

## **Лекция 5. Изучение процессов в пористой среде с различной проницаемостью**

В ходе данной серии стендовых испытаний в качестве пористой среды использовали кварцевый песок различных фракций и, как следствие, различной проницаемости.

### **5.1. Проницаемость пористой среды**

Проницаемость пористой среды – это способность пропускать жидкость или газ при перепаде давления.

Проницаемость горных пород в случае линейной фильтрации определяется по закону Дарси, согласно которому объемный расход жидкости, проходящей сквозь породу при ламинарном движении, прямо пропорционален коэффициенту проницаемости, площади поперечного сечения этой породы, перепаду давления, и обратно пропорционален вязкости жидкости и длине пройденного пути.

Различают абсолютную (общую), эффективную (фазовую) и относительную проницаемость горной породы.

Абсолютная проницаемость характеризует физические свойства породы, т. е. природу самой среды.

Эффективная проницаемость характеризует способность среды пропускать через себя жидкость (нефть, воду) или газ в зависимости от их соотношения между собой.

Относительной проницаемостью называется отношение эффективной проницаемости к абсолютной проницаемости.

Наибольшей, приближающейся по значению к абсолютной, проницаемостью пород бывает в тех случаях, когда по порам движется чистая нефть. В тех случаях, когда по порам движутся и нефть, и газ в отдельности (две фазы), эффективная проницаемость для нефти, или, как ее еще называют фазовая проницаемость, начинает уменьшаться. Когда же по порам породы движутся три фазы - нефть, газ, вода, - эффективная (фазовая) проницаемость для нефти уменьшается.

Для проведения исследований использовался песок разных фракций: марок Т (ПС-250), С-070-2 (С-070-1), ВС-050-2 (ВС-050-1).

Самой большой проницаемостью из выбранных (более 500 мД) обладает песок с большим количеством крупных фракций (марки Т или ПС-250), средней (от 100 мД до 500 мД) обладает песок с меньшим количеством крупных фракций (марки С-070-2 или С-070-1), самой низкой проницаемостью (от 0 до 100 мД) обладает песок с мелкозернистыми фракциями (марки ВС-050-2 или ВС-050-1).

## 5.2. Прогрев низкопроницаемой среды

При нагреве воды и пара в среде с низкой проницаемостью прогрев среды осуществляется самым быстрым образом: паровая камера начала образовываться уже через 5 часов после начала нагрева (рисунок 5.1), концентрируясь в нижней части.

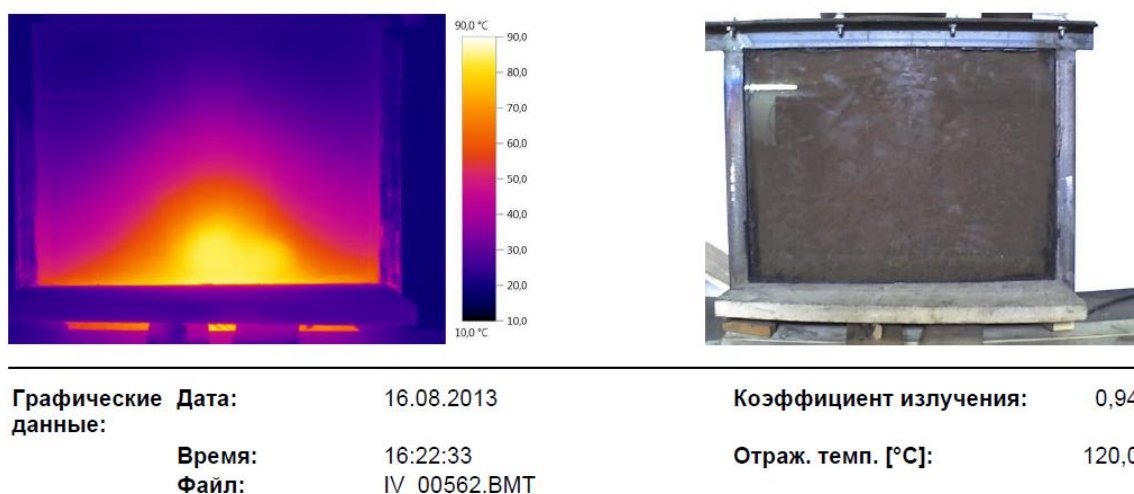
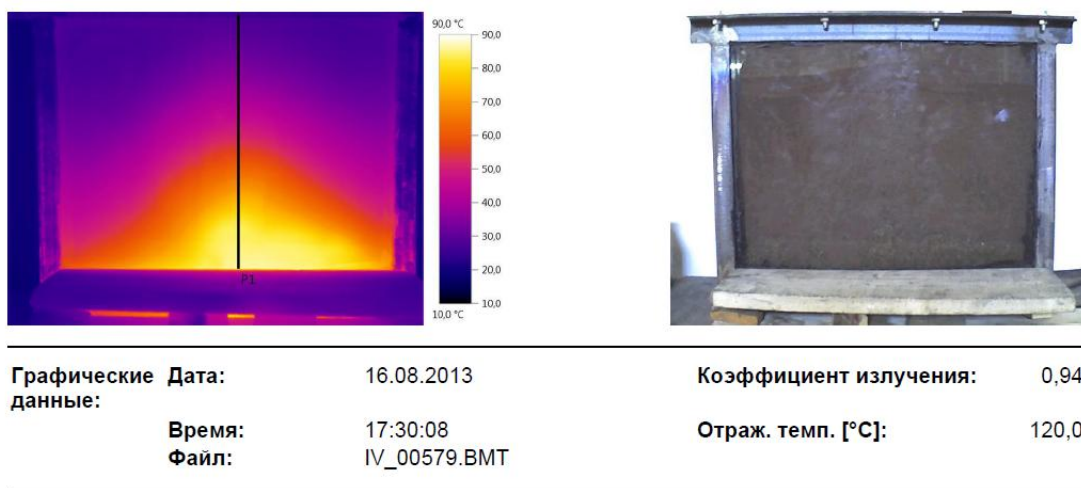


