

А.Т.КАРМАНСКИЙ, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, *ilinov_md@spmi.ru*
Е.В.ГОНЧАРОВ, старший научный сотрудник, *goncharovbox@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

A.T.KARMANSKY, PhD in eng. sc., senior research assistant, *ilinov_md@spmi.ru*
E.V.GONCHAROV, senior research assistant, *goncharovbox@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

ПРИМЕНЕНИЕ ТВЕРДЫХ КИСЛОРОДОСОДЕРЖАЩИХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

Представлены технологические принципы и результаты реализации экзотермических реакций в газо-нефтедобывающих скважинах. Уникальные сочетания химических реагентов на основе хлоратов, селитр и т.п. обеспечили простоту, дешевизну и эффективность технологических операций интенсификации притоков нефти и газа. Эффективность достигается не только снижением вязкости нефти, удалением парафинов и асфальтенов, но и переформированием физико-механических свойств пород коллектора разгрузкой от горного давления и развитием трещин.

Ключевые слова: нефтяные скважины, экзотермические реакции, трещинообразование, интенсификация притока.

APPLICATION OF SOLID OXYGEN-CONTAINING SUBSTANCES FOR HIGHER PRODUCTIVITY OF OIL WELLS

The technological principles and results of realization of exothermal reactions in oil-and-gas productive wells are presented. Unique combinations of chemical reagents on base of chlorates, saltpetres, etc ensured the simplicity, low prices and efficiency of technological operations for intensive influxes of oil and gas. High efficiency is reached not only due to reduction of oil viscosity and removal of paraffin and asphaltene, but also due to re-forming of the reservoir rocks by relief of rock pressure and extension of fractures.

Key words: oil wells, exothermal reactions, fracturing, intensive influxes.

Для увеличения производительности скважин на различных стадиях их жизненного цикла (заканчивание скважин, эксплуатация в процессе разработки месторождения, капитальный ремонт) разработано несколько десятков способов воздействия на прискважинную зону пласта (ПЗП) по основному механизму воздействия объединенных в четыре группы способов: механические, химические, тепловые, физические.

Каждый из способов имеет область предпочтительного применения в тех или иных геолого-технических условиях, где наиболее полно проявляется его эффектив-

ность. Многие технологии весьма трудоемки и имеют ряд недостатков, связанных с использованием дорогостоящего оборудования, сложностью доставки в отдаленные и труднодоступные места, высокую стоимость и т.д.

В связи с этим для удовлетворения потребностей нефтедобывающих предприятий необходимы более мобильные недорогие и технологичные способы воздействия на ПЗП по своей эффективности сравнимые и даже не уступающие гидроразрывам пласта (ГРП). К числу таких способов относится газодинамический разрыв пласта (ГДРП) с

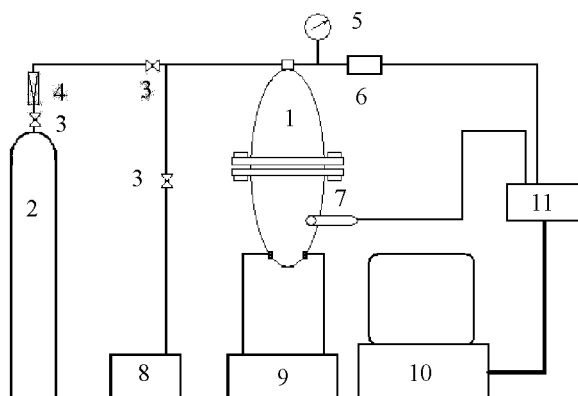


Рис.1. Принципиальная схема опытной установки

1 – камера; 2 – баллон с азотом; 3 – вентиль; 4 – редуктор; 5 – манометр; 6 – преобразователь давления «Сапфир»; 7 – термопара с открытым спаем типа ХК; 8 – ручной масляный насос; 9 – блок питания для иницирования; 10 – ПЭВМ; 11 – мультиметр (аналого-цифровой преобразователь) «Крейтовая система «LCARD»

применением твердотопливных генераторов давления (ТТГД) и жидких термогазообразующих композиций (ЖТГК). Высокая эффективность ГДРП объясняется комплексным воздействием на ПЗП факторов, характерных для каждого из четырех способов воздействия на ПЗП [1,2]: механическое воздействие на пласт продуктов горения; тепловое воздействие, заключающееся в расплавлении парафинов; физико-химическое воздействие – снижение вязкости нефти и ее поверхностного натяжения и волнового воздействия в процессе возвратно-поступательного движения столба скважинной жидкости под действием газового пузыря, образующегося в скважине при сгорании зарядов ТТГД и ЖТГК [3].

В статье изложены основные положения технологии проведения ГДРП с применением ТТГД и ЖТГК. В качестве ТТГД использовался заряд, изготовленный из твердых кислородосодержащих веществ (ТКВ) на основе хлората натрия, а в качестве жидкого водосодержащего топлива (ЖВТ) водный раствор нитрата аммония (NH_4NO_3) и мочевины (CH_4ON_2), в качестве углеводородного горючего дизельное топливо (ДТ).

