

Лекция 4. Экспериментальные исследования технологий термического воздействия на жидкость в пористой среде

Исследования проводились для решения следующих задач:

а) проведение экспериментальной верификации численного моделирования;

б) экспериментального изучения распространения теплового фронта в средах с разной проницаемостью;

в) исследования на стенде локальных тепловых характеристик двухкомпонентной жидкости в пористой среде с нагревом (моделирование технологии ВТТ);

г) исследования на стенде локальных тепловых характеристик двухкомпонентной жидкости в пористой среде с нагнетанием жидкости (моделирование технологии ПГВ);

д) сравнения двух технологий ПГВ и с применением ВТТ.

Работы проводились по программе и методике испытаний, приведенных в приложениях А и Б.

4.1. Стенды для изучения термического воздействия на жидкость в пористой среде

Для моделирования процессов, происходящих в нефтеносном пласте без закачки теплоносителя, был разработан лабораторный стенд (рисунок 4.1).

Стенд для исследования термического воздействия представляет собой параллелепипед длиной 440 мм, шириной 250 мм и высотой 680 мм, вдоль длинной стороны, которого в нижней части проходит перфорированный патрубок. В патрубке установлен нагревательный электрический элемент (секция электромаслонагревателя трубчатого серии СЭМ ТУ 3443-001-16801570-2000, ООО НПП «Теплотехника», г. Октябрьский, РБ) мощностью 1,9 кВт, патрубок и крышка стенда оснащены манометрами ГОСТ 2405-88.

Верхний манометр ДМ 1001-400 кПа-1,5 ТУ (фирма «Росма») снабжен регулируемым пружинным аварийным клапаном, который установлен на срабатывание при превышении начального давления на 0,1 МПа.

