

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уфимский государственный нефтяной технический университет»  
Горно-нефтяной факультет  
Кафедра «Геофизические методы исследований»**

# **МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕРВАЛОВ ЗАКОЛОННЫХ ПЕРЕТОКОВ**

**Студент группы ГФ 15-01 Р.Ф. Шархмуллина**

**Руководитель (доц., канд. техн. наук)**

**З.Г. Гарейшин**

**Уфа 2020**



# Актуальность

**Выявление заколонных перетоков выше перфорационной зоны является одной из сложных задач промысловой геофизики при оценке технического состояния скважины и выявлении источника обводнения.**

**Целью данной работы является анализ причин неоднозначного выделения заколонных перетоков сверху комплексом ГИС и повышение точности локации места стока ЗП.**

## **Задачи, необходимые для достижения цели:**

- анализ современных методов определения источников ЗП и локаций стоков;
- оценка определения заколонных перетоков на месторождениях Западной Сибири;
- решение недостатком метода термометрии и шумометрии;
- математическое моделирование дефектов скважины до и после ожидания затвердевания цемента;
- разработка способов по устранению недостатков ИННК;
- построение калькулятора захвата макроскопического сечения;
- совмещение ИННК с методами состава и активационным каротажем;
- математическое моделирование дефектов цементирования в скважине;
- <sup>2</sup>нахождение критериальных значений перепадов давления;

## Каналы возникают

Во время ожидания  
затвердевания цемента



После ожидания  
затвердевания цемента

## Анализ современных методов определения источников заколонных перетоков

Рассматривая в качестве примера данные промысловых ГИС по определению интервалов притока на месторождениях за 2016 – 2019, получается, что ЗП определены в 22% и 16% соответственно от общего числа скважин.

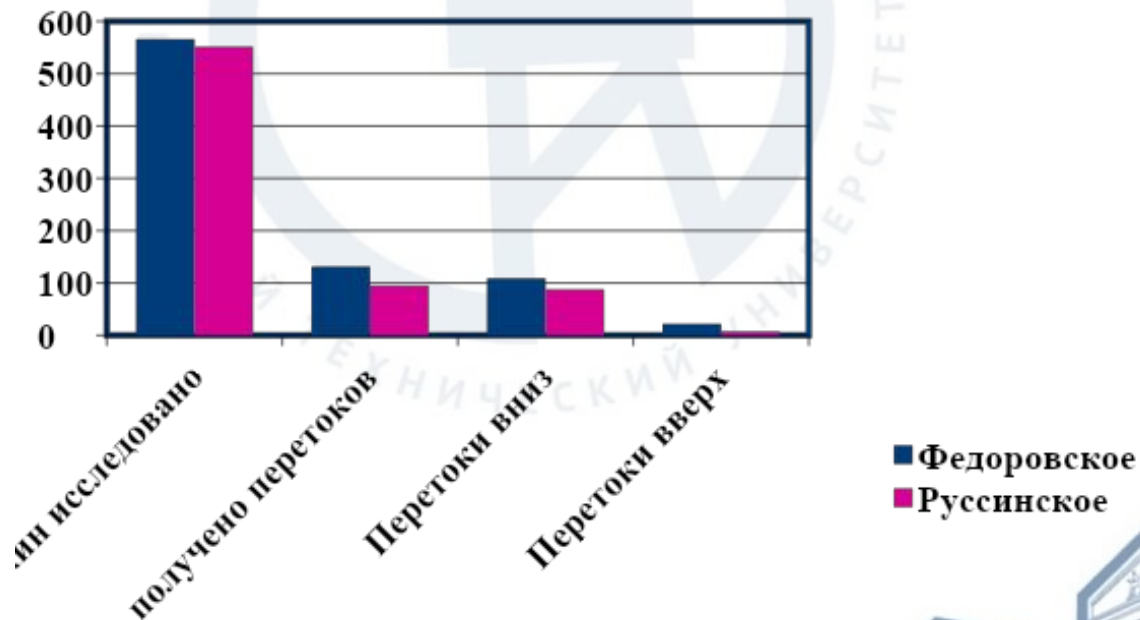


Рисунок 1 – Данные по промысловым исследованиям за 4 года



**Методы, над которыми сейчас ведётся активная работа – это шумометрия, активная термометрия при использовании нагревающего элемента, ИННК при закачке нейтронно-контрастной жидкости, методы моделирования.**

## **ИННК при закачке меченой жидкости**

**В основе выявления с помощью метода ИННК интервалов, поглощающих закачиваемую жидкость, лежит контрастирование закачиваемой жидкости с пластовым флюидом по нейтронно-поглощающим свойствам.**

### **Недостатки метода:**

- сложность в подборе количества раствора для закачки меченого раствора;
- требуется специальная подготовка скважины;
- удлинение временных рамок проведения работ;
- воздействие производится на режимах, отличающихся от эксплуатационных;
- высокое давление в пласте-источнике перетока могут служить препятствием для закачки в водоносные пласты меченого вещества;
- ограниченность метода в количестве решаемых задач;

● не<sup>4</sup> заменяет проведение стандартного комплекса ГИС по определению профиля

# Математическое моделирование возникновения заколонного перетока в начальный период ожидания затвердевания цемента

Для построения модели скважины потребуется:

