

**ОСОБЕННОСТИ ГОРЕНИЯ СЕРОВОДОРОДСОДЕРЖАЩЕЙ НЕФТИ  
НА ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ****Б.Т. Лесбаев<sup>1\*</sup>, З.А. Мансуров<sup>1</sup>, Ж.А. Кулекеев<sup>2</sup>, Г.К. Нуртаева<sup>2</sup>, Д.У. Бодыков<sup>1</sup>,  
М.С. Абдикаримов<sup>1</sup>, М. Атаманов<sup>1</sup>, С. Турсынбек<sup>1</sup>, Г.Т. Смагулова<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Институт проблем горения, ул. Богенбай батыра, 172, г. Алматы, Казахстан,<sup>2</sup>ТОО «ИНН технологий добычи и бурения «КазМунай Газ», пр. Кабанбай батыра, д. 19, г. Астана, Казахстан  
E-mail: lesbayev@mail.ru**Аннотация**

С целью исследования операционных возможностей использования сжигания на месте в качестве метода ликвидации разливов нефти с высоким содержанием серосодержащих соединений, в работе изучен процесс испарения сероводорода из сероводородсодержащей нефти с месторождения Тенгиз и особенностей ее горения на водной поверхности. Проведен анализ изменения процентного содержания серы в остатках нефти после сгорания. Проведенные исследования показали, что общий процесс горения серосодержащей нефти не имеет существенных отличий по стабильности распространения пламени, по изменению температуры горения от процесса горения нефти, не содержащей сероводород. Основным отличием является то, что процесс горения нефти, содержащей сероводород приводит к повышению концентрации серы в остатке нефти после сгорания. Повышение концентрации серы объясняется образованием стабильно-связанных серосодержащих соединений, образующихся в реакциях сероводорода и углеводородных соединений нефти при высоких температурах горения.

**Ключевые слова:** разливы нефти, горение, сероводород, промилле.

**Введение**

На современном этапе в условиях интенсивного развития промышленности повышается потребность в энергетических ресурсах. Несмотря на прогнозы, что в течение 2020-2030 гг. в мире будет добыта практически вся нефть, нефтедобывающая отрасль все еще занимает особое место в секторе энергетики. Практически вся технологическая цепочка по разведке и добыче нефти, ее транспортировке, хранению, заканчивая переработкой и использованием нефтепродуктов, связана с сильным загрязнением окружающей среды [1-3]. В связи с этим все процессы, связанные с нефтью, представляют значительную экологическую опасность. Наиболее опасными с точки зрения воздействия на окружающую среду являются аварийные ситуации при транспортировке нефти по водным акваториям на танкерах и трубопроводами, как наземными, так и подводными [4]. Последний вид аварий особенно характерен для нефтедобывающих стран СНГ. Главными причинами разрывов трубопроводов являются: коррозия металла (внутренняя – 86%, внешняя – 5,3%). Следует отметить, что при перекачке нефтей с высоким содержанием серосодержащих соединений, в частности

сероводорода и меркаптанов, опасность коррозии труб возрастает. А некоторые нефтегазовые месторождения Казахстана характеризуются повышенным содержанием вышеупомянутых агрессивных компонентов. Эти проблемы приобретают особенную актуальность с началом работ по освоению месторождения Кашаган. Разработка месторождения ведется в сложных геологических условиях: шельфовая зона, большие глубины залегания (до 4800 м), высокое пластовое давление (80 МПа) и самое важное – это высокое содержание сероводорода (до 19%), которое приводит к быстрой коррозии трубопроводов, что повышает риск разливов нефти на этом месторождении. На основании вышеизложенного, становятся актуальными вопросы, связанные с научными разработками, направленными на разработку и создание эффективных методов ликвидации аварийных разливов нефти с высоким содержанием сероводорода. При разливе нефти на поверхности воды возможно применение различных методов.

Наиболее традиционный – сбор нефти с поверхности воды механическими способами. Для этого используются боновые заграждения, оснащенные насосами, которыми нефть подается в коллекторные емкости, что достаточно

эффективно только в условиях спокойной воды. Такой способ применяется для удаления нефтяных пятен больших объемов (при толщине слоя 10 мм и более). Этот способ требует сооружения отстойников очистки отстоявшейся воды от растворенных углеводов.

