

Ефремов И.В.¹, Гамм А.А.², Гамм Т.А.¹¹ Оренбургский государственный университет² ОАО «Компания вотемиро»

E-mail: hammtam@mail.ru

ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ ВЫБУРЕННОЙ ПОРОДЫ

Исследовано разделение твердой и жидкой фазы при бурении горячим паром, предложены методы: замедленной флуоресценции определения содержания нефти в выбуренной породе и удаления нефти и изменения химических свойств горных пород при двухфазной термической обработке. Выявлены технологические показатели процессов. Разработана технология утилизации бурового шлама на нефтегазовых месторождениях.

Ключевые слова: выбуренные породы, технология утилизации бурового шлама на нефтегазовых месторождениях, горячий пар, двухфазная термическая обработка, замедленная флуоресценция.

Наиболее опасным видом воздействия при бурении скважин является химическое загрязнение компонентов окружающей среды [2]. Технология современного бурения разведочных скважин на нефть и газ изложена в работе [8]. К основным потенциальным химическим загрязнениям при строительстве скважин относят буровые растворы, отходы бурения, состоящие из бурового шлама, отработанного бурового раствора и буровых сточных вод. Суммарный объем образующихся выбуренных пород на одной скважине составляет около 419,2 м³. В настоящее время рядом авторов исследуются вопросы утилизации отходов бурения, содержащих нефть, из шламовых амбаров на месторождениях, предлагаются способы и технологии [1, 4, 5], но утилизация выбуренных пород является нерешенной проблемой, поэтому разработка технологии их утилизации актуальна.

Целью исследований являлась разработка технологии термической утилизации выбуренной породы и способа оценки содержания нефти методом замедленной флуоресценции. Научная новизна работы в том, что впервые исследованы параметры замедленной флуоресценции осадочных нефтесодержащих пород и разработаны способы их утилизации с использованием термической обработки выбуренной породы. На основе результатов исследований была разработана технология утилизации буровых шламов, которая может быть использована в нефтегазовой промышленности. Методы исследований – инструментальный, полевой, термического и графического анализа.

Разработанная технология утилизации выбуренных пород на нефтегазовых месторождениях имеет ряд операций, рисунок 1.

Выбуренная порода вместе с буровым раствором и буровыми сточными водами от сква-

жины отводится по перфорированному лотку, где происходит разделение жидкой и твердой фазы. Жидкая фаза отводится на утилизацию в установленном порядке. Выбуренная порода очищается от жидкой фазы горячим паром, возможности которого для обработки отходов еще не исследовались другими авторами. В лабораторных условиях была разработана установка, имеющая парогенератор со шлангом, наконечником и точечной насадкой, закрытый вертикальный керамический сосуд для загрузки породы, сборник нефти. Вращение насадки производилось вручную. При этом было установлено, что полная очистка горной породы от нефти достигается через 60 секунд. Рассматривались варианты с содержанием нефти на горной породе 20, 33 и 50%. Удаление нефти при температуре воздуха +20 °С не зависело от ее содержания на поверхности породы. В процессе большую роль играет термическое нагревание, в том числе и самой породы, поэтому для равномерного распределения горячего пара предусмотрены вращательные движения насадки парогенератора.

При этом происходили нагрев и стекание в сборник нефти и воска, на поверхности породы

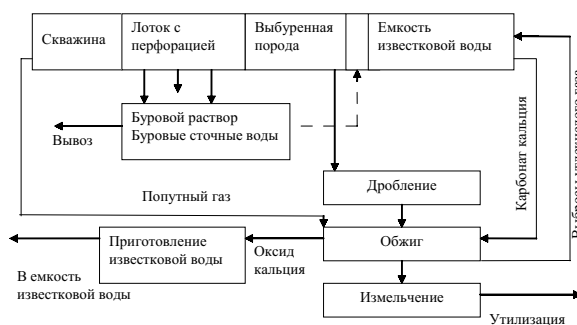


Рисунок 1. Схема технологии утилизации выбуренных пород

регистрировалось визуально некоторое количество смол. В открытом сосуде при температуре воздуха +10 °С извлечение нефти с поверхности горных пород составляет 62%, песка – 55%, глины и почвы – 52%.