Рисунок 5.1 - Начало образования паровой камеры

Со временем паровая камера начала увеличиваться в размерах, перемещаясь вверх, особенно интенсивно увеличиваясь в стороны (рисунок 5.2).



#### Линия профиля:

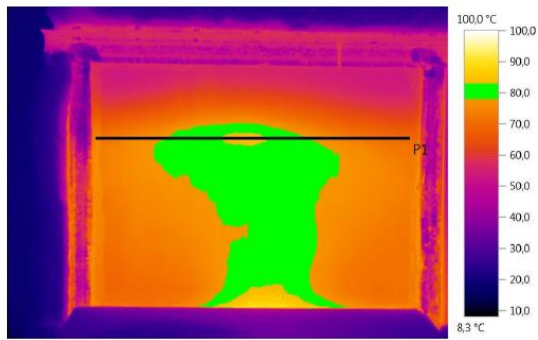


Рисунок 5.2 - Паровая камера через 6,5 часов после начала нагрева

К сожалению, проведение дальнейшего опыта было невозможно, так как паровая камера распределилась по всему объему стенда и отслеживать ее рост не представлялось возможным.

### 5.3. Прогрев среднепроницаемой среды

При нагреве воды и пара в среде средней проницаемости скорость прогрева медленнее, однако процессы более показательные. Паровая камера стала образовываться через 9,5 часов после начала нагрева (рисунок 5.3). После чего она быстро достигла глинистой корки и стала расширяться (рисунок 5.4) при этом давление в стенде стало расти. Разность показаний нижнего и верхнего манометров не превышала 0,01 МПа, то есть примерно равнялась давлению, создаваемому столбом жидкости в стенде ( $\approx 70$  см). Через 11 часов нагрева, когда начальное давление возросло на 0,06 МПа, через патрубок стали сбрасывать давление. В результате вода между паровой камерой и патрубком вскипела (рисунок 5.5).



Параметры изображения:

Коэффициент излучения: 0,94

Отраж. темп. [°C]: 80,0

Линия профиля:

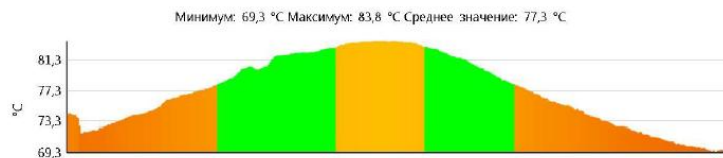
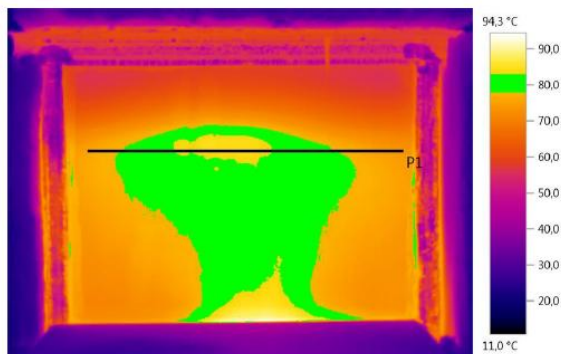


Рисунок 5.3 - Начало образования паровой камеры через 9,5 часов нагрева



Параметры изображения:

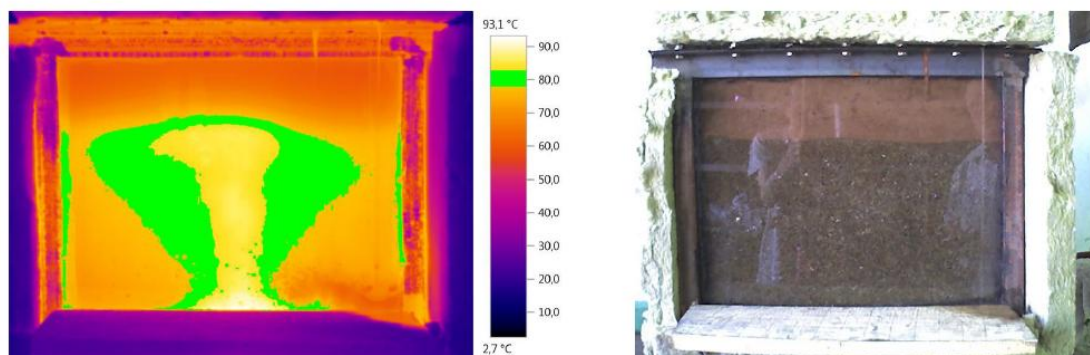
Коэффициент излучения: 0,94

Отраж. темп. [°C]: 60,0

Линия профиля:



Рисунок 5.4 - Увеличение паровой камеры через 10 часов нагрева



Параметры изображения:

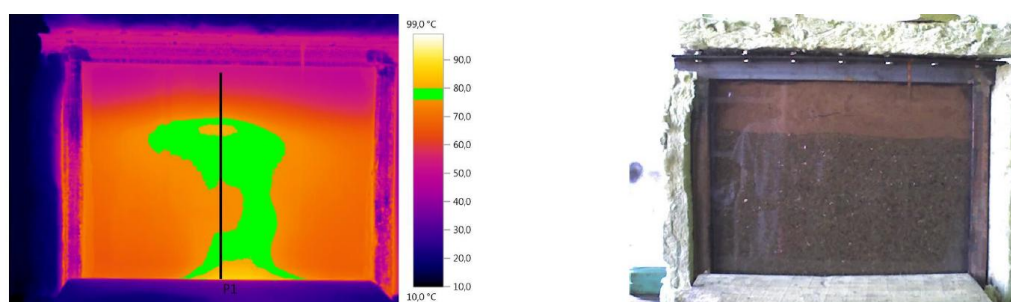
Коэффициент излучения: 0,94

Отраж. темп. [°C]: 120,0

Рисунок 5.5 - Паровая камера через 11 часов нагрева, вскипание жидкости при стравливании давления через патрубков

#### 5.4. Прогрев высокопроницаемой среды

При нагреве воды и пара в среде с большой проницаемостью потребовалось наибольшее время для создания паровой камеры – 12 часов (рисунок 5.6).



Графические данные: Дата: 23.08.2013

Время: 9:13:18  
Файл: IV\_00678.BMT

Коэффициент излучения: 0,94

Отраж. темп. [°C]: 120,0

Линия профиля:

Минимум: 53,0 °C Максимум: 87,5 °C Среднее значение: 74,1 °C

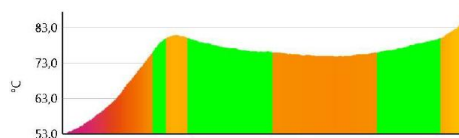
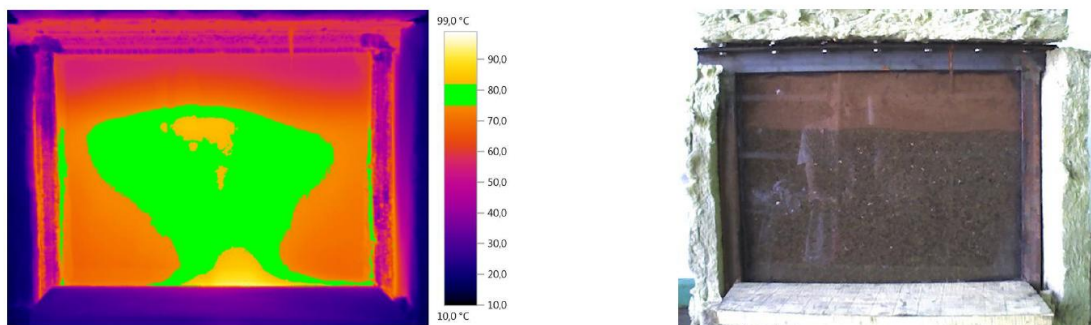


Рисунок 5.6 Начало образования паровой камеры через 12 часов нагрева

Однако и паровая камера увеличивалась с наибольшей скоростью после образования (рисунок 5.7), давление при этом также росло более интенсивно.

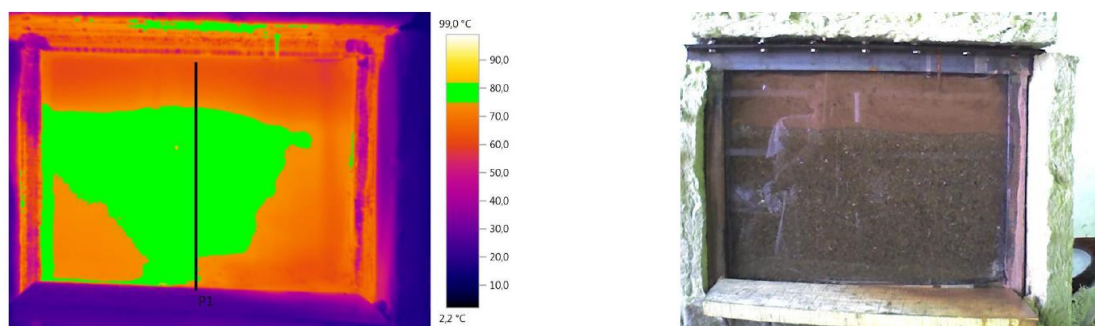
Паровая камера была наиболее подвижна и часто меняла свою форму по сравнению с поведением в первых двух опытах.