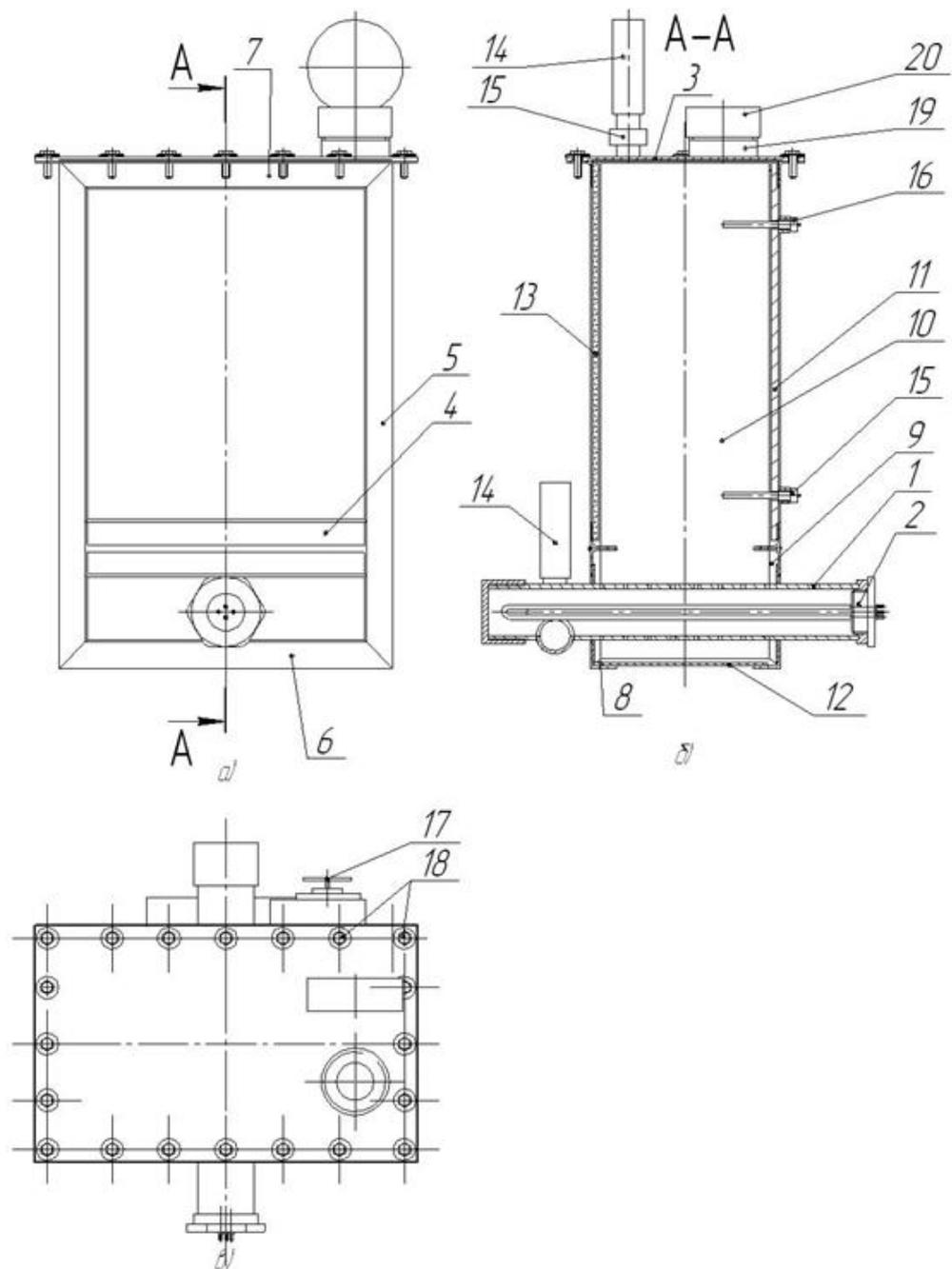


Рисунок 4.1 - Вид станда для изучения технологии с ВТТ со стороны подключения нагревательного элемента (а), разрез А-А (б), вид сверху (в):

1 - перфорированный патрубок; 2 - нагревательный элемент; 3 - крышка; 4 - переключки; 5 - боковые уголки; 6 - передний и задний уголки; 7 - передний и задний верхние уголки; 8 - верхние и нижние боковые уголки; 9 - передняя и задняя нижние стенки с отверстиями; 10 - боковые стенки; 11 - задняя верхняя стенка; 12 - дно; 13 - термостойкое стекло; 14 - манометры; 15 - аварийный клапан; 16 - термодатчики; 17 - сливной кран; 18 - болты; 19 - горловина; 20 - пробка

Нижний манометр ДМ 1001-600 кПа-1,5 ТУ (фирма «Росма») соединен с патрубком. С целью изучения процессов прогрева пласта с помощью тепловизора передняя стенка стенда выполнена из бронированного стекла. Задняя стенка оснащена термодатчиками, установленными по оси стенки на различных уровнях.

Для исследования термического воздействия на пористую среду с закачкой теплоносителя стенд (рисунок 4.2) оснащен отборным патрубком с краном, аварийный клапан при данных исследованиях настраивался на срабатывание при превышении начального давления на 0,25 МПа.

4.2. Изучение естественных конвекционных процессов воды и пара в пористой среде

Стенд (рисунок 4.1) заполнили смесью кварцевого песка и воды. Для заполнения стенда потребовалось 22,5 л ($22,5 \text{ дм}^3$) жидкости и 128 кг ($53,4 \text{ дм}^3$) кварцевого песка ГОСТ 22551-77, что соответствует 30% содержанию жидкости в пористой среде.

Стенд заполняли последовательно партиями по 3 л жидкости и 17 кг ($7,12 \text{ дм}^3$) песка с уплотнением песка без ударов до водопроявления сверху. После достижения смесью уровня верхней кромки стекла верхнюю часть стенда заполнили густой глиной. Стенд сверху закрыли крышкой с прокладкой, и герметично прижали к корпусу болтами, при этом излишки жидкости и глины выдавились через горловину крышки. Излишки удалили, а горловину герметично закрыли пробкой. Выдержали перед испытаниями сутки для схватывания глины, играющей роль кровли пласта.