Разработанный способ очистки горных пород от нефти горячим паром отличается тем, что очистку проводят в условиях вихревых потоков, создаваемых в закрытом пространстве, с использованием разжижающей среды – водяного пара, в сосуде при температуре 130 °С и давлении 3,5 атм.

В качестве метода определения содержания нефти в выбуренной породе нами использовался метод замедленной флуоресценции. Суть метода заключается в том, что образцы породы облучают световым импульсом определенной интенсивности и длительности. Во время теневой паузы регистрируют параметры затухания флуоресценции образцов, зависящие от содержания нефти в породе.

Мы разработали определения и расчетные формулы коэффициентов замедленной флуоресценции и эффекта замедленной флуоресценции. Коэффициент замедленной флуоресценции – это отношение значения замедленной флуоресценции нефтесодержащей горной породы к значению замедленной флуоресценции горной породы без нефти, характеризующее изменение параметров индукционного уровня замедленной флуоресценции при наличии нефти в горных породах. Коэффициент индукционного уровня замедленной флуоресценции рассчитаем по формуле 1:

$$K = \frac{Fn}{F}, \quad (1)$$

где K – коэффициент индукционного уровня замедленной флуоресценции;

Fn – значение индукционного уровня замедленной флуоресценции нефтесодержащей горной породы, отн. ед.;

F – значение индукционного уровня замедленной флуоресценции горной породы без нефти, отн. ед.

Эффект замедленной флуоресценции – это отношение разности значений замедленной флуоресценции нефтесодержащей горной породы и горной породы без нефти к значению замедленной флуоресценции горной породы без нефти, характеризующее тушение или увеличение замедленной флуоресценции при содержании в горной породе нефти. Эффект замедленной флуоресценции рассчитаем по формуле 2:

$$\Theta = \frac{Fn - F}{F} \quad (2)$$

Коэффициент энергетической эффективности замедленной флуоресценции рассчитывался как отношение индукционного максимума замедленной флуоресценции к стационарному уровню по [7]. Скорость тушения замедленной флуоресценции определяли как отношение разности индукционного максимума замедленной флуоресценции и стационарного уровня к времени выхода индукционной кривой на стационарный уровень по [6].

Отбор известняка, доломита, песчаника, глинисто-алевролитовой породы, слагающих нефтеносные горизонты в Оренбургской области, был проведен на скважинах глубокого бурения из бийского, турнейского и воробьевского горизонтов. Установлено, что каждая геологическая порода имеет определенный интервал значений замедленной флуоресценции, по которому ее можно идентифицировать в составе бурового шлама без химических анализов и решить вопрос о возможности дальнейшей их утилизации. Присутствие нефти снижает значения замедленной флуоресценции всех исследованных геологических пород. В большей степени это снижение отмечено для известняка, при этом эффективность замедленной флуоресценции также возрастает, таблица 1.

По результатам исследований получены математические модели средних значений замедленной флуоресценции от концентрации в породах нефти, которые можно использовать в практике для решения вопроса о выборе дальнейшего направления технологии утилизации.

Способ утилизации выбуренной породы в зависимости от содержания нефти расчетным методом по уравнениям зависимости коэффициентов флуоресценции (y) от содержания в выбуренной породе нефти (x). Формулы 3-6 справедливы при $0 \leq x \leq 40$ %:

$$y_1 = 0,946^x, \quad (3)$$

$$y_2 = 0,969^x, \quad (4)$$

$$y_3 = 0,978^x, \quad (5)$$

$$y_4 = 0,97^x, \quad (6)$$

где x – содержание нефти, %;

y_1 – коэффициент замедленной флуоресценции (известняк);

y_2 – коэффициент замедленной флуоресценции (песчаник);

y_3 – коэффициент замедленной флуоресценции (глинисто-алевролитовая порода);

y_4 – коэффициент замедленной флуоресценции (доломит).

При отсутствии нефти порода направляется непосредственно на утилизацию, а при наличии нефти порода отправляется на термическую обработку, которая состоит из двух фаз. Первая фаза – низкотемпературная термическая десорбция пород при температуре 50, 100, 200 и 280 °С, когда удаляется нефть, что позволяет снизить токсичность отходов пород и расширить сферу их применения. Вторая фаза заключалась в обжиге пород при температуре 400, 600, 800 и 1000 °С. Метод термического анализа позволяет рассмотреть фазовые превращения геологических пород при обжиге и формировать материал с заданными свойствами, таблица 2.