В реальных условиях ограниченного скважинного объема реакция окисления ДТ протекает фактически при постоянном объеме с увеличением давления и температуры.

Для проведения исследований с привлечением измерительного оборудования ФГУП РНЦ ПХ была собрана опытная установка, позволяющая измерять давление и температуру в камере сгорания при окислении ДТ продуктами разложения ТКВ, а также при зажигании и сгорании жидких водосодержащих композиций в замкнутом объеме камеры. Принципиальная схема опытной установки показана на рис.1. В камеру 1 загружались исследуемые композиции. Максимальное давление в камере (65-80 МПа) ограничивалось разрывной мембраной.

При подготовке к испытаниям была проведена проверка работоспособности измерительных каналов и герметичности системы трубопроводов, подающих масло в камеру с помощью масляного насоса 8 (рис.1).

Методика проведения испытаний заключалась в следующем. В первой серии испытаний в камеру сгорания помещалось заданное количество углеводородного горючего вместе с зарядом ТКВ на основе хлората натрия. Заряд представлял собой гибкую сгораемую трубку с 5 г насыпного источника кислорода. Реакция разложения ТКВ инициировалась нихромовой спиралью. Указанные испытания проводились без начального давления. После иницирования измерялись давления и температура в замкнутом объеме камеры. Оценивались максимальные значения давления и температуры, время протекания реакции.

Во второй серии испытаний после заливки в камеру жидкого водосодержащего топлива (ЖВТ) и присоединения камеры к технологическим линиям в камеру подавался газообразный азот, создавалось давление 8-12 МПа. ЖВТ инициировалось зарядом специально разработанного высококалорийного твердого топлива, содержащего магний. Заряд инициировался подачей напряжения (10-12 В) на нихромовую спираль, герметично установленную в торец заряда. Для оценки давления, создаваемого одним зарядом, ряд испытаний проводился на насыщенном растворе аммиачной селитры, без мочевины. Работоспособность ЖВТ и заряда оценивалась по максимальным значениям давления и температуры, развиваемой в камере.

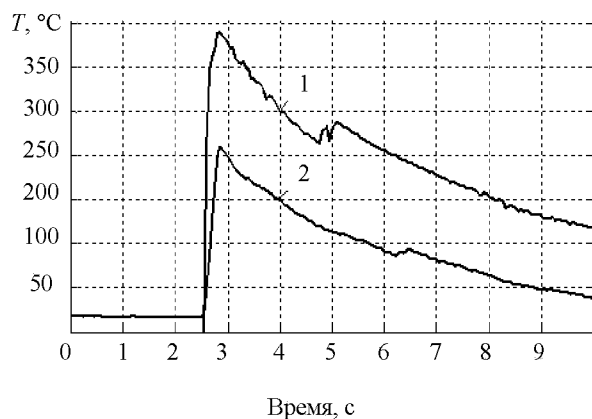


Рис.2. Зависимости давления (1) и температуры (2) от времени (испытание № 5)

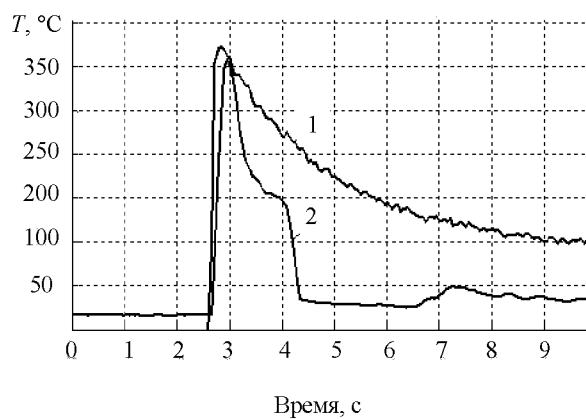


Рис.3. Зависимости давления (1) и температуры (2) от времени (испытание № 7)

По результатам исследований получены характерные зависимости давления и температуры от времени (рис.2, 3). Объем горючего в камере – 120 см^3 (кроме испытания № 3), начальное давление – атмосферное, свободный объем $\sim 50 \text{ см}^3$ (кроме испытания № 3). Масса твердого источника кислорода в испытании № 1 – 6 г, в испытаниях 2-7 – 5 г. Результаты первой серии испытаний представлены ниже:

Испытание	P_{max} , атм	T_{max} , °C	Комментарии
1	200	-	Масло, без замера T_{max}
2	95	100	Нефть
3	Более 660	Более 100	Нефть, без свободного объема, разрыв мембраны
4	61	62	ДТ
5	340	210	Нефть повышенной вязкости
6	30	Без изменений	Источник кислорода: NaClO_3 (1,5 г) + KNO_3 (3,5 г)
7	320	310	Нефть повышенной вязкости