После подключения нагревательного элемента согласно схемы производителя через выключатель к источнику электрического питания подключили термодатчики к регистрирующей аппаратуре. Со стороны термостойкого стекла на расстоянии 1,5 м от него установили тепловизор Testo 882 (серийный № 2405013).

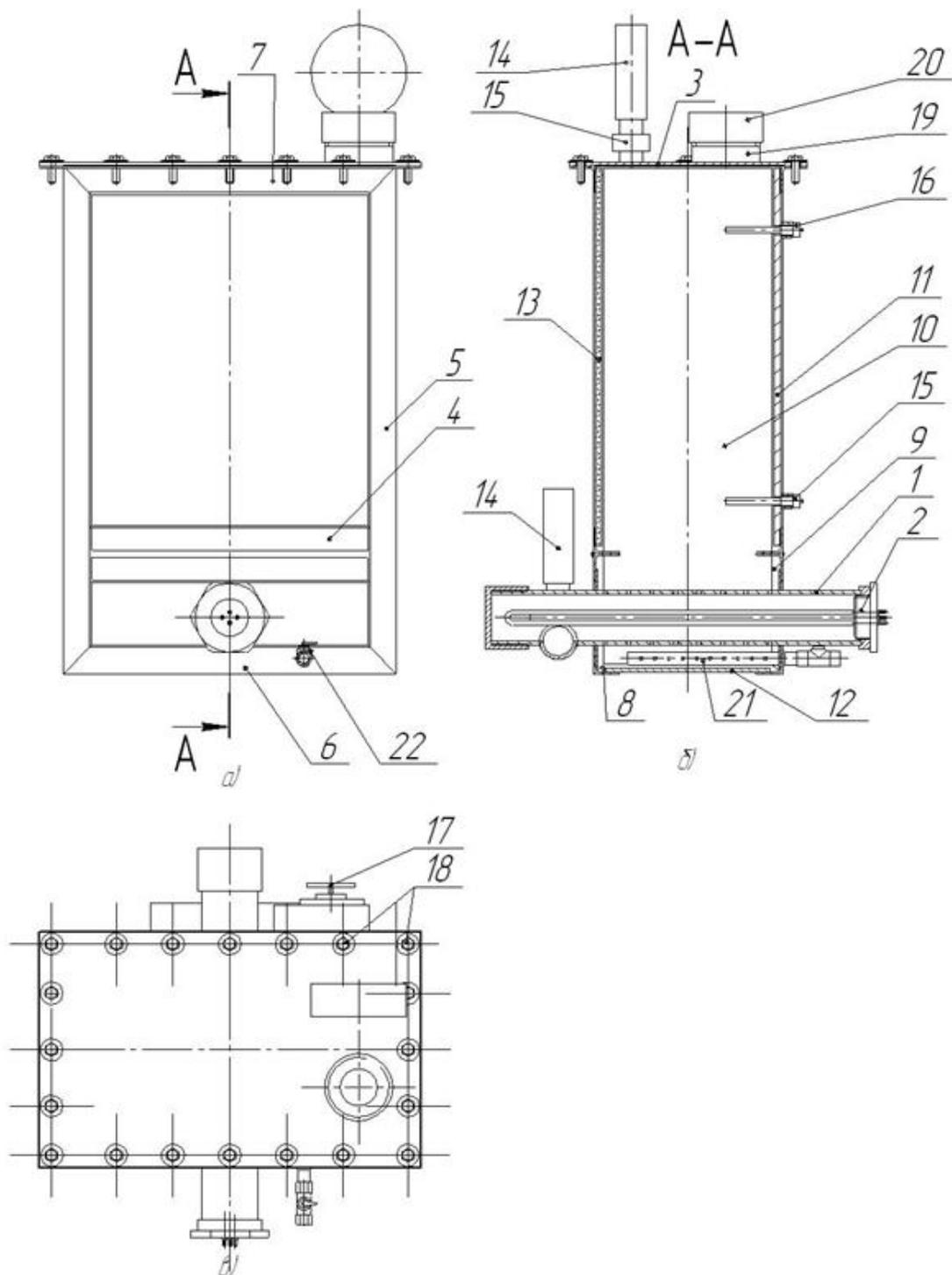


Рисунок 4.2 - Вид станда для изучения технологии ПГВ со стороны подключения нагревательного элемента (а), разрез А-А (б), вид сверху (в):

1 - перфорированный патрубок; 2 - нагревательный элемент; 3 - крышка; 4 - переключки; 5 - боковые уголки; 6 - передний и задний уголки; 7 - передний и задний верхние уголки; 8 - верхние и нижние боковые уголки; 9 - передняя и задняя нижние стенки с отверстиями; 10 - боковые стенки; 11 - задняя верхняя стенка; 12 - дно; 13 - термостойкое стекло; 14 - манометры; 15 - аварийный клапан; 16 - термодатчики; 17 - сливной кран; 18 - болты; 19

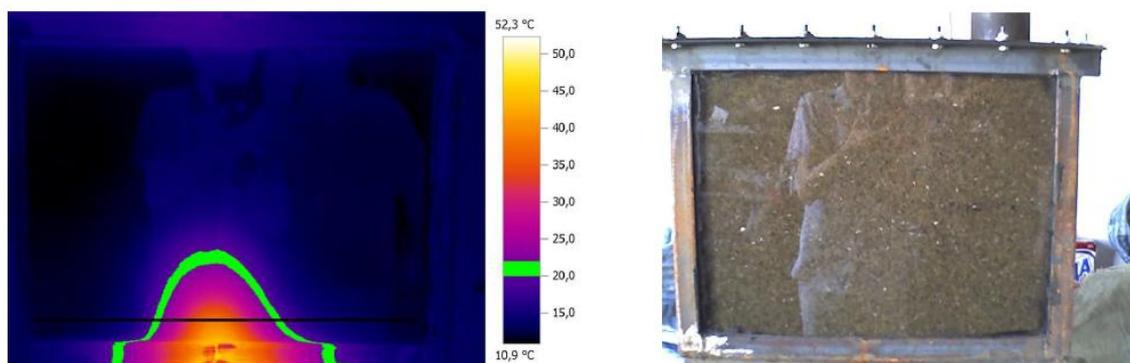
– горловина; 20 – пробка; 21 – отборный перфорированный патрубок; 22 – кран

Показания снимали с манометров, термодатчиков и тепловизора раз в 30 ± 5 мин.

После первой серии испытаний от измерений термодатчиками отказались, так как они практически не изменяли своих показаний после образования паро-конденсатной камеры.

В процессе исследований наблюдались следующие процессы: с момента начала время прогрева в пористой среде выше патрубка начинает образовываться зона повышенной температуры (рисунок 4.3), причем фронт температуры распространяться вверх и в стороны (рисунки 4.4, 4.5, 4.6).

После прогрева среды до температуры кипения воды в верхней части тепловой зоны образуется паро-конденсатная (или паровая) замкнутая камера с температурой на $10 - 20$ °С (обычно $80 - 95$ °С) ниже температуры поверхности нагревательного элемента, но выше примерно на $1 - 5$ °С температуры тепловой зоны вокруг тепловой камеры.