Графические данные:	Дата:	23.08.2013	Коэффициент излучения:	0,94
	Время:	9:56:47	Отраж. темп. [°C]:	120,0
	Файл:	IV_00710.BMT		

Рисунок 5.7 - Паровая камера почти через 13 часов после начала прогрева

Через 12 часов нагрева, когда начальное давление возросло на 0,06 МПа, через патрубок стали сбрасывать давление. В результате вода между паровой камерой и патрубком вскипела и в объеме стэнда практически выровнялась температура (рисунок 5.8).



Графические данные:	Дата:	23.08.2013	Коэффициент излучения:	0,94
	Время:	11:00:38	Отраж. темп. [°C]:	120,0
	Файл:	IV_00767.BMT		

**Линия профиля:**

Минимум: 32,0 °C Максимум: 80,9 °C Среднее значение: 75,5 °C



Рисунок 5.8 - Вскипание воды в стэнде после сброса давления через 13 часов нагрева

## 5.5. Анализ тепловых процессов, происходящих в средах с различной проницаемостью

Изменения температуры в околотрубном пространстве (рисунок 5.9, 5.10, 5.11 и 5.12) и давления (рисунок 5.13, 5.14, 5.15 и 5.16) в средах с различной проницаемостью сведены в соответствующие графики.

Опыты в средах с различной проницаемостью проводились по три раза.

