

# ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ВНУТРИПЛАСТОВОГО ГОРЕНИЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ С ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫМИ ЗАПАСАМИ

Рычковский А.А.<sup>1</sup>, Вольф А.А.<sup>2</sup> Email: Rychkovsky1132@scientifictext.ru

<sup>1</sup>Рычковский Артем Андреевич – бакалавр,  
кафедра разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений,  
Тюменский индустриальный университет;

<sup>2</sup>Вольф Альберт Альбертович - кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник,  
Научно-исследовательская организация петрофизики,  
Сургутский научно-исследовательский и проектный институт нефтяной промышленности,  
Тюменское отделение,  
г. Тюмень

**Аннотация:** выбор оптимального метода повышения нефтеотдачи пластов с трудноизвлекаемыми запасами, является сложной инженерной задачей, которая требует пристального внимания, из-за трудности осуществления технологии и поддержания ее стабильности. В данной статье проведен анализ зарубежного опыта по проведению традиционного внутрипластового горения и одной из его модификаций под названием Toe-to-Heel Air Injection (THAI). Данная технология имеет множество преимуществ по сравнению с традиционным ВГ и является относительно новой на зарубежном рынке. В ходе анализа рассмотренного метода был выявлен механизм работы технологии THAI, а также установлены критерии применимости внутрипластового горения, которые могут быть использованы на Российских месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами.

**Ключевые слова:** внутрипластовое горение, иницирование горения, фронт горения.

## FOREIGN EXPERIENCE OF IN-SITU COMBUSTION IN THE FIELDS WITH HARD TO RECOVER RESERVES

Rychkovsky A.A.<sup>1</sup>, Wolff A.A.<sup>2</sup> Email: Rychkovsky1132@scientifictext.ru

<sup>1</sup>Rychkovsky Artem Andreevich – bakalavr,  
DEPARTMENT OF DEVELOPMENT AND EXPLOITATION OF OIL AND GAS FIELDS,  
TYUMEN INDUSTRIAL UNIVERSITY;

<sup>2</sup>Wolff Albert Albertovich - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor,  
Senior Researcher scientific research  
ORGANIZATION PETROPHYSICS TYUMEN BRANCH  
SURGUT SCIENTIFIC RESEARCH AND DESIGN INSTITUTE OF OIL,  
TYUMEN

**Abstract:** choosing the best method of enhanced oil recovery with hard to recover reserves is a complex engineering task that requires close attention, because of the difficulty of the technology and maintain its stability. This article analyzes the foreign experience for the traditional in-situ combustion, and one of its modifications, called Toe-to-Heel Air Injection (THAI). This technology has many advantages compared to the conventional SH, and is relatively new in the foreign market. Inlet analysis presented method was revealed the mechanism of the investigated technologies, as well as its applicability criteria that can be used in Russian oil fields with hard to recover reserves.

**Keywords:** in-situ combustion, combustion initiation, the combustion front.

УДК 622.7

Исследования, проводимые по всему миру в области повышения нефтеотдачи у месторождений с высоковязкой нефтью, проделали большой путь по поиску оптимальных методов по добычи трудноизвлекаемых запасов нефти (ТИЗН) за рубежом, и в России. Тепловые методы воздействия на пласт являются таковыми, в особенности метод внутрипластового горения. Данная технология является эффективным методом добычи ТИЗН, но также обладает рядом ограничений, связанных со спецификой его осуществления.

Из-за относительной дороговизны и трудностей осуществления данная технология практически не применяется в России. Поэтому изучение опыта проведения тепловых методов за рубежом с целью выявления критериев применимости на отечественных месторождениях является актуальной задачей.

Сущность внутрипластового горения (ВГ) основывается на использовании энергии, полученной при частичном сжигании тяжелых фракций нефти (кокса), при нагнетании окислителя в пласт с поверхности.

Изначально в призабойной зоне зажигательной скважины создают условия, необходимые для иницирования и образования устойчивого фронта горения. Для этого используют забойные топливные горелки, электрические нагреватели, химические реагенты. После того, когда образовался фронт горения

в пласте, с поверхности нагнетают окислитель (окислителем может являться воздух, кислород – обогащенный воздух или кислородосодержащая газовая смесь) в количестве, необходимом для поддержания термохимической реакции и перемещения фронта горения по пласту. При этом часть пластовой нефти (до 15%) сгорает [1,501 с.], а выделяющееся тепло, воздействуя на пласт, способствует вытеснению нефти из пласта. Продукты процесса (нефть, газы горения, углеводородные газы, вода) извлекаются через эксплуатационные скважины.