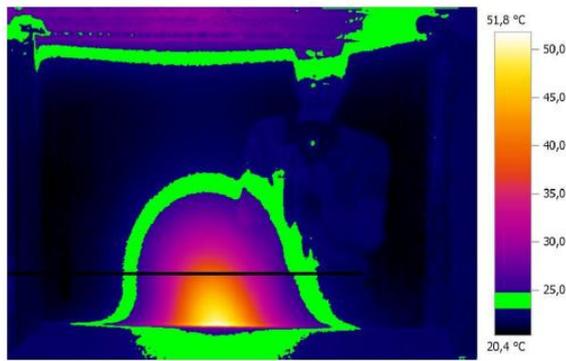


Параметры изображения:
Коэффициент излучения: 0,94
Отраж. темп. [°С]: 120,0

Линия
профиля:



Рисунок 4.3 - Начало нагрева



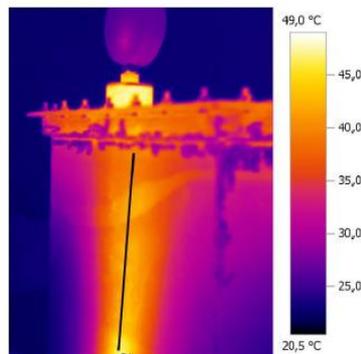
Параметры изображения:

Коэффициент излучения: 0,94
Отраж. темп. [°C]: 20,0

Линия
профиля:



Рисунок 4.4 - Через 0,5 часа после начала нагрева



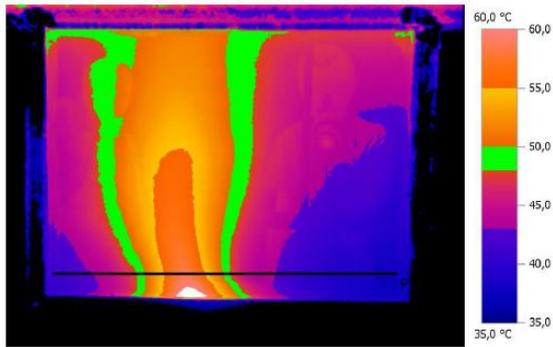
Параметры изображения:

Коэффициент излучения: 0,94
Отраж. темп. [°C]: 20,0

Линия
профиля:



Рисунок 4.5 - Через 1,5 часа после начала нагрева со стороны задней стенки



Параметры изображения:

Коэффициент излучения: 0,94
Отраж. темп. [°C]: 40,0

Линия
профиля:

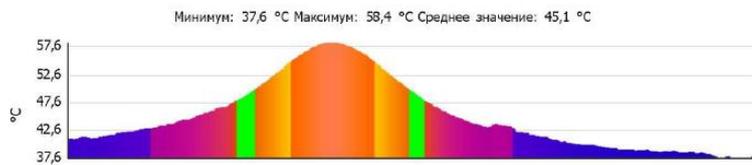
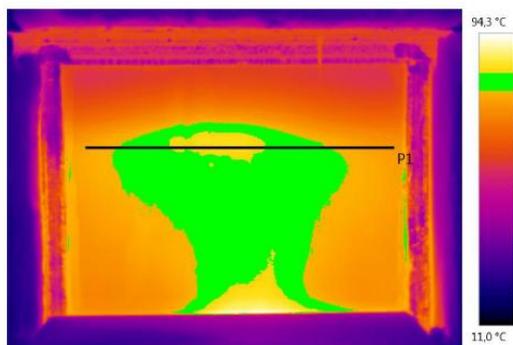


Рисунок 4.6 - Через 3 часа после начала нагрева

После этого паровая камера начинает расширяться и перемещаться вверх вместе с тепловой зоной до достижения глинистой корки (рисунок 4.7).



Параметры изображения:

Коэффициент излучения: 0,94
Отраж. темп. [°C]: 60,0

Линия профиля:



Рисунок 4.7 - Образование паровой камеры через 10 часов после начала нагрева

При достижении глинистой корки паровая камера и тепловая зона вокруг нее начинают расширяться. Тепловая зона, расположенная между патрубком и паровой камерой, также расширяется, но не так интенсивно, как паровая камера и тепловая зона вокруг нее. При этом давление в стенде начинает расти (при испытаниях давление в стенде возросло на 0,06 МПа от первоначального) одновременно с ростом температуры в трубке (достигает 106 – 108 °С).