- составить план цементирования;
- знать профиль скважины;
- уточнить условия в скважине:
  - значения пластового давления;
  - геостатическая температура на забое и поверхности скважины;
  - давления на устье;
- получить план бурения с информацией о:
  - размерах бурильных труб и долота;
  - глубинах спуска каждой из колонн;
  - глубине установки «стоп-кольца»;
- подобрать оптимальный рецепт ТР;
- оценить литолого-геологическую обстановку цементируемой скважины:
  - интервалы залегания коллекторов и их насыщение;
  - кавернозность.
- оценить геолого-технические данные по скважине:
  - параметров обсадных колонн;
  - параметров бурового и ТР;
  - режимов закачивания жидкостей;



# Математическое моделирование поведения флюида при наличии дефектов цементирования

**Целью моделирования является определение критерияльных перепадов давления и значений кольцевых зазоров, при которых нефть или вода поползёт только вниз относительно перфорационного отверстия или станет подниматься вверх по зазору.**

**Для этого необходимо:**

- смоделировать дефект цементирования, проходящий сквозь перфорационное отверстие (ПО);
- воспроизвести модель при разных значениях переменных величин;
- построить графики зависимостей:

$$\text{➤ } L_y = f(\Delta P_1), \text{ при } \Delta P_{2,3}, a - \text{const},$$

где  $L_y$  – статический уровень жидкости в зазоре;

$\Delta P_1$  – перепад давления между давлением в коллекторе и на выходе из ПО;

$\Delta P_2$  – перепад давления между давлением в зазоре сверху и в коллекторе;

$\Delta P_3$  – перепад давления между давлением в зазоре снизу и в коллекторе;

$a$  – величина зазора;

$$\text{➤ } L_{y23} = f(\Delta P_{2,3}), \text{ при } \Delta P_1, a - \text{const};$$

$$\text{➤ } L_y = f(a), \text{ при } \Delta P_1, \Delta P_{2,3} - \text{const};$$

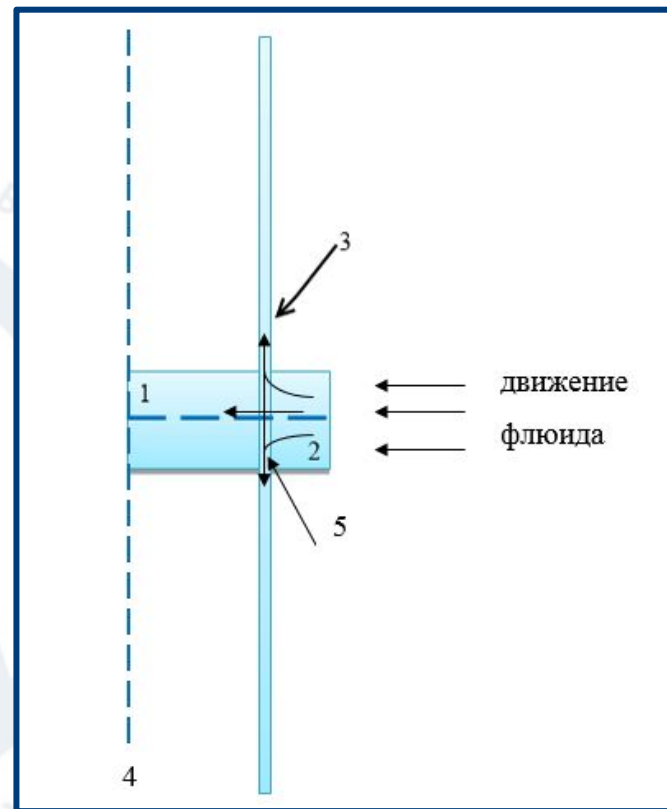
- определить по графикам точку пересечения статического уровня жидкости в зазоре с точкой, где флюид находится на уровне ПО;



## Описание модели

**Флюид** сначала заходит по перфорационному отверстию (ПО) диаметром 20 – 25 мм из пласта в колонну диаметром 146 мм, далее при определённых перепадах давления начинает заполнять заколонное пространство 500 мм при скорости 2,5 м/с, тем самым образуя заколонные перегородки, или уходит в колонну.

**В модели** используется двухфазная среда: вода и газ. Движение жидкости ламинарное и осуществляется под влиянием гравитации. Моделирование происходит в 2D режиме.



1 – часть колонны; 2 – перфорационное отверстие; 3 – дефект цементного кольца; 4 – ось симметрии скважины; 5 – граница колонна – перфорационное отверстие;

Рисунок 2 – Схематическая модель цементного кольца

**Таблица 1 – Исходные данные**

<b>Параметры</b>	<b>Значения параметров</b>
Скорость потока из коллектора в ПО, $U$ , м/с	2,5
Время расчёта, $t_t$ , с	0,01
Ширина кольцевого зазора, $a$ , м,	0,001 – 0,005
Длина зазора вверх, $L_{up}$ , м	0,5
Длина зазора вниз, $L_{dn}$ , м	0,5
Диаметр перфорационного отверстия, $D_{po}$ , м	0,2
Диаметр бурового инструмента, $D_{bi}$ , м	0,216
Внутренний диаметр обсадной колонны, $D_{ok\_vn}$ , м	0,13
Углубление ПОВ коллектор, $h_k$ , м	0,2
Толщина стенки обсадной колонны, $b_{ok}$ , м	0,008
Наружный диаметр обсадной колонны, $D_{oknr}$ , м	0,146
Радиальное расстояние до зазора, $R_a$ , м	0,108
	4650 – 4800, 92 – 98
	92 – 98
	92 – 98
Гравитация, $G_a$ , Н	0,2

## **Методика определения параметров дефектов цементирования**

**Методика определения параметров дефектов цементирования основана на расчёте объёма фигуры, занятого жидкостью, в зазоре. Расчеты производятся в той же модели, что и ранее.**