В песчаниках при температуре 800 °С наблюдалось максимальное содержание подвижного фосфора – 53,5 мг/кг, подвижного калия при температуре 400 °С – 200,0 мг/кг и увеличение pH от 9,2 до 13,7 при изменении углекислого и подвижного кальция, поэтому для получения максимального содержания калия в породе не следует увеличивать температуру обжига выше 400 °С.

Содержание подвижного фосфора в глинисто-алевролитовой породе при температуре 1000° увеличилось от 3,0 до 58,0 мг/кг, подвижного калия – от 10,22 до 2376,0 мг/кг, pH при этом изменилась от 7,91 до 10,4, содержание углекислого кальция уменьшилось от 30,52 до 24,64%. В доломите при обжиге содержание под-

Таблица 1. Значения показателей замедленной флуоресценции (ЗФ) для геологических пород с содержанием нефти до 1,2%

Значения ЗФ горной породы, отн. ед./с		Время тушения ЗФ, с	Стационарный уровень ЗФ, отн. ед./с	Коэф-ты ЗФ	Эффект ЗФ	Коэффициенты энергетической эффективности ЗФ пород		Скорость тушения ЗФ пород, отн. ед./с	
с нефтью	без нефти (фон)					с нефтью	без нефти	с нефтью	без нефти
Известняк									
62211	70050	1,5	36	0,8881	-0,1119	1728,0833	1945,8333	41450,0	46699,4079
Глинисто-алевролитовая порода									
14052	24200	1,2	35	0,5807	-0,4193	401,4857	691,4286	11680,8333	20166,1828
Доломит									
20843	30200	2,6	43	0,6902	-0,3098	484,7209	702,3256	8000,0	11615,1192
Песчаник									
17788	30800	1,7	37	0,5775	-0,4225	480,7568	832,4324	10441,7647	18117,3073

Таблица 2. Изменения химических свойств исследованных геологических пород в соответствии с фазовыми превращениями некоторых минералов, по [3]

Порода	Фазовые изменения химических свойств исследованных геологических пород Оренбургской области	Температура (°С) и природа эффекта (по Берту) [3]
Глинисто-алевролитовая порода	Диссоциация кальция, кобальта при температуре 600°С	550-600 – дегидратация
	Увеличение содержания подвижных фосфора и калия при температуре 1000°С	960 – перестройка решетки
	Диссоциация подвижного фосфора, снижение концентрации в 2 раза при температуре 280°С	160-240 – потери адсорбционной воды
	Незначительное увеличение подвижного калия, уменьшение кальция 800-1000 °С	660-700 - потери конституционной воды
	Диссоциация подвижного кобальта и концентрация подвижного марганца при температуре 1000°С	850-900 – экзотермический эффект
Песчаник	При 400°С диссоциация подвижного фосфора, а при 800°С резкое его увеличение, увеличение углекислого кальция и pH при 1000°С, подвижных меди и цинка при 400-800°С, диссоциация подвижного кобальта при температуре от 400 до 1000°С, резкое повышение подвижного марганца при 600°С и диссоциация до фонового показателя при 1000°С	а-кварц (тригональный 32) при 573 переходит в б-кварц (гексагональный 622); при 870 в тридимит (гексагональный);
Известняк	Диссоциация подвижного фосфора и углекислого кальция при 1000°С, два пика повышения pH, подвижной меди при 400 и 800°С, диссоциация подвижных цинка, кобальта до 1000°С, максимальное их содержание при 600°С	855 - 900
Доломит	Повышение pH при 800°С, подвижных меди, цинка, кобальта при 1000°С, максимальное содержание подвижного марганца при 600°С, дальнейшая диссоциация и возврат к фоновому содержанию при 1000°С	855 - 900

вижного калия увеличилось от 12,7 до 58,3 мг/кг, а содержание кальция углекислого и рН изменились незначительно. В известняке содержание подвижного фосфора можно увеличить при обжиге от 3,3 до 20,5 мг/кг, подвижный калий – от 55,5 до 128,0 мг/кг, углекислый кальций уменьшить от 93,57 до 0,5% в результате превращения в известь, при этом рН увеличился до 13,9. Образующиеся при обжиге известняка, доломита и песчаника выбросы загрязняющих веществ представлены в основном углекислым газом, поэтому отводятся и осаждаются в отстойнике с известковой водой.