Другой подход заключается в использовании различных химических средств. Сорбционный метод заключается в применении специальных материалов, которые адсорбируют нефть из воды. Он эффективен при удалении небольших количеств и тонких слоев нефти. Это связано с необходимостью выделения нефти из сорбента, вопросами утилизации загрязненного нефтью сорбента после его использования. Очевидно, что адсорбент, пригодный для восстановления, позволит более эффективно решать проблемы очистки воды от загрязнений нефтью.

К химическим методам ликвидации разлива нефти на воде относится использование диспергентов – специальных химических веществ, которые разрушают нефтяную пленку на поверхности воды на мелкие капли. Они не удаляют нефть из воды, а рассеивают нефтяную пленку на поверхности воды на мелкие капли. Нефть становится более доступной для разложения микроорганизмами, и процессы естественного разрушения нефти ускоряются.

К химическим средствам, используемым при ликвидации разливов относятся также «хердеры» или собиратели, которые, будучи распыленными вокруг поверхности нефтяного пятна, способствуют сжиманию и утолщению нефтяной пленки.

Третье направление, которое развивается при решении проблем ликвидации нефтяных разливов, – это биологическое. Биотехнологии применимы только в теплый период и требуют значительного времени на переработку нефти (2-4 месяца). Кроме того, при наличии толстой пленки (свыше 3 мм) доступ кислорода в воду прекращается, растительность и животные гибнут, прежде чем бактерии успевают разрушить нефтепродукты. В случае использования биопрепаратов строятся специальные площадки, на которых проводится переработка собранных нефтепродуктов.

Используется еще один способ ликвидации разливов нефти – это сжигание, которое также имеет свои преимущества и ограничения. Для всех перечисленных систем ликвидации разливов критическое значение имеет время. Как только нефть разливается на воде,

она начинает растекаться, испаряться и превращаться в эмульсию. С течением времени разлитую нефть, как правило, становится все сложнее отслеживать, удерживать и извлекать или обрабатывать. Вследствие этого быстрые мобилизация и развертывание оборудования по ликвидации разливов нефти имеют важное значение для эффективной ликвидации последствий разливов в целом [5]. Этим свойством обладает метод сжигания нефти.

Для первых трех перечисленных методов необходимо непосредственное участие людей на местах, и высокое содержание сероводорода в разлитой нефти имеет свое негативное влияние. О токсичности сероводорода для человека известно на протяжении столетий. В настоящее время этот газ занимает первое место в списке отравляющих веществ при добыче, перекачке и переработке нефти и газа. Мы начинаем ощущать его запах при концентрации в воздухе, равной 0,0047 миллионных долей. В концентрации 500 миллионных долей сероводород вызывает нарушения дыхания, а концентрация 800 миллионных долей за пять минут приводит к смерти. Метод сжигания разливов нефти не требует непосредственного участия людей на местах, и это относится к еще одному преимуществу сжигания, как метода ликвидации разливов нефти, содержащей сероводород. Исходя из вышеизложенного, в предлагаемой работе изучены процессы испарения сероводорода из сероводородсодержащей нефти. Изучены процессы горения нефти, содержащей сероводород, на водной поверхности при различных ее соленостях.

### Экспериментальная часть

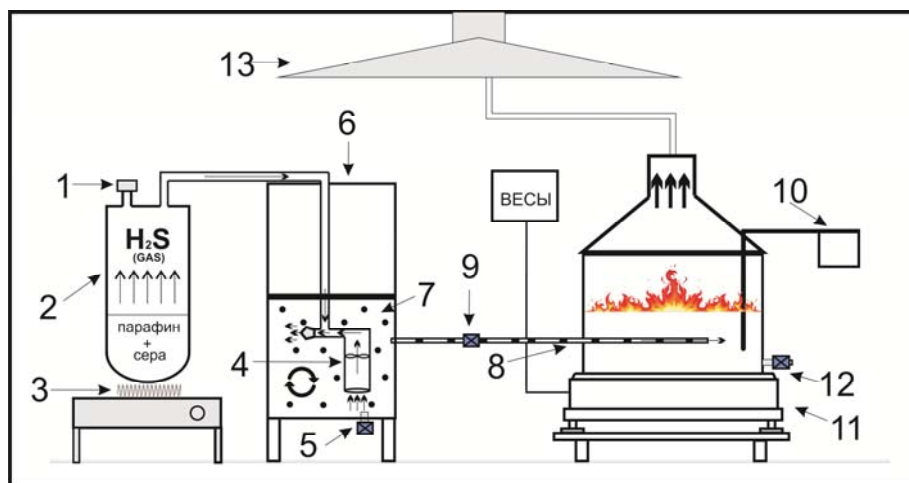
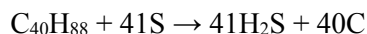
Исследования проводились с дегазированной нефтью с месторождения Тенгиз. Для получения газообразного сероводорода и для насыщения нефти сероводородом была собрана установка, показанная на рис. 1. Установка для получения сероводорода состоит из герметичного сосуда (2), сваренного из железа с толщиной стенок 0,3 мм с патрубком (1) для выхода газа и нагревателя (3). Для получения сероводорода была использована стандартная методика: 100 г парафина перемешивали с измельченной серой массой 60 г, нагревали до плавления парафина и производили перемешивание до получения однородной массы. Полученную массу заливали в железный сосуд и производили нагрев до температуры свыше