## Сложность подбора количества вещества для закачки меченой жидкости в скважину

**Одним из главных недостатков ИННК при закачке меченой жидкости для выявления заколонной циркуляции является сложность подбора количества меченой жидкости с учётом особенностей скважины, а также затруднительная оценка поглощающих свойств различных растворов с учётом концентраций.**

**Для решения данной задачи в дипломной работе разработан калькулятор, который позволяет устранить некоторые недостатки ИННК.**

**Калькулятор захвата макроскопического сечения представляет из себя файл Excel, где заранее введены формулы, необходимо менять лишь входные данные для получения результата.**



Таблица 2 – Калькулятор расчёта сечения захвата

Данные:	$Gd_2O_3$	$Gd(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$
Число атомов поглотителя в молекуле, n	2	1	4
Сечение захвата атома поглотителя, S, с.и.	49000	49000	750
Молярная масса вещества-поглотителя, M, г/моль	362	515,5	381,4
Атомная масса элемента-поглотителя, m, кг	157,3	157,3	10,8
Концентрация раствора, C, г/л	0,1	0,2	15
Сечение захвата раствора, $\Sigma_{p-ра}$ , с.и.	38,78	33,79	95,15
Концентрация элемента поглотителя, c, г/л	0,087	0,061	1,699
Коэффициент пористости $K_{пэфф}$ , доли ед.	0,17	0,25	0,05
Коэффициент пористости скелета, $K_{пск}$ , доли ед. (расчёт)	0,83	0,75	0,95
Минерализация воды, $\eta_v$ , г/л	20	20	20
Сечение воды, $\Sigma_v$ , с.и. (расчёт)	29	29	29
Сечение скелета, $\Sigma_{с-та}$ , с.и.	24	22,9	32
Сечение раствора, $\Sigma_{p-ра}$ , с.и. (расчёт)	38,78	33,79	95,15
Сечение породы, $\Sigma_{п}$ , с.и. (расчёт)	24,85	24,43	31,85
Сечение породы при закачке, $\Sigma_{п.з-ка}$ , с.и. (расчёт)	26,51	25,62	35,16
Аномальность, A, % (расчёт)	6,69	4,9	10,38

# Ограниченность метода в количестве решаемых задач

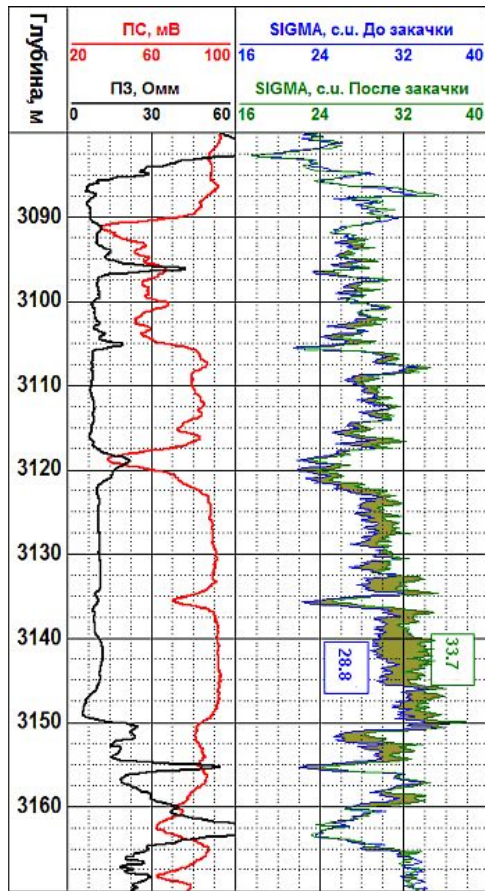


Рисунок 4 – Показания ИННК при закачке *NaCl*

Таблица 4 – Калькулятор расчёта сечения захвата породы для раствора *NaCl*

Данные	NaCl
Число атомов поглотителя в молекуле, $n$	1
Сечение захвата атома поглотителя, $S$ , с.и.	33
Молярная масса вещества-поглотителя, $M$ , г/моль	58,40
Атомная масса элемента-поглотителя, $m$ , кг	35,50
Концентрация раствора, $C$ , г/л	220,00
Сечение захвата раствора, $\Sigma_{p-ра}$ , с.и.	99,08
Концентрация элемента поглотителя, $c$ , г/л	133
Коэффициент пористости Кпэфф, доли ед.	0,07
Коэффициент пористости скелета, $K_{пск}$ , доли ед. (расчёт)	0,93
Минерализация воды, $\eta_v$ , г/л	20,00
Сечение воды, $\Sigma_v$ , с.и. (расчёт)	29,00
Сечение скелета, $\Sigma_{с-та}$ , с.и.	28,8
Сечение раствора, $\Sigma_{p-ра}$ , с.и. (расчёт)	99,08
Сечение породы, $\Sigma_{п}$ , с.и. (расчёт)	28,81
Сечение породы при закачке, $\Sigma_{пэка}$ , с.и. (расчёт)	33,72
Аномальность, $A$ , % (расчёт)	17,02



Допустим, дефект связан с вертикальным каналом в цементном камне, или линейной зоной разуплотнения породы стенки скважины вдоль связанной с гидравлическим разрывом пласта. В этом случае 7% в объёме измерения ИННК составит канал раскрытостью 30 – 35 мм.