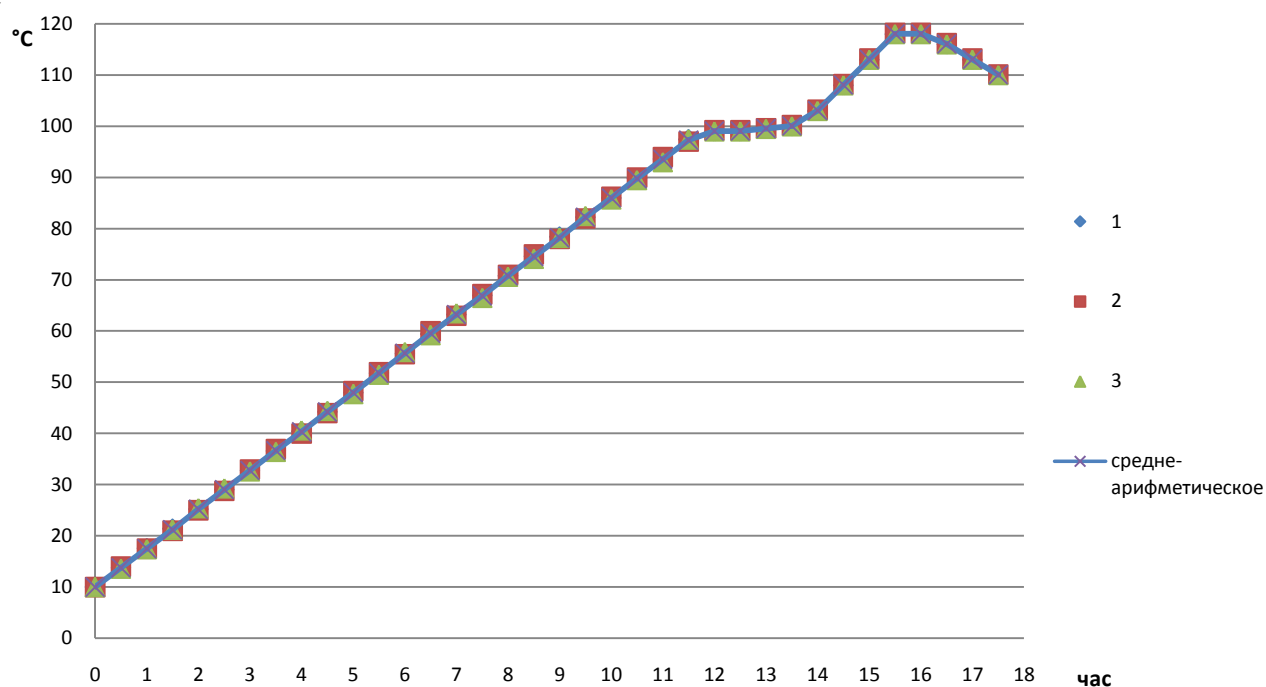


Рисунок 5.9 - Температура в среде с проницаемостью более 500 мД

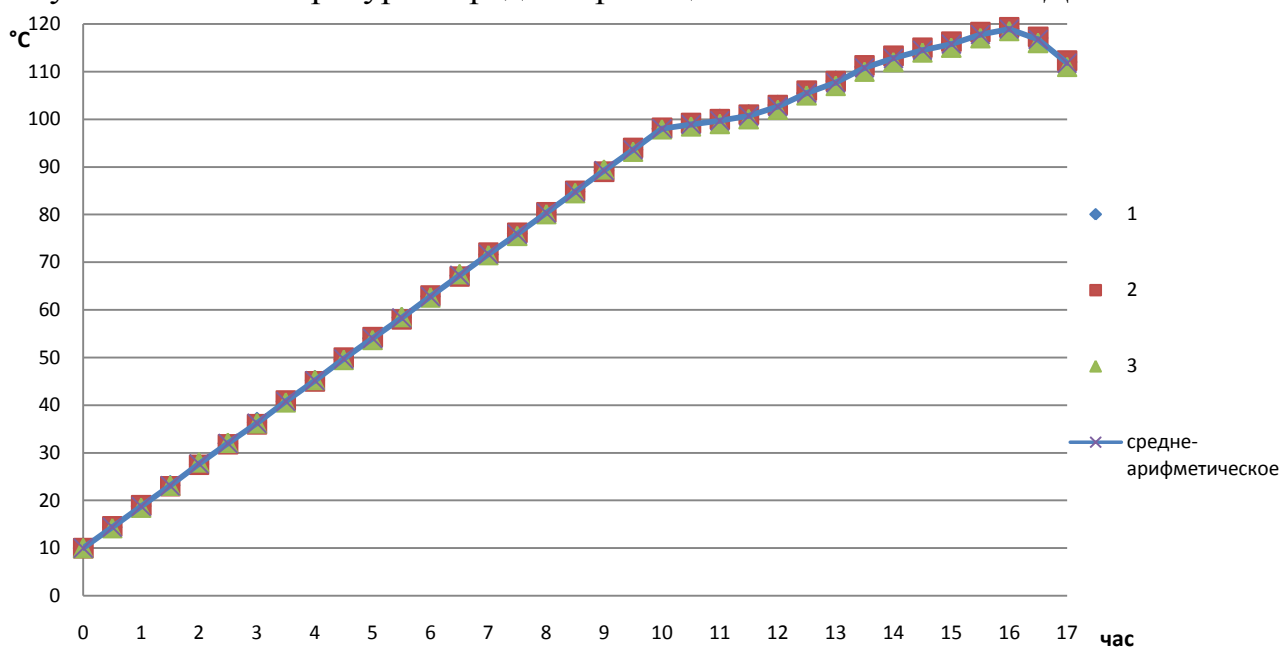


Рисунок 5.10 - Температура в среде с проницаемостью более 100-500 мД

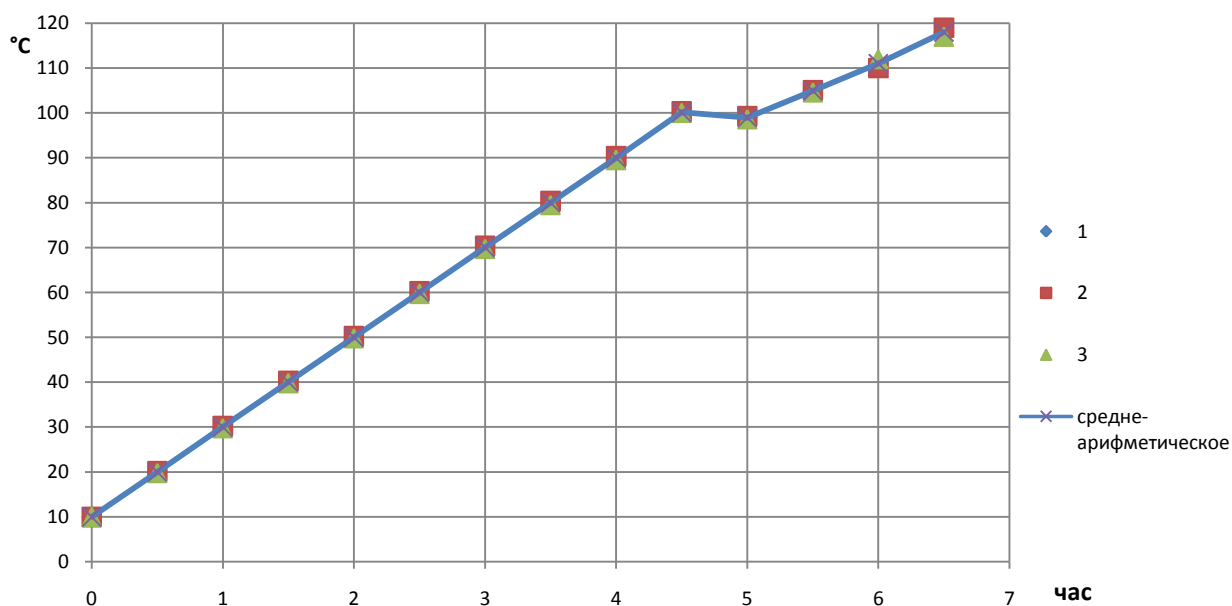


Рисунок 5.11 - Температура в среде с проницаемостью менее 500 мД

График рисунка 5.9 построен на основе среднеарифметических значений трех измерений, максимальное отклонение усредненных значений графика от экспериментальных данных составляет  $\Delta_{\max}=2,14\%$  на 11 часу измерения.

График на рисунке 5.10 построен на основе среднеарифметических значений трех измерений, максимальное отклонение усредненных значений графика от экспериментальных данных составляет  $\Delta_{\max}=2,2\%$  на 2,5 часу измерения.

График на рисунке 5.11 построен на основе среднеарифметических значений трех измерений, причем максимальное отклонение усредненных значений графика 5.11 от экспериментальных данных составляет  $\Delta_{\max}=2,72\%$  на 5 часу измерения.

Полученные графики сведены в сводный график (рис. 5.12).