170 °С, выделение сероводорода определяли индикаторной бумагой пропитанной ацетатом свинца.

В процессе химической реакции парафин (а именно водород, находящийся в парафине)

взаимодействует с серой, при этом выделяется сероводород и образуется углерод.

Реакция протекает по следующему уравнению:



1 – патрубок, 2 – герметичный сосуд, 3 – нагреватель, 4 – аэратор, 5, 9, 12 – краны, 6 – герметичный сосуд с нефтью, 7 – диффузор-распылитель, 8 – труба для подачи нефти, 10 – температурный датчик, 11 – весы

Рис. 1 – Схема установки по получению и насыщению сероводородом исходной нефти

Для насыщения нефти сероводородом в герметичный сосуд с нефтью (6) помещался аэратор (4), принцип работы которого заключался в том, что через патрубок компрессором прогоняется нефть в количестве 600 л/ч, которая за счет выхода с большой скоростью потока нефти из патрубка захватывает сероводород объемом порядка 300 см<sup>3</sup>/мин. Смесь нефти и сероводорода вытесняется через диффузор-распылитель и таким образом нефть насыщается сероводородом в виде мелких пузырьков (7). Проведенные исследования показали, что происходит интенсивное испарение пузырьков сероводорода из нефти, поэтому запуск нефти в установку производился сразу после насыщения сероводородом.

Были проведены исследования по изучению динамики процесса испарения сероводорода из нефти в зависимости от времени нахождения на поверхности воды. Процентное содержание испаряющегося сероводорода в объеме установки было произведено с использованием стандартного линейно-колориметрического экспресс-метод анализа. Линейно-колориметрический метод основан на протягивании исследуемого смеси газа через стеклянные индикаторные трубки и измерении длины окрашенного столбика порошка от кон-

центрации сероводорода. Анализ проводился на универсальном газоанализаторе УГ-2. При измерении концентрации сероводорода были использованы индикаторные трубки для сероводорода ТУ - РЮ - АЖ 415522505. Измерение проводилось в следующем порядке:

- измерение проводилось при запуске нефти по истечению 15-30 секунд.
- измерение проводилось по истечению 15 мин после запуска нефти.
- откачивали вытяжной системой накопленный сероводород и следующее измерение производили по истечению 15 мин с момента вытяжки. Измерения проводились до уменьшения концентрации сероводорода до минимума.

Процесс горения нефти с содержанием сероводорода изучали при следующих условиях:

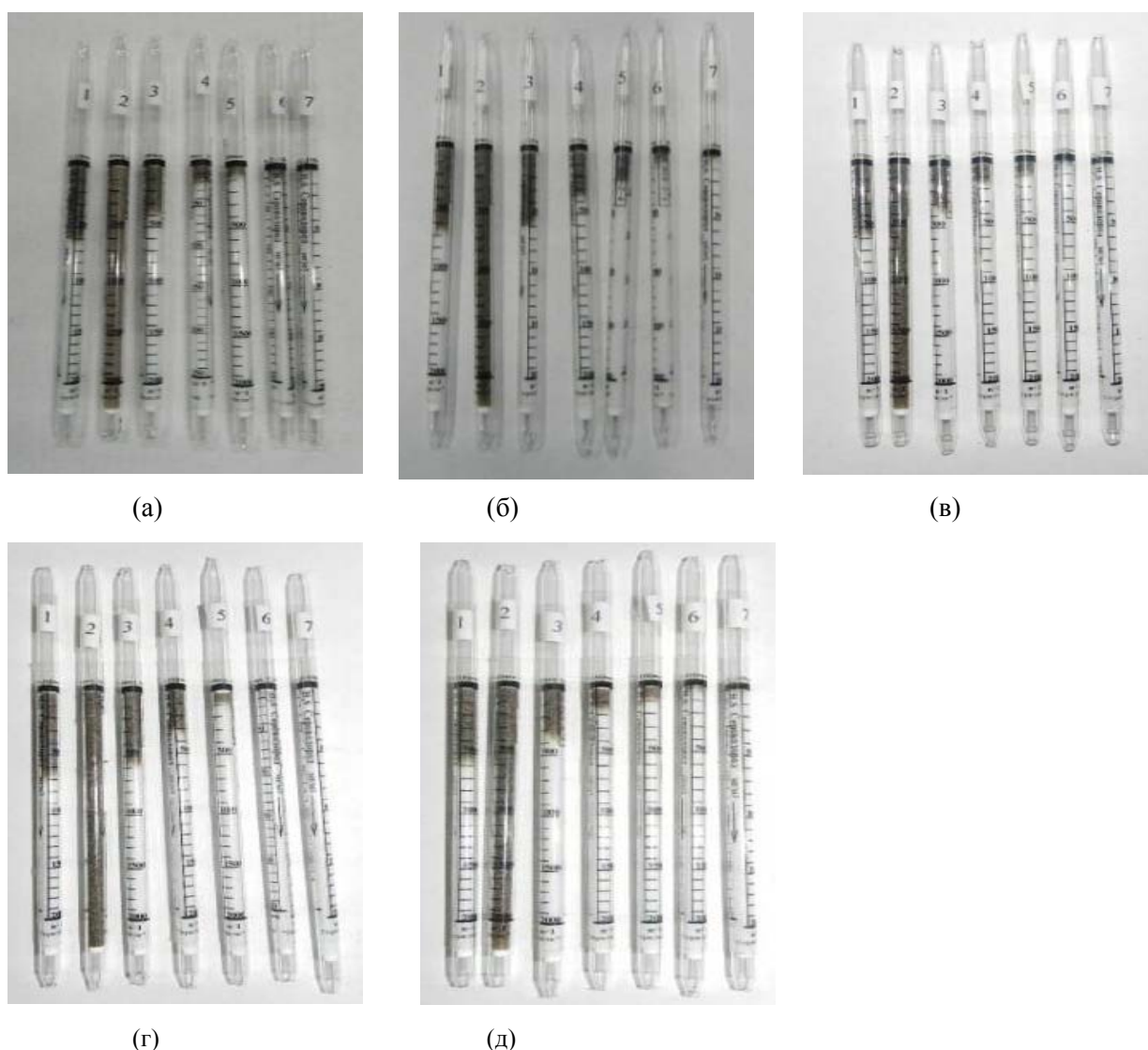
- объем воды составлял 12 л, объем нефти 360 мл. Объем установки по сжиганию 0,8 м<sup>3</sup>.
- поджиг производили сразу после запуска нефти, содержащей сероводород.
- поджиг производили после того, как испарение сероводорода доходило до минимума.
- во время процесса горения с помощью термометрических датчиков производили измерение температуры в 3 точках в слое воды и 6 точках в объеме пламени непрерывно до конца горения через каждые 600 мс. Измерения проводи-

лось автоматической системой контроля с записью выходных данных температуры на компьютер. Для измерений температуры пламени использовались стационарно установленные хромель-алюмелевые термопары, а для измерения температуры воды использовались резистивные датчики.

– после завершения процесса горения измеряли объем остатков нефти и производили отбор проб остатков нефти для проведения анализа на содержание серы.

### Результаты и обсуждение

Первым разделом проведенных экспериментальных исследований было определение динамики испарения сероводорода с поверхности нефти, содержащей сероводород, и измерение концентрации сероводорода в объеме установки. На рис. 2 показаны снимки индикаторных трубок, использованных при измерении.



(а) – 0 ‰; (б) – 6 ‰, (в) – 12 ‰; (г) – 18 ‰; (д) – 35 ‰

Рис. 2 – Показания индикаторных трубок, использованных при измерении концентрации сероводорода при разных соленостях воды

Проведенные исследования показали, что динамика испарения сероводорода с поверхности нефти, насыщенной сероводородом, не

претерпевает существенных изменений в зависимости от солености воды.