$$\Sigma_{с-та} - 28,8 \text{ с.и.}$$

$$K_{пск} - 0,93 \text{ доли ед.}$$

$$K_{Пэфф} - 0,07 \text{ доли ед.}$$

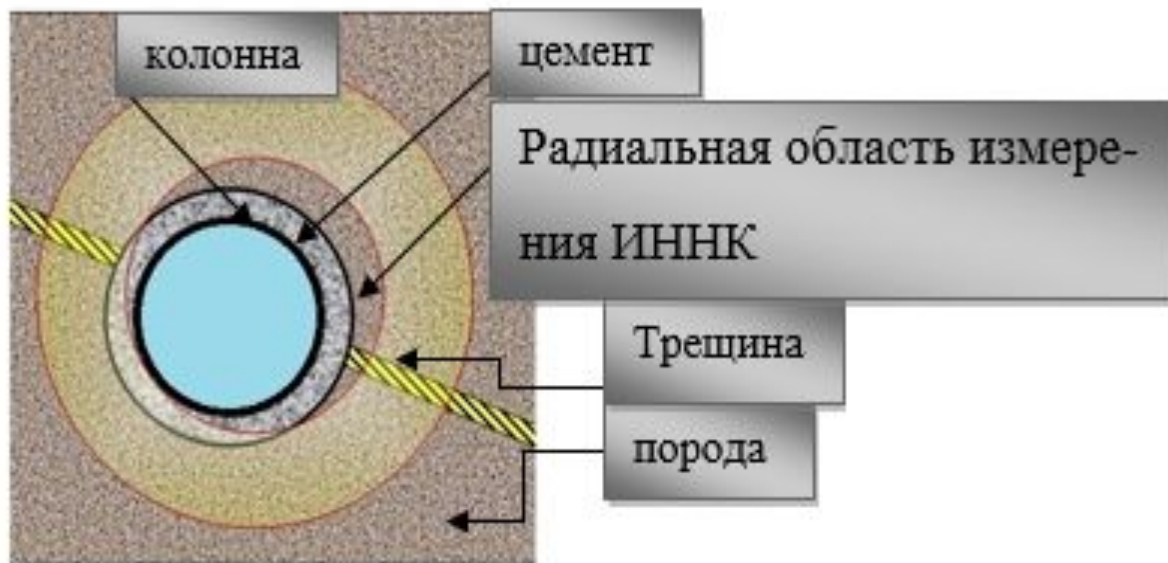


Рисунок 5 – Модель скважины



# Дополнительное количество спусков скважинных приборов с целью контроля движения пачки нейтронно-поглощающего раствора

Внедрение комплексного скважинного прибора позволит полностью исключить раздельное использование приборов импульсно-нейтронного каротажа с приборами промыслово-геофизических исследований.

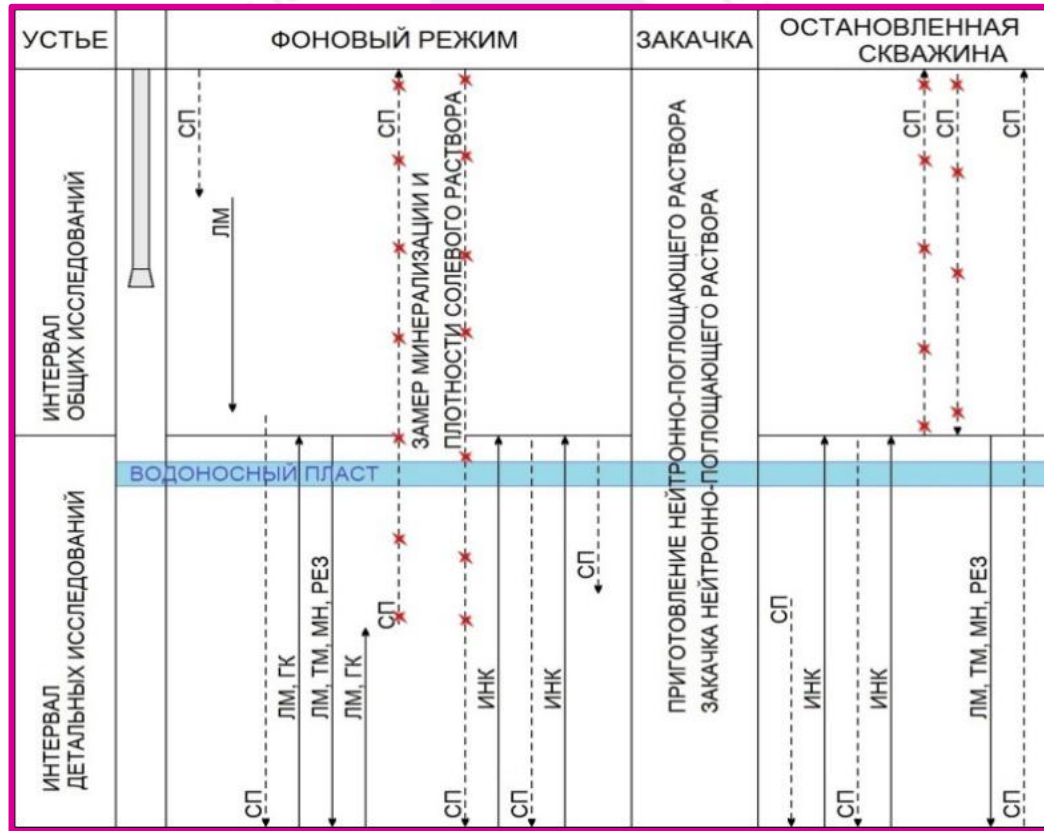
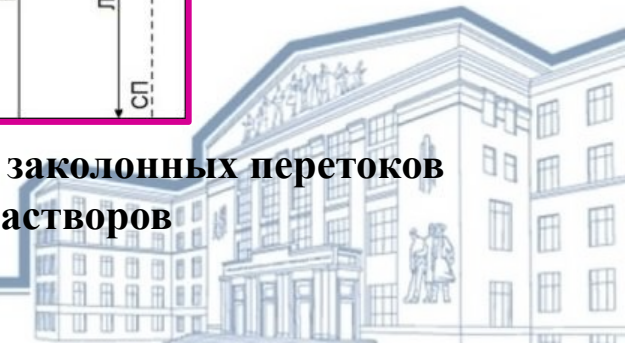