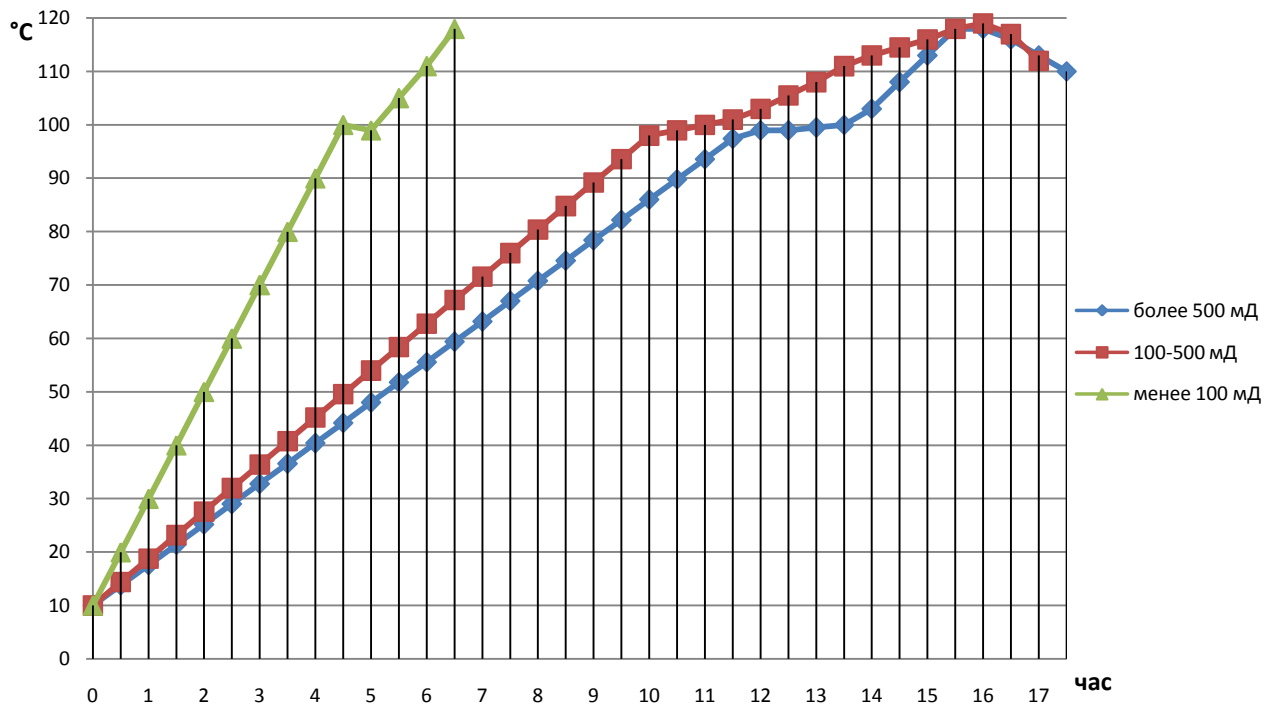


Рисунок 5.12 - Изменение температуры в средах с различной проницаемостью

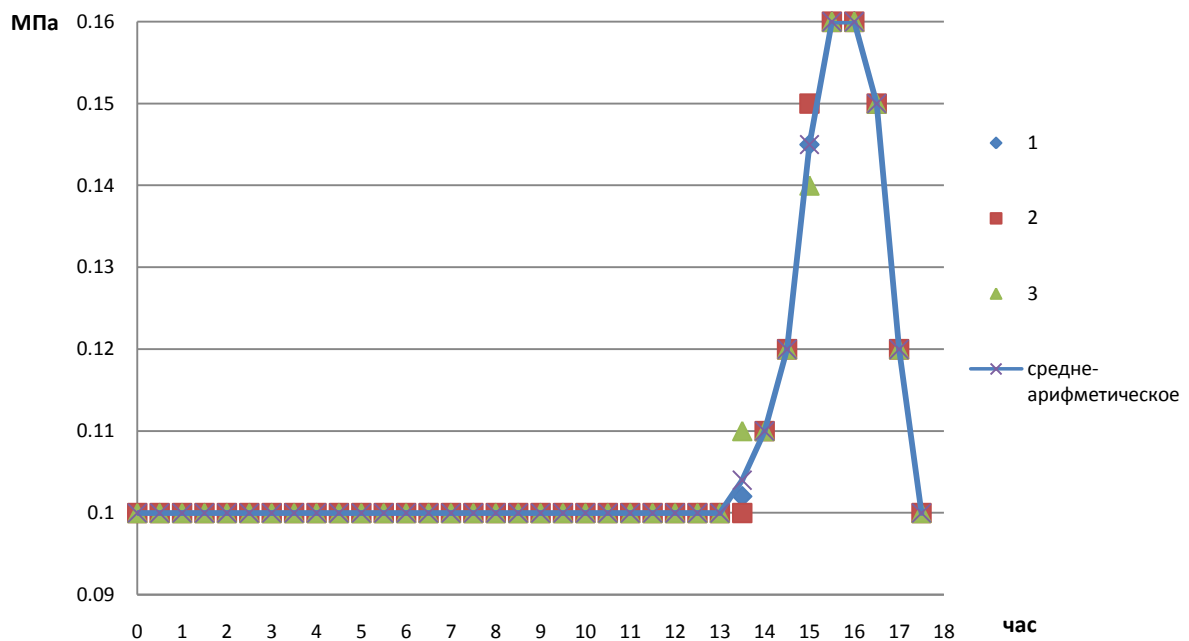


Рисунок 5.13 - Давление в средах с проницаемостью более 500 мД

График рисунка 5.13 построен на основе среднеарифметических значений трех измерений, максимальное отклонение экспериментальных значений от усредненных составляет  $\Delta_{\max}=9,6\%$ .