Температура воды поддерживалась в промежутке 18-20 °С. Среднее время испарения сероводорода до минимального значения, составило 1 ч 30 мин. Сразу после заливки нефти концентрация сероводорода в объеме установки составляет от 600 до 700 мг/см<sup>3</sup>. По истечении 15 мин концентрация сероводорода достигает 2000 мг/см<sup>3</sup>. По истечении следующих 15 мин после того, как вытяжкой удаляется сероводород, заново измеренная концентрация достигает 500-550 мг/см<sup>3</sup>. В последующие 15 мин после вытяжки концентрация сероводорода уменьшается до 350-400 мг/см<sup>3</sup>. В последующие 15 мин после вытяжки, по истечении 1 ч с начала эксперимента концентрация сероводорода уменьшается до 50-100 мг/см<sup>3</sup>. По истечении 1 ч 15 мин концентрация сероводорода уменьшается до 25-30 мг/см<sup>3</sup>. И последние измерения, проведенные по прошествии 1 ч 30 мин показали, что концентрация сероводорода составляет менее 10 мг/см<sup>3</sup>. Последующие измерения показывают отсутствие сероводорода в пределах чувствительности прибора УГ-2. По прошествии 1 ч 30 мин производили поджиг нефти.

Вторым разделом проведенных исследований было изучение процесса горения нефти, содержащей сероводород в герметичной установке при постоянной вытяжке продуктов горения. Суть исследований состоял в изучении температурных режимов горения и степени выгорания нефти в зависимости от солености воды. Измерения температуры пламени проводили стационарно установленными шестью хромель-алюмелевыми термопарами, расположенными по высоте пламени через каждые 4 см, первая термопара располагалась также на уровне 4 см от поверхности нефтяной пленки. Измерение температуры воды проводили специальными датчиками, представляющими собой резистивные элементы, которые были расположены в 2 см от поверхности нижней части нефтяной пленки и ниже на уровне 4 см и 12 см. Результаты измерений в реальном режиме через каждые 600 мс записывались на компьютер автоматической системой контроля. На рис. 3 показана схема установки, на которой проводились исследования процесса горения нефти, содержащей сероводород.

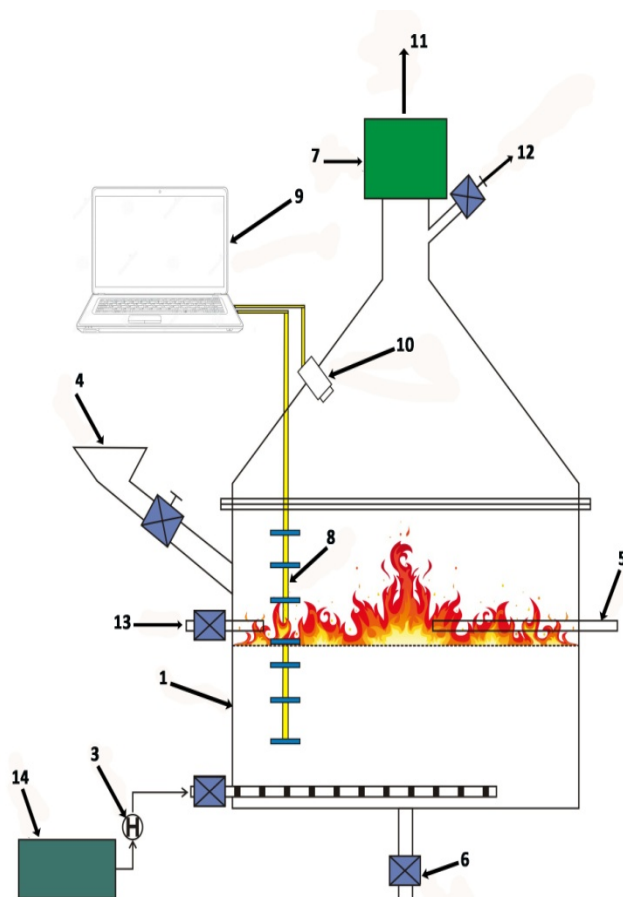
Оценку концентрационной насыщенности сероводородом нефти проводили следующим образом: измеряли массу исходной 1 л нефти вместе с тарой, следом проводили насыщение нефти сероводородом по описанной выше методике и производили измерение массы насыщенной нефти. Разница в массе в среднем составляет 4 г, что соответствует содержанию сероводорода в нефти 4 г/л. Расчеты показывают, что в 360 мл заливаемой нефти при нормальном атмосферном давлении содержится порядка 1000 см<sup>3</sup> газообразного сероводорода в виде пузырьков.

Процесс горения серосодержащей нефти производился в полностью герметичной установке, воздух, необходимый для горения, поступал через специальный патрубок, отходящие газы, образующиеся при испарении сероводорода, и процесса горения нефти вытягивались вытяжной системой. Вытяжная система снабжена углеродным фильтром, предназначенным для улавливания сероводорода. При таких условиях процесс горения нефти отличается от процесса горения в открытом пространстве.