Рисунок 6 – Технологическая схема для определения заколонных перегородок методом закачки нейтронно-контрастных растворов



# Оптимизация импульсного нейтрон-нейтронного каротажа при его совмещении с активационным каротажем

Реализация в приборе трёхходов – замеров термометрии с замерахми состава, применения методики ИННК с закачкой меченой жидкости и использование данных активационного каротажа даёт возможность их комплексировать в зависимости от особенностей каждой конкретной скважины и её эксплуатационных характеристик.

## Преимущества комплекса:

- не требуется дополнительная подготовка скважины;
- нет необходимости в спуске лифта насосно-компрессорной трубы;
- не нужна промывка скважины на пресный раствор.

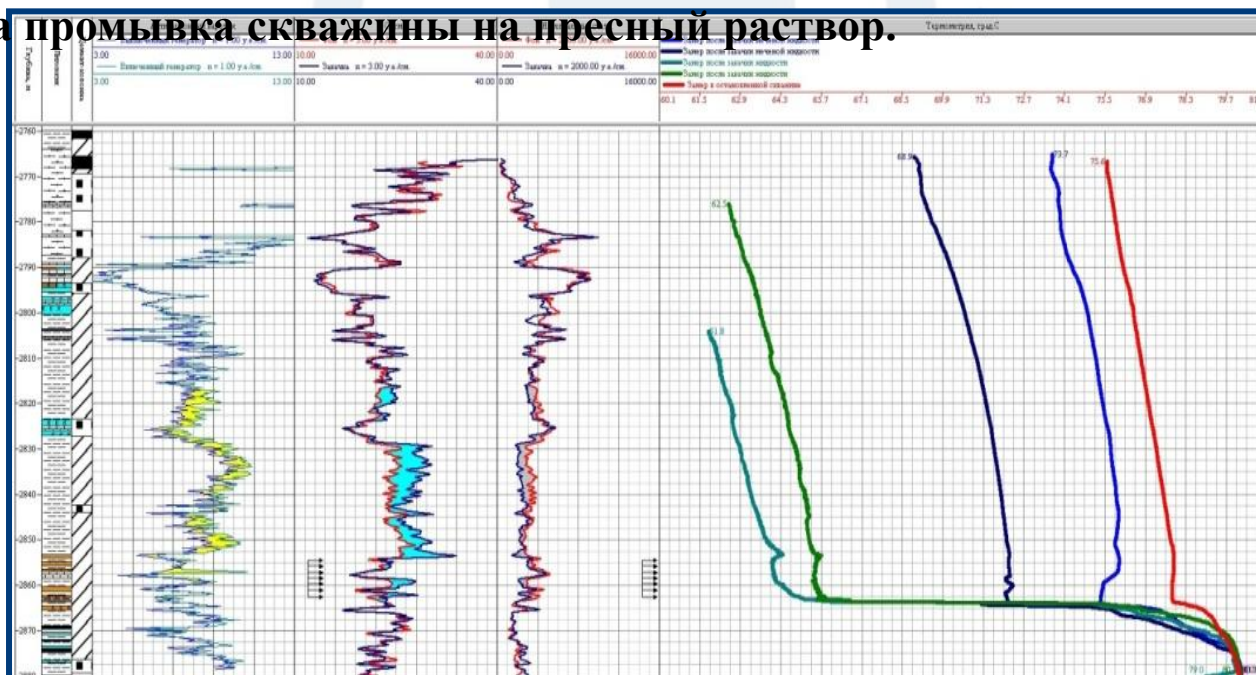


Рисунок 7 – Результаты интерпретации по определению перетоков

## Расчёт критериального значения перепада давления между давлением в коллекторе и на выходе из перфорационного отверстия