Важным достоинством ВГ является то, что осуществление данного метода не зависит от глубины залегания нефти. Внутрипластовое горение может осуществляться как на месторождениях, расположенных близко к поверхности земли (этим способом производится разработка месторождения Суплако де Барко в Румынии, расположенном на глубине от 60 метров), так и на значительных глубинах (в пример можно привести месторождение Хейделберг в США, глубина которого доходит до 3572 метров) [2].

Особое внимание привлекает более совершенный вариант традиционного метода ВГ, такой как Тое-to-Neel Air Injection (технология нагнетания воздуха по всей горизонтальной секции скважины от участка забоя до участка изгиба скважины через вертикальные скважины) [3]. Данная технология предусматривает применение сложных систем вертикальных и горизонтальных скважин с целью формирования горизонтального или наклонного фронта горения, и продвижения его сверху вниз с активным использованием гравитационных и капиллярных сил для стабилизации фронта, как это показано на рисунке 1.

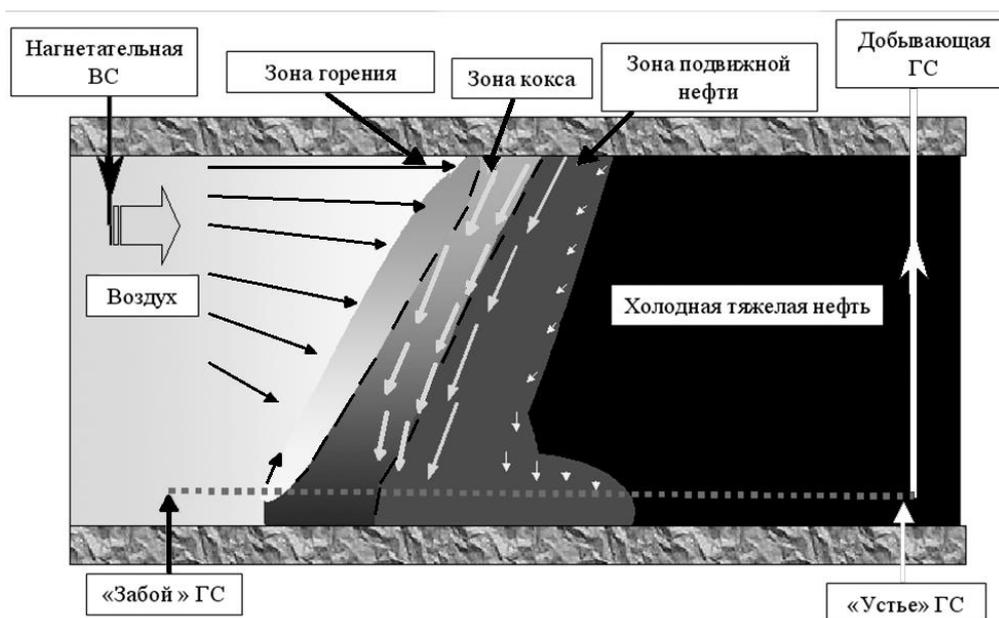


Рис. 1. Схема распространения фронта горения при использовании технологии ТНАИ [4]

Главная цель усовершенствованного внутрипластового горения заключается в предотвращении гравитационного разделения вводимых и перемещаемых жидкостей. Суть данной модификации метода ВГ кроется в вытеснении нефти на коротком расстоянии, в отличие от обычных технологий добычи нефти. Приведенные в движение флюиды не приходится вытеснять через зону холодной (высоковязкой) нефти, как это происходило бы в обычной технологии внутрипластового горения (на длинные расстояния), вместо этого они продвигаются по наиболее короткому пути к горизонтальной добывающей скважине в нижней части нефтяного слоя [5].

Согласно результатам, проведенных пилотных испытаний технологии ТНАИ на месторождении Атабаска в Канаде (Conklin Pilot Project, August 27, 2009 г.; Whitesands Pilot, August 27, 2009 г.) [6], было установлено, что усовершенствованный метод внутрипластового горения показал высокую эффективность битуминозных песках Альберты.

Любой метод повышения нефтеотдачи пласта имеет свои критерии применимости, которые в свою очередь ограничивают возможность использования той или иной технологии. Так же обстоит дело и с внутрипластовым горением, которое имеет ряд условий, при которых возможна его оптимальная работа.