Интенсивное поступление воздуха через патрубок формирует вихревые потоки в пламени и приводит к более полному сгоранию с образованием в пламени малого количества сажи. Это условие не позволило произвести сбор сажи для анализа. Изучение температурных режимов пламени показывает сильное изменение градиента температуры во всем объеме пламени. Градиент температуры колеблется от 300 °С в нижней части пламени и до 920 °С в верхней части пламени. Температура воды на уровне 2 см от поверхности нефтяной пленки повышается на 2-3 градуса, а температура нижних пластов воды практически не претерпевает изменений.

Основной целью исследований было изучение степени выгорания нефтяной пленки, содержащей сероводород с максимальным насыщением и по мере его испарения, а также исследование остатков нефти после выгорания на содержание серы.

В первую очередь было произведено контрольное сжигание исходной тенгизской нефти, которая не насыщена сероводородом при 0‰ солености воды.



1 – рабочая камера, 2 – герметичная емкость для исходного сырья, 3 – насос для закачки нефти, 4 – воронка для заливки воды, 5 – горелка для поджога, 6 – вентиль, 7 – фильтр, 8 – термодатчики, 9 – компьютер, 10 – видеокамера, 11 – вытяжка, 12 – отбор проб, 13 – поток воздуха, 14 – емкость с нефтью

Рис. 3 – Экспериментальная установка для сжигания нефти, содержащей сероводород

Остаток нефти после выгорания составил 70 мл, время горения 4 мин 17 сек, температура в объеме пламени колебалась в промежутке температур 300-900 °С.

В таблице 1 приведены результаты исследований по горению тенгизской нефти насыщенной сероводородом. Поджиг производился через 1 ч 30 мин после заливки нефти.

Таблица 1 – Результаты исследований по сжиганию тенгизской нефти насыщенной сероводородом

| Соленость воды | Объем залитой нефти, мл | Объем остатков нефти, мл | Градиент температуры в объеме пламени по высоте, °С | Время горения нефти |
|----------------|-------------------------|--------------------------|---|---------------------|
| 0 ‰            | 360                     | 70                       | 300-920   | 4 мин 15 сек        |
| 6 ‰            | 360                     | 80                       | 300-920   | 4 мин 27 сек        |
| 12 ‰           | 360                     | 100                      | 300-920   | 4 мин 32 сек        |
| 18 ‰           | 360                     | 110                      | 300-920   | 4 мин 24 сек        |
| 35 ‰           | 360                     | 130                      | 300-920   | 4 мин 40 сек        |

В этих экспериментах наблюдается влияние солёности воды на процесс выгорания нефтяной пленки. С повышением солёности воды остается большее количество остатков невыгоревшей нефти. Это явление объясняется ингибирующим действием соли в составе воды

на процесс горения. Можно выделить два механизма влияния солёности воды на процесс горения. Первое, образование порошкообразной соли при испарении капель воды, которые поднимаются в пламя за счет кипения воды. Порошкообразная соль оказывает ингибирующую

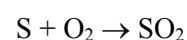
щее действие в основном за счет выноса тепла из зоны горения и изолирующим воздействием на топливо. Второе, соль выступает в роли ингибитора горения и является отрицательным катализатором, тормозящим реакцию при неизменной температуре горения. Механизм воздействия соли на процесс горения заключается в обрыве реакционных цепей при окислении горючего, соль реагирует с активными центрами реакции и превращает их в устойчивые продукты, что приводит к снижению интенсивности горения.

Для определения влияния сероводорода на процесс горения нефти, были проведены эксперименты по сжиганию нефти, насыщенной сероводородом, сразу после заливки при разных соленостях. Существенных визуальных изменений в процессе горения нефти не наблюдалось, температура в объеме пламени колебалась от 300 до 900 °С, время горения порядка 4 мин, остаток нефти составил 70-130 мл.

Третьим разделом исследований было проведение анализа общего процентного содержания серы в остатках нефти после сгорания. Исследования проводились на анализато-

ре содержания серы в нефти и нефтепродуктах «Спектроскан S». В таблице 2 приведены результаты проведенных исследований.