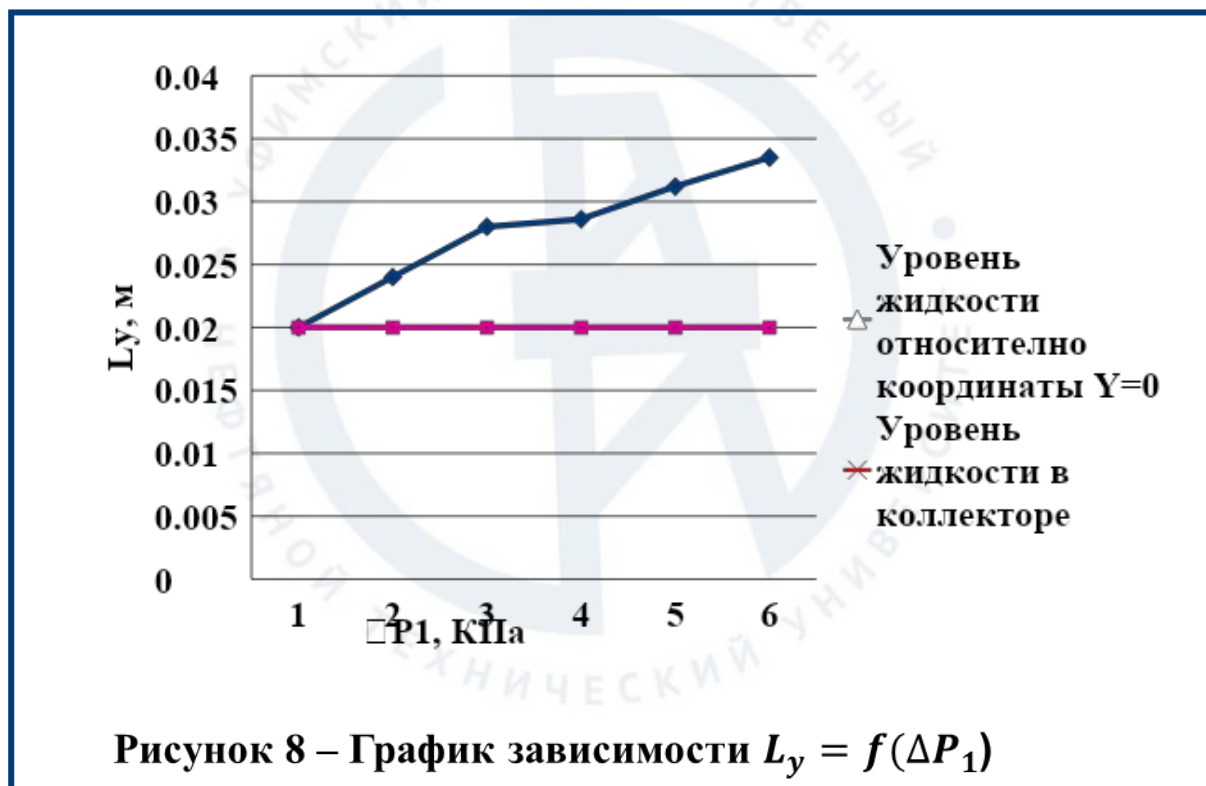
Для расчёта давления  $\Delta P_1$ , необходимо построить графическим образом зависимость  $L_y = f(\Delta P_1)$ , при  $\Delta P_{2,3}, a - \text{const}$ .

Таблица 5 – Исходные данные для  $L_y = f(\Delta P_1)$

Параметры	Значения параметров					
	98	97	96	95	94	92
				96		
				96		
Площадь заполненного пространства, $S \cdot 10^{-4}, \text{ м}^2$	6,6	8,8	10,6	11,6	12	12,6
	3,35	3,12	2,86	2,8	2,4	2

С увеличением перепада давления между давлением в коллекторе и на выходе из перфорационного отверстия, статический уровень жидкости в зазоре увеличивается как вниз, так и вверх, а площадь заполнения колонны уменьшается. Это связано с тем, что при высоких перепадах давления создаётся сопротивление движению жидкости, и в результате флюид не может прорваться через созданное препятствие, и он потечёт по направлению наименьшего сопротивления, то есть в колонну.

Для нахождения критериального значения давления построен график, показывающий зависимость  $L_y=f(\Delta P_1)$ , а также прямая  $L_y=0,02$ , соответствующая значению статического уровня перфорационного отверстия, пересекаемого дефектом цементирования.



Критериальным значением  $\Delta P_1$  является число, равное 92 КПа, при котором происходит пересечение кривых  $L_y=f(\Delta P_1)$  и  $L_y=0,02$ .





Уменьшение статического уровня жидкости в зазоре сопровождается увеличением площади течения жидкости по колонне.