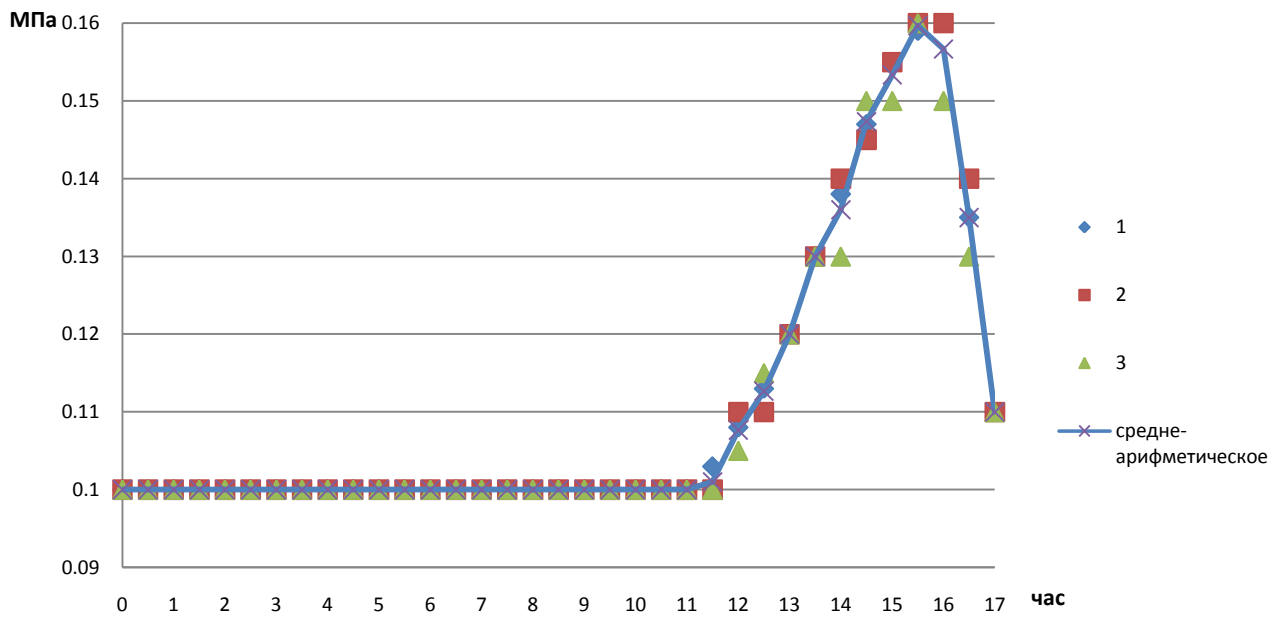


Рисунок 5.14 - Давления в средах с проницаемостью 100-500 мД

График рисунка 3.21 построен на основе среднеарифметических значений трех измерений, максимальное отклонение экспериментальных значений от усредненных составляет  $\Delta_{\max}=7,4\%$  .

