индии, 1 в Венесуэле, 1 в Канаде и 1 в Российской Федерации. Все проекты были реализованы на месторождениях нефти на суше, кроме проекта Lagomar на шельфе Венесуэлы.

Таблица 1. Обзор проектов АСП заводнения по всему миру.

Месторождение

Страна

Начало работ

Кол-во добывающих скважин

Кол-во нагнетательных скважин

Daqing Sa-zhong-xi (S-ZX)

Китай

1-сен-1994

9

4

Daqing Xing-wu-zhong (X5-Z)

Китай

29-января-1995

4

1

Daqing Xing-2-xi-(X2-X)

Китай

28-сентября-1997

9

4

Daqing Sa-bei-1-xi (S-B)

Китай

15-дек-1997

4

3

Daqing Xing-bei xing-2-zhong (X2-Z)

Китай

1-апр-2000

27

17

Daqing Sabei-bei-2-dong (SB-B2-D)

Китай

3-окт-2004

4

3

Shengli Gudong

Китай

1-авг-1992

9

4

Shengli Gudao-xi

Китай

1-май-1997

13

6

Karamay

Китай

22-июн-1996

9

4

Jilin Hong-gang

Китай

1-сен-1997

-

-

Zhong-yuan Hu-zhuang-ji

Китай

12-январь-2000

5

5

Yumen-Lao-jun-miao

Китай

1-март-1994

4

1

Cambridge

США

1-фев-1993

-

-

West Kiehl

США

3-дек-1987

-

-

Tanner

США

1-май-2000

2

1

Mellot Ranch

США

1-авг-2000

3

2

Lawrence

США

1-авг-2010

6

12

Sho-Vel-Tum

США

4

1

Lagomar

Венесуэлла

-

-

Viraj

Индия

10-авг-2002

9

4

Jhalora

Индия

7-фев-2010

6

1

Mannville B Pool

Канада

7-май-2006

45

18

Западно-Салымскре

Российская Федерация

1-фев-2016

1

4

Большинство промышленных проектов АСП выполнялись либо по прямой пятиточечной

схеме, либо по обратной. Пилотные испытания на месторождении Lagomar производились по обратной семи-точечной схеме; на месторождении Jilin Hong-Gang – по обратной 13-точечной схеме. Самым крупным проектом АСП на сегодняшний день был проект Warner (бассейн Mannville B) в Канаде с 18 нагнетательными скважинами и 45 добывающими.

Все проекты АСП выполнялись в песчаных коллекторах с пластовой температурой менее 70°С, проницаемостью более 70 мД, вязкостью нефти менее 150 мПа·с и невысокой минерализацией, менее 35000 частей на млн. Средние значения по основным параметрам, влияющим на эффективность АСП заводнения, перечислены в таблице 2.

Таблица 2. Консолидированные данные по реализованным АСП проектам.

Параметры

Консолидированные значения по АСП проектам

Порода-коллектор

Песчаник

Пластовая температура, °С

< 70

Вязкость пластовой нефти, мПа·с

< 150

Проницаемость, мД

>70

Активный водонапорный режим (да/нет)

Нет

Подожвенная вода (нет/локально/на периверии/распространена)

≤ Локально

Газовая шапка (нет/локально/на периверии/распространена)

≤ Локально

Глинистость (нет/ низкая/высокая)

≤ Низкая

Жесткость воды, частей на млн

< 200

Минерализация воды, частей на млн.

< 35000

Текущая нефтенасыщенность, доли ед.

0.35

Схема закачки и количество закачиваемых реагентов

Анализ опыта применения АСП технологии показал, что в большинстве проектов процесс заводнения состоял из последовательного введения 3 оторочек: предварительной, основной (АСП) и завершающей.

Первый этап заключался в закачке раствора полимеров, необходимого для улучшения профиля вытеснения. В среднем, объем предварительной оторочки составлял 9.7% от порового объема пласта, а средняя массовая концентрация полимеров составляла 0.145%. Однако, данный этап осуществлялся не на всех проектах

Иногда, в качестве предварительной оторочки закачивали щелочной раствор, с целью уменьшения содержания двухвалентных ионов для того, чтобы избежать их взаимодействия с образовавшимися в пласте поверхностно-активными веществами (ПАВ). Введение щелочи может привести к образованию нерастворимого осадка, что ухудшает проницаемость, тем самым увеличивая коэффициент охвата пласта заводнением (Sarem 1974). Этот процесс известен как mobility-controlled caustic flood (MCCF).

Также, в качестве пред-оторочки возможно использование солевого раствора (пилотный проект на Западно-Салымском месторождении).

Основная оторочка состояла из щелочи, ПАВ и полимера, средние массовые концентрации реагентов 1.25%, 0.27% и 0.135%, соответственно, в количестве 30.8% от порового объема.

На завершающем этапе производилась закачка оторочки полимера, использовались ступенчатая и затухающая схемы со снижением концентрации полимера. Такая оторочка позволяет избежать преждевременного прорыва воды.

Средний объем пост-оторочки составлял 24.2% порового объема, а средняя массовая концентрация полимеров 0.08%.

Проблемы, связанные с АСП заводнением.