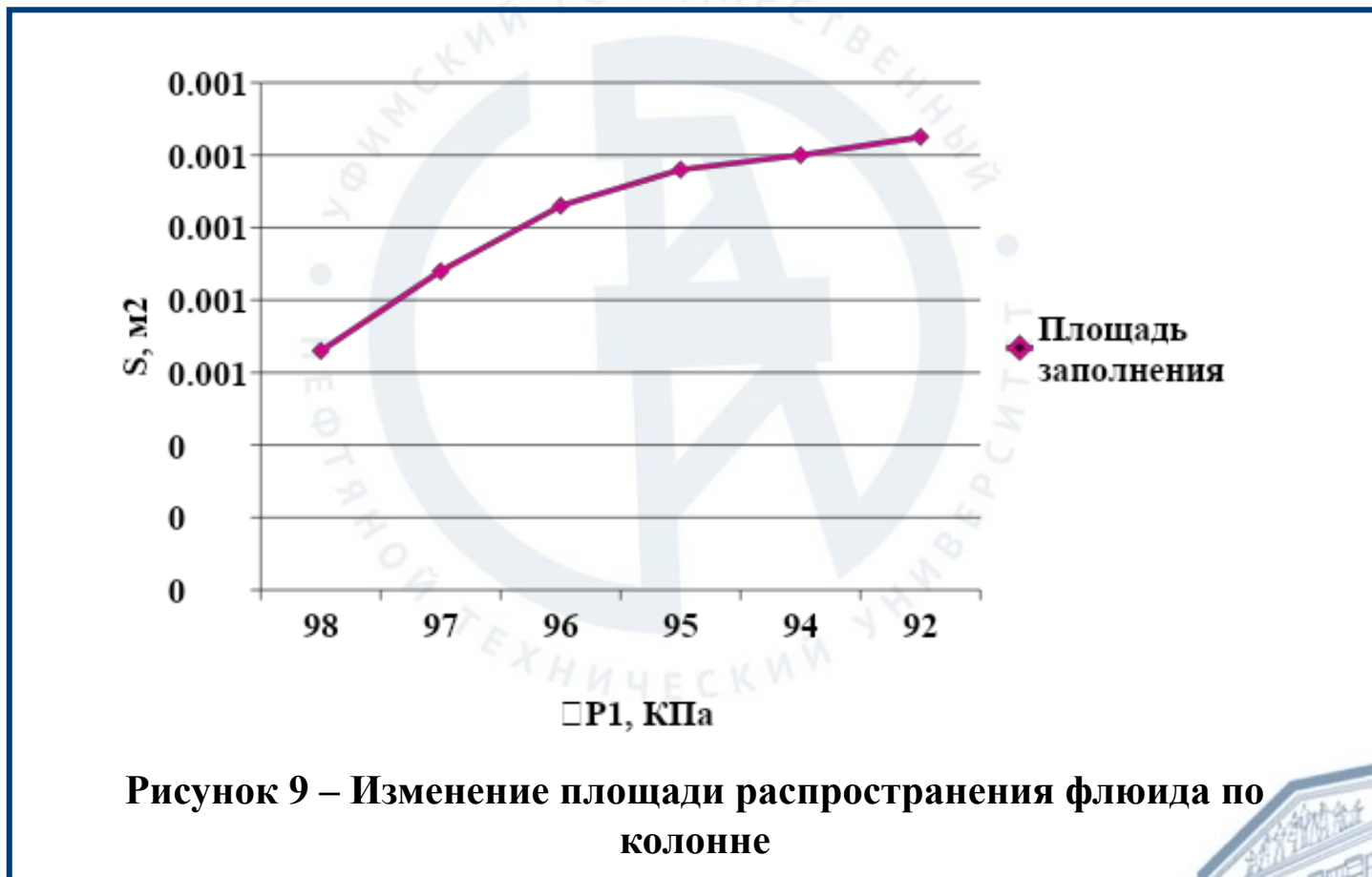
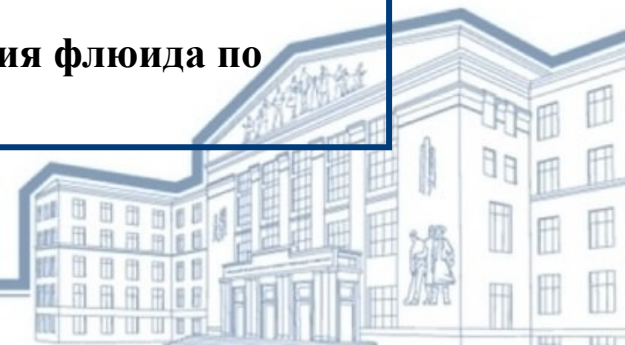
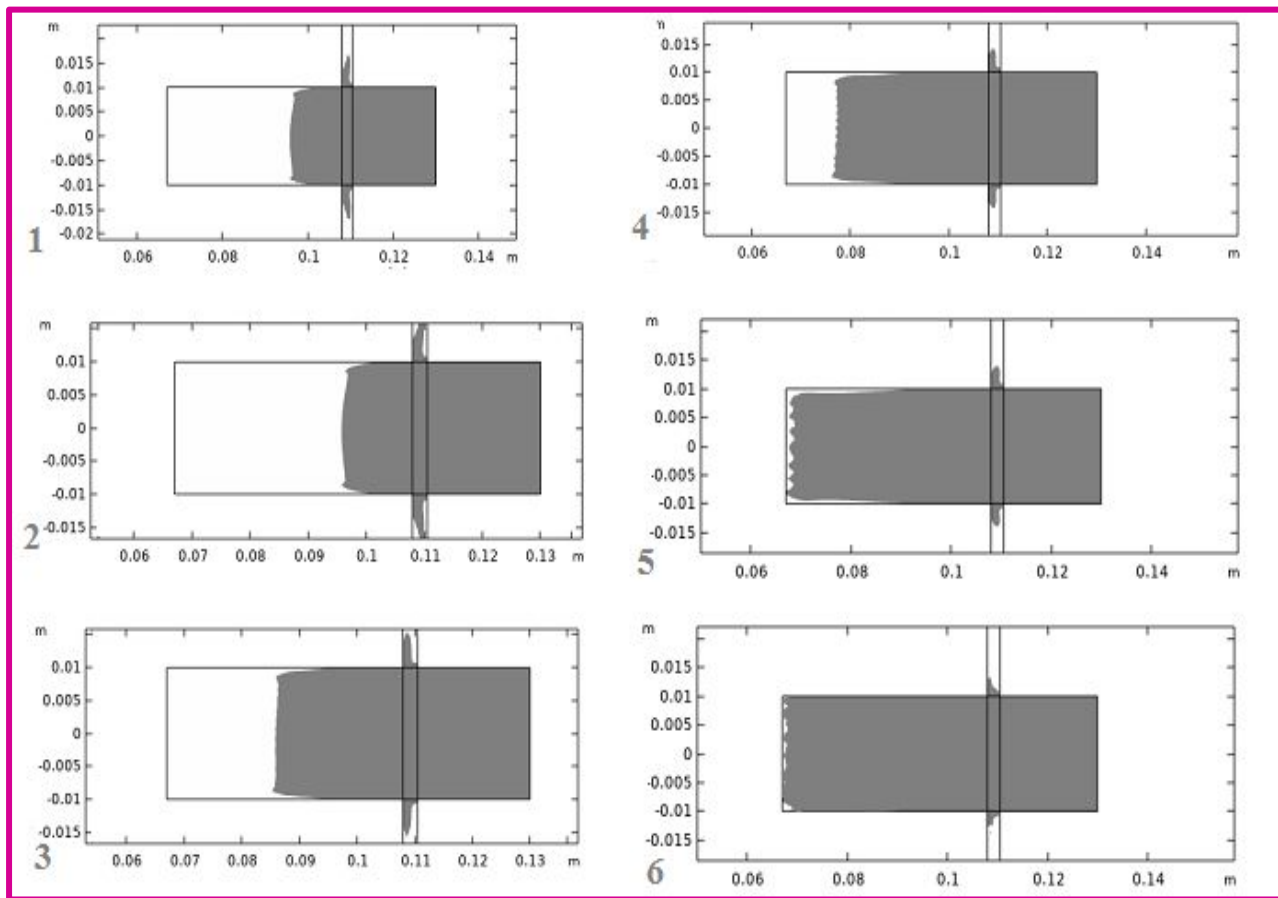