Проведенные исследования показывают, что происходит повышение процентного содержания серы в процессе насыщения нефти сероводородом и в остатках нефти после сжигания. Одним из объяснений повышения содержания серы в остатках нефти после сжигания может быть то, что исходное содержание начальной серы перешло в меньший объем нефти, т.к. при сжигании сгорает от 4 до 5 частей нефти. При горении серы образуется сернистый ангидрид:



Процесс окисления серы в диоксид представляет собой цепную реакцию и происходит с образованием ряда промежуточных продуктов: монооксида серы  $S_2O_2$ , молекулярной серы  $S_2$ , свободных атомов серы  $S$  и свободных радикалов монооксида серы  $SO$ , которые остаются в составе нефти.

Таблица 2 – Результаты по содержанию серы в образцах

| № пробы  | Образец   | Содержание серы |
|----------|---|-----------------|
| Проба №1 | Исходная тенгизская нефть   | 0,565 %         |
| Проба №2 | Исходная тенгизская нефть после сжигания  | 0,979 %         |
| Проба №3 | Исходная тенгизская нефть, насыщенная сероводородом                                     | 0,632 %         |
| Проба №4 | Нефть, насыщенная сероводородом и сожженная сразу после заливки                         | 1,176 %         |
| Проба №5 | Нефть, насыщенная сероводородом и сожженная через 1 час 30 минут                        | 1,151 %         |
| Проба №6 | Нефть, насыщенная сероводородом и сожженная сразу после заливки при солености воды 6 ‰  | 1,183 %         |
| Проба №7 | Нефть, насыщенная сероводородом и сожженная сразу после заливки при солености воды 35 ‰ | 1,086 %         |

Дополнительное повышение содержания серы в образцах насыщенных сероводородом можно объяснить небольшим количеством сероводорода, остающегося в виде пузырьков, и тем, что в процессе насыщения в составе нефти за счет реакций сероводорода с полиароматическими соединениями образуются стабильно-связанные серосодержащие соединения.

Процесс горения нефти, содержащей сероводород, приводит к повышению концентрации серы в составе несгоревших остатков нефти.

Дополнительное повышение серы можно объяснить образованием стабильно-связанных серосодержащих соединений, которые образуются в реакциях сероводорода и углеводородных соединений нефти.

Эти процессы становятся возможными из-за высокой температуры горения.

Сравнительно меньшее содержание серы в образце №7 объясняется большим объемом (130 мл) остатков нефти после сгорания.

**Заключение**

Таким образом, проведенные исследования показали, что в процессе насыщения тенгизской нефти сероводородом, в составе нефти образуются 0,067% дополнительных стабильных соединений нефти, а сероводород присутствует в составе нефти в газообразном состоянии виде пузырьков. При прохождении нефти, содержащей сероводород, через слой воды и ее нахождении на поверхности воды растворения сероводорода в воде не происходит. В процессе сжигания нефти, содержащей сероводород, происходит образование стабильных соединений серы, которые повышают процентное содержание серы в остатках нефти после сгорания. Проведенные исследования по сжиганию тенгизской нефти, содержащей сероводород, на поверхности воды, показали, что общий процесс горения серосодержащей нефти не имеет существенных отличий по стабильности распространения пламени, по изменению температуры горения. Основное отличие выражается в том, что процесс горения нефти, содержащей сероводород, приводит к повышению концентрации серы в остатке нефти после сгорания. Дополнительное повышение серы объясняется образованием стабильно-связанных серосодержащих соединений, которые образуются в реакциях сероводорода и углеводородных соединений нефти при высоких температурах горения.

**Литература**

1. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. – М.: Инноктаво. – 2005. – 368 с.
2. Мансуров З.А., Лесбаев Б.Т., Приходько Н.Г., Тулеутаев Б.К., Приймак Д.Д., Казаков Ю.В., Кулекеев Ж.А., Нуртаева Г.К., Джунусов А.Н., Смайлов Н.К., Мансуров Б.З., Топанов Б.Г. Горение нефтяных слоев на поверхности воды // Горение и плазмохимия. – 2012. – Т. 10, № 1. – С. 3-11.
3. Mansurov Z.A., Prikhodko N.G., Tuleytayev B.K., Priimak D.D., Kazakov Yu.V., Kulekeev Zh.A., Nurtaeva G.K., Dzhunusov A.N., Smailov N.K., Mansurov B.Z., Topanov B.G. Burning Oil Layer on the Surface of Water. Nonequilibrium Processes, Plasma, Combustion, and Atmospheric Phenomena / Ed. By A.M. Starik and S.M. Frolov. – Moscow: TORUS PRESS Ltd., 2012. – P. 330-336 №
4. Кулекеев Ж.А., Нуртаева Г.К., Мансуров З.А., Лесбаев Б.Т. Возможности применения метода сжигания нефти на море. Нефть и Газ. – 2016. – № 1 (91). С. – 70-81.
5. Ликвидация разливов нефти и нефтепродуктов на море и внутренних акваториях. Расчет достаточности сил и средств: методические рекомендации / С.В. Маценко, Г.Г. Волков, Т.А. Волкова. – Новороссийск: МГА им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2009. – 78 с.