В процессе реализации данных проектов АСП наиболее распространенными проблемами стали низкая приемистость, деструкция полимера, сложность разделения добытой нефти и воды (образование стойких эмульсий), отказы насосов, рост бактерий, коррозия, проблемы, связанные с логистикой, особенно на морских месторождениях. В данной статье более подробно рассмотрены некоторые из них.

Образование эмульсий

Эмульгирование - важный механизм щелочного заводнения, т.е. образование эмульсии

при заводнении АСП способствует увеличению нефтеотдачи примерно на 5 % согласно исследованиям Cheng и др. (2001).

Стабильные эмульсии могут образовываться в поверхностно-активных веществах при снижении межфазного натяжения на границе вода/нефть, щелочах, при реакции щелочи с сырой нефтью с образованием мыл (ПАВ) в пласте, и даже при закачке воды. При закачке воды стабильные эмульсии образуются, потому что сырая нефть содержит натуральные эмульгаторы, такие как асфальтен.

На месторождении Daqing в Китае многие скважины при АСП заводнении показали, что чем сильнее эмульгирована добытая жидкость, тем меньше обводненность. Недостатки эмульгирования в том, что оно увеличивает давление закачки, снижает скорость закачки воды и дебита жидкости, а также возникают проблемы разделения эмульсии на нефть и воду. Применение электродегидраторов, ввод деэмульгирующих и противовспенивающих агентов позволяет решить проблему с разделением эмульсии, но приводят к дополнительным затратам. В целом, преимуществ образования эмульсий больше, чем недостатков.

Образование солевых отложений

При закачке в пласт щелочного раствора, происходит увеличение концентрации OH^- , CO_3^{2-}

и SiO_2

. Высокое содержание OH^-

делает пластовую среду щелочной и преобразует HCO_3^-

в CO_3^{2-}

. SiO_2

образуется при реакции между закачанной щелочью и пластовыми минералами. Если закачивается морская вода, увеличивается концентрация SO_4^{2-}

. Катионный обмен и реакции между закачиваемым раствором и минералами породы приводят к образованию двухвалентных ионов, таких как Ca²⁺

и Mg²⁺

. В результате взаимодействия неорганических анионов кислотных остатков и катионов могут образовываться солевые отложения, которые приводят к частым сбоям при эксплуатации добывающих скважин и закупорке пласта. Также, высокая концентрация щелочи значительно снижает вязкость полимеров, в результате для достижения необходимой вязкости потребуется больше полимера.

Для решения вышеописанных проблем Китайские ученые предлагают применять бесщелочное заводнение (SP) с увеличением концентрации ПАВ, возможно это вызовет удорожание технологии, но оно будет сопоставимо со стоимостью борьбы с последствиями от закачки щелочи. Также, альтернативным вариантом является использование менее агрессивной щелочи.

Проблемы с оборудованием

Из-за проблемы с солеотложением, средний срок службы винтовых насосов при АСП заводнении в Китае на месторождении Daqing был сокращен до 97 дней, по сравнению с 375 днями при заводнении полимером и 618 днями при обычном заводнении (Wang и др., 2006).

Другие проблемы, влияющие на оборудование для АСП связаны с вязкоупругими свойствами полимера. При закачке их в пласт через разветвления манифольда (рукава), так называемая “тянущая сила” пытается вернуть полимер в основную линию подачи. Эта тянущая сила возрастает вместе с увеличением скорости закачки в рукавах и основной линии. При работе трёх-плунжерным насосом скорость закачки в рукавах неравномерна. Эти неравномерности вызывают изменения нормального напряжения и вязкостного расширения, в результате создавая вибрации на насосе. Решением этой проблемы стало увеличение диаметра (размера) рабочих труб. (Wang, 2004).

Еще одна проблема, заключается в том, что полимерный раствор создаёт большую слепую зону на дне резервуаров для приготовления, что приводит к более сложному процессу смешивания и приготовления раствора. Переработка формы перемешивающих лопастей разрешила эту проблему. Для штанговых насосов прокачка полимерных растворов приводит к эксцентриковому износу штанги. Для решения этой проблемы используют центраторы (Wang и др., 2004 г.)

Тенденции развития

По результатам изучения реализованных АСП проектов в мире, были сделаны выводы о дальнейших тенденциях развития данной технологии. Основной тренды – это переход от сильнощелочного АСП заводнения к слабощелочному, расширение критериев применимости химических методов (пласты с высокой температурой и минерализацией). Для этого необходимо:

- Разработать стабильные высокоэффективные нефтевытесняющие ПАВ для достижения ультранизкого межфазного натяжения, в отсутствие щелочи. Также, эти ПАВ должны работать в сторону уменьшения их адсорбции на поверхности породы. В настоящее время доступных продуктов недостаточно.
- Разработать термостойкий и солеустойчивый полимер. В высокотемпературных пластах (> 90 °С) обычный полимер - гидролизованный полиакриламид - разлагается и перестает быть эффективным. В некоторых резервуарах с минерализацией > 50 000 мг/л и жесткостью более 1000 мг / л, загущающая способность НРАМ резко снижается. Большинство анионных ПАВ, такие как алкилбензолсульфонат и нефтяной сульфонат, будут осаждаться при наличии высококонцентрированного рассола. Необходимо разрабатывать неионные или цвиттерионные ПАВ, вытесняющие нефть, с отличной солеустойчивостью.