Оценка возможности использования выбуренных пород для рекультивации проводилась методом биотестирования, таблица 3. Установлено, что песчаник и глинисто-алевролитовая порода после термической обработки относятся к 5-му классу опасности, обладают стимулирующим

действием на растения и наиболее приемлемы для создания искусственной почвы, фосфорно-калийного удобрения, мелиоранта с добавкой доломита.

На основе проведенных исследований предложена технологическая схема утилизации выбуренных пород, включающая низкотемпературную десорбцию углеводородов и высокотемпературный обжиг. При термической обработке в диапазоне температур 600-800 °С увеличивается содержание подвижных форм калия и фосфора. В качестве способа контроля содержания нефти в породе предложена регистрация параметров замедленной флуоресценции. Полученная в результате такой обработки порода может быть использована в сельском хозяйстве, а также при рекультивации загрязненных земель.

16.04.2011

Список литературы:

1. Бельков, В.М. Методы, технологии и концепции утилизации углеродосодержащих промышленных и твердых отходов / В.М. Бельков // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы» – Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ). – №11. – 2007. Источник: <http://www.energospace.ru>.
2. Гамм, Т.А. Управление процессами массопереноса в природно-технической системе: монография. /Т.А. Гамм, А.А. Гамм. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2010. – 236 с.
3. Зырин, Н.Г. Физико-химические методы исследования почв / Н.Г. Зырин, Д.С. Орлов. – М.: МГУ, 1964. – С. 24.
4. Игонин И.П. Технология детоксикации нефтезагрязненных почв и утилизации буровых растворов. /И.П. Игонин, И.Г. Ганеев, В.Ф. Мадякин, Ф.П. Мадякин / Доклад с научной конференции «Промышленная экология и безопасность». Казань, ГОУ КГТУ, 2006. – С. 85-88.
5. Король, В.В. Утилизация отходов бурения скважин / В.В. Король, Г.Н. Позднышев, В.Н. Манырин В.Н. // Экология и промышленность России. – 2005. – №1. – С. 6-8.
6. Петрова, Л.Н. Структурная организация фотосинтетического аппарата и качество зерна озимой пшеницы. / Л.Н. Петрова, Е.В. Ерошенко // Научный журнал КубГАУ. – 2006. – № 24(8). – С. 4-10.
7. Тарусов, Б.Н. Сверхслабые свечения растений и их прикладное значение. /Б.Н. Тарусов, В.А. Веселовский. – М.: Изд-во МГУ, 1978. – 151 с.
8. Храмов Р.А., Персиянцев М.Н. Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений ОАО «Оренбургнефть» / Р.А. Храмов, М.Н. Персиянцев. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. – С. 11, 482-483.

Сведения об авторах:

Ефремов И.В., заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, тел. (3532) 372541

Гамм А.А., соискатель кафедры безопасности жизнедеятельности Оренбургского государственного университета, инженер-эколог ОАО «Компания вотемиро», г.Оренбург, п. Нежинка

Гамм Т.А., доцент кафедры экологии и природопользования Оренбургского государственного университета, доктор сельскохозяйственных наук, доцент
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, тел. (3532) 372544, e-mail: hammtam@mail.ru

UDC 622.244

Efremov I.V., Gamm A.A., Gamm T.A.

Orenburg State University, e-mail: hammtam@mail.ru

TECHNOLOGY OF DRILL CUTTINGS UTILIZATION

The authors investigated the separation of liquid and solid phases during the drilling with hot steam, also they propose methods: delayed fluorescence of oil determination contained in the drill cuttings and removal of oil and changes of the chemical properties of rocks at the two-phase heat treatment. The technological characteristics of the processes are identified. The technology of drilling sludge utilization on oil and gas fields is worked out in this paper.

Keywords: drill cuttings, drilling sludge utilization on oil and gas fields, the hot steam, two-phase heat treatment, delayed fluorescence.