---

**FEATURES OF COMBUSTION OF OIL CONTAINING HYDROGEN SULPHIDE ON THE SURFACE OF THE WATER**

**B.T. Lesbayev<sup>1\*</sup>, Z.A. Mansurov<sup>1</sup>, Zh.A. Kulekeev<sup>2</sup>, G.K. Nurtayeva<sup>2</sup>, D.U. Bodykov<sup>1</sup>, M.S. Abdikarimov<sup>1</sup>, M.K. Atamanov<sup>1</sup>, S. Tursynbek<sup>1</sup>, G.T. Smagulova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Combustion Problems, 172 Bogenbai Batyr St., 050012 Almaty, Republic of of Kazakhstan

<sup>2</sup>Scientific-Research Institute of production and drilling technology of "KazMunayGas", 19 Kabanbai Batyr St., 010000 Astana, Republic of Kazakhstan E-mail: lesbayev@mail.ru

**Annotation**

In order to investigate the operating possibilities in-situ burning of oil spills with high content of sulfur compounds, in this work the evaporation process of hydrogen sulfide from sulfurous oil from Tengiz field was studied as well as characteristics of its combustion on the water surface. The variation analysis of sulfur percentage in oil residue after burning is carried out. The conducted studies have shown that overall combustion process of sour oil has not significant differences on stability of flame spreading, on variation of combustion temperature from combustion process of the oil which is free of hydrogen sulfide. The principal difference is that the combustion process of sour oil leads to increase of sulfur concentration in oil residue after burning. The increase of sulfur concentration is explained by the formation of stable-bounded sulfur - containing compounds that forming in hydrogen sulfide reactions and hydrocarbon compounds of oil at high combustion temperatures.

**Keywords:** oil spills, combustion, hydrogen sulfide, permille.



**ҚҰРАМЫНДА КҮКІРТ ҚОСЫЛЫСТАРЫ БАР МҰНАЙДЫҢ ЖАНУ ЕРЕКШІЛІКТЕРІ**

**Б.Т. Лесбаев<sup>1\*</sup>, З.А. Мансуров<sup>1</sup>, Ж.А. Кулекеев<sup>2</sup>, Г.К. Нуртаева<sup>2</sup>, Д.У. Бодыков<sup>1</sup>,  
М.С. Абдикаримов<sup>1</sup>, М. Атаманов<sup>1</sup>, С. Турсынбек<sup>1</sup>, Г.Т. Смагулова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> «Жану проблемалар институты» 050012, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы, Богенбай батыр, 172,

<sup>2</sup> «Тау-кен және бұрғылау технологияларды зерттеу институты «ҚазМұнайГаз»,

01000, Қазақстан Республикасы, Астана, пр. Кабанбай батыр, 19

E-mail: lesbayev@mail.ru

**Аннотация**

Зерттеу мақсаты ретінде құрамында жоғары күкірт қосылыстары бар мұнай төгінділерін жағу әдісі көмегімен жинау болып табылады. Тенгиз кен орнының құрамында күкірт пен күкірт қосылыстары бар мұнайдың булану және оның су бетінде жану ерекшелігі зерттелінді. Мұнайды жаққаннан кейін қалған қалдықтарының құрамындағы күкірттің пайыздық мөлшері өлшеніп, талдау жасалды. Зерттеулер нәтижесі құрамында күкірті бар мұнайдың жану үдерісінің жану температурасы, жалынның таралуы, күкіртсіз мұнай жануымен салыстырғанда айқын айырмашылық байқалмағанын көрсетті. Негізгі айырмашық құрамында күкірті бар мұнайдың жану үдерісінен кейін жану өнімдері құрамында күкірттің мөлшері жоғары болатындығы анықталды. Мұнай жануының жоғары температураларында құрамындағы күкіртсутек пен көмірсутектер қосылысынан тұрақты құрамында күкірті бар қосылыстар түзілуі нәтижесінде күкірт мөлшерінің жоғарылауына әкеледі.

**Кілт сөздер:** мұнай төгінділері, жану, күкіртсутек, промилле.