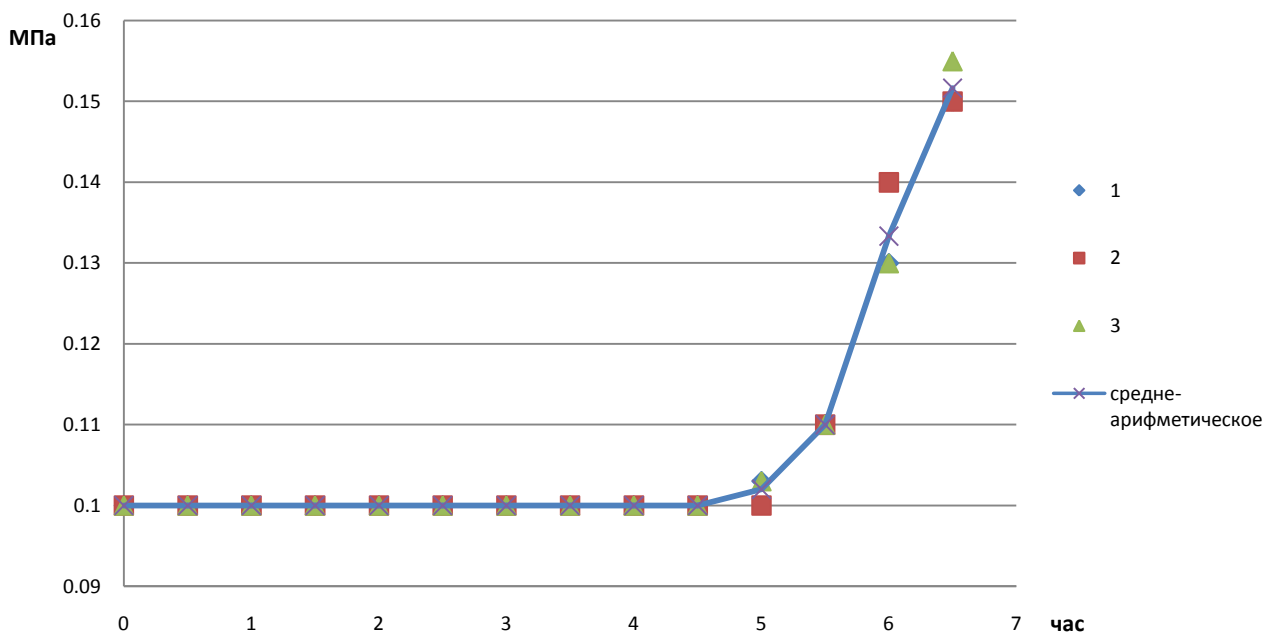


Рисунок 5.15 - Изменение давления в средах с проницаемостью менее 500 мД

График рисунка 5.15 построен на основе среднеарифметических значений трех измерений, максимальное отклонение экспериментальных значений от усредненных составляет  $\Delta_{\max}=7,5\%$  .

Графики Рисунков.5.13-5.15 сведены в сводный график, представленный на рисунке 5.16.

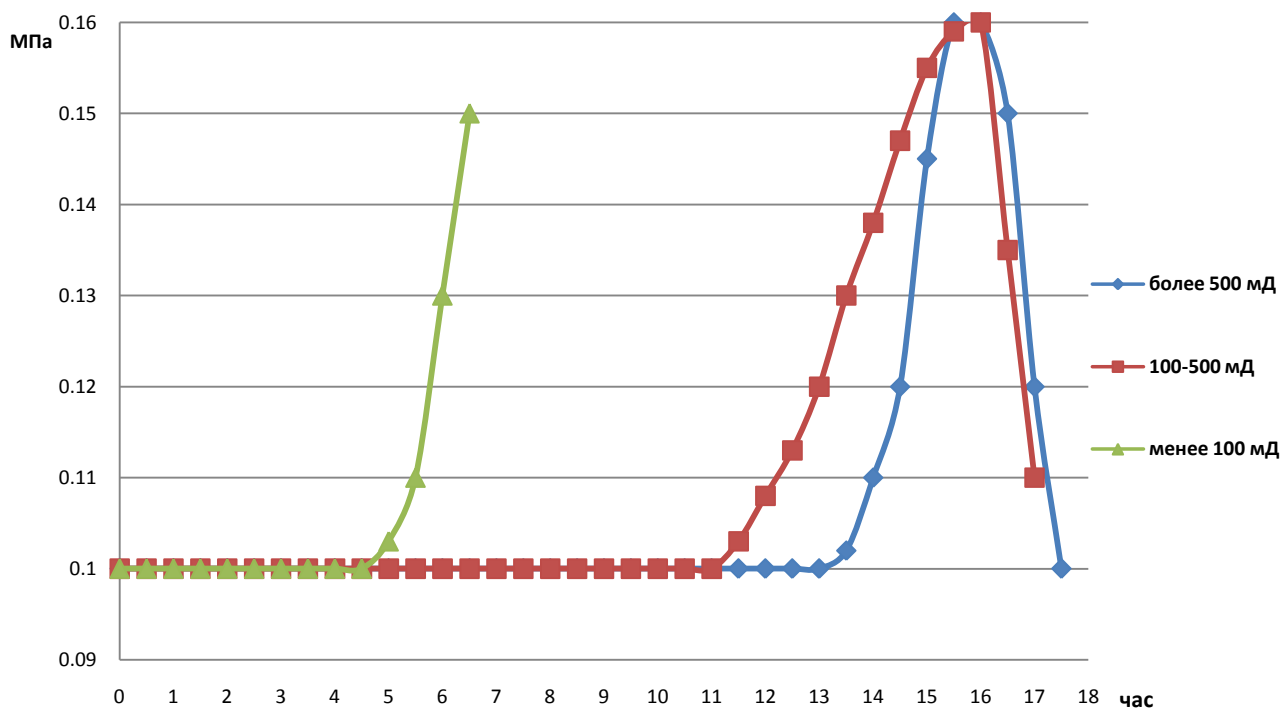


Рисунок 5.16- Изменение давления в средах с различной проницаемостью

В ходе анализа сводных графиков (рисунки 5.12 и 5.16) выявлены следующие закономерности:

- на первом этапе температура растет практически линейно, а давление практически не повышается;
- на втором этапе после достижения температуры кипения воды в патрубке температура растет незначительно или не растет вообще, образуется паровая камера, давление не растет или растет в конце этапа незначительно;
- на третьем этапе паровая камера растет, температура и давление начинают расти;
- на четвертом этапе после разгерметизации стенда кипение становится очень интенсивным, давление резко снижается, а температура падает;

чем хуже проницаемость среды, тем более быстро идет прогрев прискважинной зоны.