Кроме разработки оптимальных химических составов, необходимо уделить внимание системам очистки добываемой жидкости. Создание высокоэффективного очистного оборудования, разработка недорогих химических средств (деэмульгаторы, флокулянты) для обработки добываемого флюида позволит уменьшить затраты и трудоемкость процессов заводнения. Также, существует необходимость оптимизации схем расположения скважин, расстояний между ними для различных типов пластов, используя технологии контроля профиля в процессе химического заводнения. Это позволит максимально увеличить коэффициент охвата пласта заводнением.

При решении перечисленных задач АСП технология может стать приоритетным МУН среди остальных, выйти на рентабельное, широкомасштабное применение на всех месторождениях, находящихся не только на последней стадии разработки, как третичное, но и на молодых месторождениях в качестве вторичного, заменив классическое заводнение (закачка воды).

Список литературы

1. Cheng, J.-C., Liao, G.-Z., Yang, Z.-Y., Li, Q., Yao, Y.-M., and Xu, D.-P. 2001. Overview of Daqing АСП pilots. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing (P.G.O.D.D.)*, 20(2), 46–49
2. Denney D. 2013. Progress and Effects of АСП Flooding (SPE-0113-0077-JPT) *Journal of Petroleum Technology*, 78-81
3. Gu, H.-J., Yang, R.-Q., Guo, S.G., Guan, W.-D., Yue, X.-J., Pan, Q.-Y. 1998. Study on reservoir engineering: АСП flooding pilot test in Karamay Oilfield. Paper SPE 50918 presented at the International Oil and Gas Conference and Exhibition in China, Beijing, China, 2–6 November.
4. Li, H.-F., Liao, G. Z., Han P.-H., Yang, Z.Y., Wu X.-L., Chen, G.-Y., Xu D.-P., and Jin, P.Q. 2003. Alkaline/surfactant/polymer (АСП) commercial flooding test in the central Xing2 area of Daqing Oilfield. Paper SPE 84896 presented at the International Improved Oil Recovery Conference in Asia Pacific, Kuala Lumpur, Malaysia, 20-21 October.
5. Olsen, D.K., Hicks, M.D., Hurd, B.G., Sinnokrot, A.A., and Sweigart, C.N. 1990. Design of a novel flooding system for an oil-wet Central Texas carbonate reservoir. Paper SPE 20224 presented at the SPE/DOE Seventh Symposium on Enhanced Oil Recovery, Tulsa, Oklahoma, 22–25 April.
6. Rilian, N.A., Sumestry, M., and Wahyuningsih. 2010. Surfactant stimulation to increase reserves in carbonate reservoir "A case study in Semoga Field", paper SPE 130060 presented at the SPE EUROPEC/EAGE Annual Conference and Exhibition, 14-17 June, Barcelona, Spain
7. Sheng J. A Comprehensive Review of Alkaline-Surfactant-Polymer (АСП) Flooding (SPE 165358), SPE Western Regional & AAPG Pacific Section Meeting 2013 Joint Technical Conference, 19-25 April, Monterey, California, USA, 2013
8. Sheng, J.J. 2013a. АСП fundamentals and field cases outside China, Chapter 9 in *EOR Field Case Studies* (Sheng, J.J., ed.), Elsevier, to be published in 2013
9. Volokitin Y., Shuster M., Karpan V., Mikhaylenko E., Koltsov I., Rakitin A., Tkachev I., Podbereznyy M. West Salym АСП Pilot: Surveillance Results and Operational Challenges (Russian) SPE-187838-RU Society of Petroleum Engineers - SPE Russian Petroleum Technology Conference, 16-18 October, Moscow, Russia, 2017.
10. Wang, D.-M., Jiang, Y., Wang, Y., Gong, X., and Wang, G. 2004. Viscous-elastic polymer fluids rheology and its effect upon production equipment. *SPE Production & Facilities* (November), 209–216.
11. Wang, H.-Z., Liao, G.-Z., and Song, J. 2006. Combined chemical flooding technologies. In *Technological Developments in Enhanced Oil Recovery* (P.P. Shen, ed.), pp. 126–88, Petroleum Industry Press, Beijing, China.
12. Xie, X., Weiss, W.W., Tong, Z., and Morrow, N.R. 2005. Improved oil recovery from carbonate reservoirs by chemical stimulation, *SPE J.* (September), 276-285.
13. Yang, H.D. and Wadleigh, E.E. 2000. Dilute surfactant IOR – design improvement for massive, fractured carbonate applications, paper SPE 59009 presented at the SPE International Petroleum Conference and Exhibition in Mexico, 1-3 February, Villahermosa, Mexico
14. Zhang, Z.-L., Yang, Y.-M., Hong, L., Peng, T., and Xuan, M.-R. 2001. АСП pilot test in Honggang field. *J. of Southwest Petroleum Institute*, 23(3), 47–9, 57.

{social}