Например, при отсутствии потерь тепла в нагнетательных скважинах верхняя граница глубины залегания определена менее строго, чем при нагнетании в пласт теплоносителей. В то же время, использование мощного воздушного компрессора высокого давления порождает ряд технических проблем и требует значительных затрат. Поэтому целесообразно внутрипластовое горение использовать

в пластах, залегающих на глубинах, не превышающих 1000—1500 м. (1300 м., Мига, Венесуэла). В том случае, если пластовое давление достаточно низко, имеет место возможность использования этого метода и на более глубоких месторождениях [7, 187 с.].

Что касается толщины пласта, то она должна быть не менее 2—3 м, это ограничение связано с тепловыми потерями в окружающие породы, которые в свою очередь могут оказывать серьезное влияние на распространение фронта горения. Вместе с тем в пластах значительной толщины приходится сталкиваться с гравитацией, приводящей к преимущественной фильтрации воздуха по кровельной части пласта [7, 187 с.].

Кроме того, чтобы горение проходило при технически и экономически благоприятных условиях, необходимо соблюдение следующих требований к характеристикам нефти и коллектора:

1. Количество осажденного кокса должно быть не слишком маленьким (опасность затухания), ни слишком большим (повышение необходимого количества воздуха). При проектировании применения внутрипластового горения необходимо знать концентрацию топлива, чтобы установить возможность создания фронта горения в условиях данной залежи и для определения требуемого количества воздуха [8, 164 с.].

2. Фильтрация в пласте жидкостей и газов должна обеспечиваться без раннего прорыва теплоносителя в добывающие скважины и снижения проницаемости коллектора. Кроме высокой реакционной способности нефти, также важна ее большая подвижность, при условии однородности пласта с достаточной проницаемостью.

На основе зарубежного опыта были выявлены следующие критерии по эффективному применению внутрипластового горения, в пластах со следующими характеристиками:

1. Глубина, м, от 60 до 1500
2. Эффективная нефтенасыщенная толщина, м, от 1,2 до 45;
3. Угол падения пласта, град., от 0 до 45;
4. Пористость, %, от 16 до 39;
5. Проницаемость, мД, от 40 до 10000;
6. Плотность нефти, 0 API, от 0,5 до 40;
7. Вязкость нефти при начальной температуре, мПа·с от 0,8 до 106;
8. Начальная нефтенасыщенность, %, от 30 до 94;
9. Объёмная концентрация запасов, баррель/акр·фут, от 430 до 2550.

Итак, несмотря на то, что метод внутрипластового горения сочетает все преимущества термических методов, широкого применения в отечественной нефтяной промышленности он не находит из-за проблем, которые связаны с его реализацией. Представленный выше обзор показывает, что при внутрипластовом горении происходит ряд сложных явлений, осуществление которых зависит от множества геолого-технических условий, поэтому целесообразно будет перед обращением к данному методу добычи нефти удостовериться, возможно ли его использование на конкретном месторождении.

#### *Список литературы / References*

1. *Кудинов В.И.* Основы нефтегазопромыслового дела [Текст] / В.И. Кудинов. Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований; Удмуртский госуниверситет, 2004. 501 с.
2. kpfu.ru [Electronic resource]. URL: <http://kpfu.ru/news/shirokie-vozmozhnosti-vnutriplastovogo-goreniya.html/> (date of access: 20.01.2017).
3. THAI in situ oil recovery requires minimal use of natural resources [Текст] // OIL & GAS NETWORK, 2004. V. 5. № 2 (April).
4. Heavy oil science centre. [Electronic resource]. URL: <http://www.lloydminsterheavyoil.com/thaiandbeyond.htm/> (date of access: 10.02.2017).
5. Короткий путь к успеху в добыче и переработке тяжелых нефтей. М. Гривз и Т.К. Ксиа. Группа повышения нефтеотдачи. Отделение химической технологии Университета Бата
6. Ausenco. [Electronic resource]. URL: <http://www.ausenco.com/case-studies/whitesands-thai-pilot-plant/> (date of access: 17.02.2017).
7. *Бурже Ж., Сурио П., Комбарну М.* Термические методы повышения нефтеотдачи пластов [Текст] / Ж. Бурже, П. Сурио, М. Комбарну. М.: Недра, 1975. 187 с.
8. *Антониади Д.Г., Гарушев А.Р., Ишиханов Б.Г.* Настольная книга по термическим методам добычи нефти. Краснодар: «Советская Кубань», 2000 г. 164 с.
9. Petroleum Engineering Handbook, Chapter 46, Thermal Recovery by Chieh Chu. [Electronic resource] URL: <http://ru.scribd.com/doc/221532349/46-Thermal-Recovery/> (date of access: 15.02.2017).