Основной объем экспериментальных исследований был проведен на жидком водосодержащем топливе (ЖВТ), представляющем собой водный раствор аммиачной селитры и мочевины. Испытания проводились на двух видах топлива со следующим массовым содержанием: топливо № 1 – 30 % H_2O + 54 % NH_4NO_3 + 14 % CH_4ON_2 ; топливо № 2 – 34 % H_2O + 52 % NH_4NO_3 + 14 % CH_4ON_2 . Плотность топлива № 1 – $1,30 \text{ г/см}^3$,

плотность топлива № 2 – $1,27 \text{ г/см}^3$. Некоторые свойства [1] нитрата аммония и мочевины приведены ниже:

Свойство	Аммония нитрат (аммиачная селитра) NH_4NO_3	Мочевина (карбамид) $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$
Температура плавления, °C	169,6	132,7
Плотность, кг/м^3	1725	1330
Растворимость в воде, г/100 г	119 (0 °C); 212 (25 °C); 46 (50 °C)	51,8 (20 °C); 71,7 (60 °C); 95,0 (120 °C)
Нагревание	Выше 270°C или при воздействии удара может разлагаться со взрывом	До 150°C и выше последовательно превращается в NH_4NCO , NH_3 , CO_2 , биурет, циануровую кислоту

Выводы

Проведены термодинамические расчеты твердых кислородосодержащих веществ (KNO_3 , NaClO_3) в смеси с дизельным топливом, а также раствора нитрата аммония (NH_4NO_3) и мочевины (CH_4ON_2) в воде. Определены состав продуктов горения, адиабатическая температура горения и теплота химической брутто-реакции разложения выбранных смесей. Адиабатическая температура горения топлива с массовым содержанием 30 % H_2O ; 54 % NH_4NO_3 ; 14 % CH_4ON_2 составляет 1066 К (793 °C), теплота химической реакции 1326 кДж/кг. Равновесная температура и теплота реакции прак-

тически не изменяются в диапазоне давлений от 10 до 50 МПа.

Создана опытная установка и отработана методика испытаний, позволяющая проводить исследования различных способов воздействия на прискважинную зону пласта, в том числе оценивать работоспособность устройств инициирования.

Для зажигания жидкого водосодержащего топлива разработано специальное твердое топливо. Выбраны параметры системы инициирования при разогреве нихромовой спирали, установленной в заряд твердого топлива: напряжение 12 В, ток 4 А (сопротивление 3 Ом).

Экспериментально подтверждена работоспособность жидких водосодержащих топлив на базе растворенных аммиачной селитры и мочевины при зажигании ее специально разработанным высококалорийным твердым топливом. Определено, что устойчивое горение ЖВТ возможно при давлениях выше 10-12 МПа.

Способы термогазохимического воздействия запатентованы авторами (патенты 2168008 (2001 г.) и 2328594 (2008 г.)) и прошли государственные приемочные испытания на угледобывающих предприятиях в качестве технологии интенсификации метанопритоков и успешно внедряются на месторождениях ОАО «Сургутнефтегаз». Так, скважина № 1001, имеющая горизонтальный «открытый» забой на Баженовском нефтеносном горизонте Ульяновского месторождения, после термогазохимического воздействия увеличила дебит с 9 до 17 т/сут и эксплуатируется с таким дебитом до настоящего времени, т.е. 1,5 года. Опыт термогазохимической обработки скважин, до-

бывающих нефть, прежде всего на коллекторах с низкой проницаемостью и нефтеотдачей типа Баженовского, рекомендован для изучения и внедрения на месторождениях ОАО «Сургутнефтегаз». Из последних восьми экспериментов 2009 г. пять признаны весьма удачными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаров Е.В. Результаты экспериментов по разработке термогазохимического способа интенсификации притока метана из пластов угля и перспективы его внедрения // Горный информационно-аналитический бюллетень / Московский государственный горный университет. М., 1999.
2. Гончаров Е.В. Геодинамические основы разработки технологических схем извлечения метана из газоносных, выбросоопасных пластов / Е.В.Гончаров, А.Н.Шабаров; Рабочее совещание Европейской экономической комиссии; ВНИМИ. СПб, 2007.
3. Интенсификация метанопритоков на основе низкоэнергетического сейсмоакустического воздействия на угольные пласты / Е.В.Гончаров, А.Т.Карманский, Д.Ю.Таланов, В.В.Вьюнников; Рабочее совещание Европейской экономической комиссии; ВНИМИ. СПб, 2007.

REFERENCES

1. Goncharov E.V. Results of experiments for the development of thermalgaschemical method for intensification of methane influx from coal seams and prospects of its introduction into practice // Mining Information-Analytical Bulletin / Moscow State Mining University. Moscow, 1999.
2. Goncharov E.V. Geodynamic foundations for the development of technological schemes of methane extraction from gas-bearing, outburst-hazardous seams / E.V.Goncharov, A.N.Shabarov; Workshop of Economic Commission for Europe; VNIMI. Saint Petersburg, 2007.
3. Intensification of methane influx on the basis of low-energy seismo-acoustic impact on coal seams / E.V.Goncharov, A.T.Karmansky, D.Yu.Talanov and V.V.Viunikov; Workshop of Economic Commission for Europe; VNIMI. Saint Petersburg, 2007.