Рисунок 9 – Изменение площади распространения флюида по колонне





1 –  $L_y = f(92)$ ; 2 –  $L_y = f(94)$ ; 3 –  $L_y = f(95)$ ; 4 –  $L_y = f(96)$ ;

5 –  $L_y = f(97)$ ; 6 –  $L_y = f(98)$ .

Рисунок 10 – Распространения жидкости при разных значениях  $\Delta P_1$



Таблица 6 – Результаты моделирования для  $L_y = f(\Delta P_1)$  при низких значениях

Параметры	Значения параметров							
	4650	4670	4700	4710	4750	4770	4790	4800
	4900							
	5000							
	2	2	2,2	2,4	2,8	3	3,8	4,6

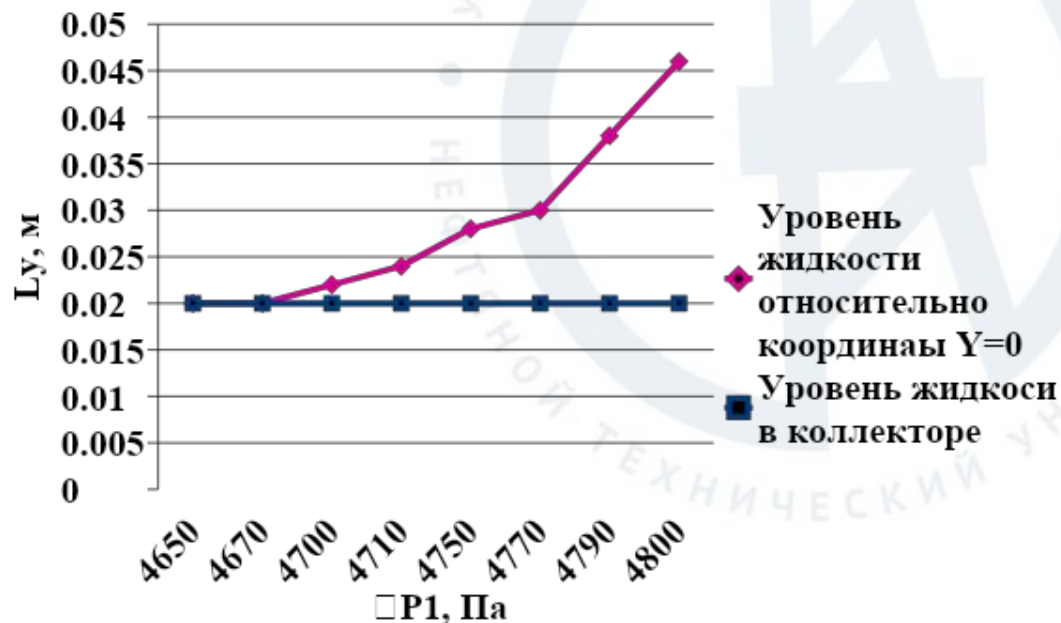


Рисунок 11 – График зависимостей  $L_y = f(\Delta P_1)$  и  $L_{y3} = 0,02$  для низких значений перепадов давления

$$\Delta P1 \approx 93,9\%$$

$$\delta_{92} = \frac{92000 \cdot 100\%}{98000} = 93,8\%;$$

$$\delta_{4695} = \frac{4695 \cdot 100\%}{5000} = 93,9\%.$$



## Расчёт критериального значения перепада давления между зазором и коллектором

Расчёт ведётся при тех же исходных данных, что и ранее, но в данном случае меняются значения  $\Delta P_2$ ,  $\Delta P_3$ , при  $\Delta P_1$ ,  $a - \text{const}$ .

Цель расчёта – найти значения  $\Delta P_2$ ,  $\Delta P_3$ , при которых флюид потечёт только вверх или вниз.

Для расчёта критериальных значений давлений  $\Delta P_{2,3}$ , необходимо построить графическим образом зависимости  $L_{y2}=f(\Delta P_2)$ , при  $\Delta P_{1,3}$ ,  $a - \text{const}$  и  $L_{y3}=f(\Delta P_3)$ , при  $\Delta P_{1,2}$ ,  $a - \text{const}$ .

Таблица 7 – Результаты моделирования для  $L_{y2} = f(\Delta P_2)$  и  $L_{y3} = f(96)$

Параметры	Значения параметров				
	98				
	96				
	90	92	94	96	98
	4,2	2,72	2,1	1,68	1,1
	1	1,48	1,62	1,66	1,7

При увеличении значений  $\Delta P_3$ , статический уровень жидкости для верхнего зазора увеличивается, и при значении  $\Delta P_3=96,02$  КПа происходит пересечение кривых, что означает, что при этом значении уровни жидкости  $L_{y2}$  и  $L_{y3}$  равны.

Пересечение кривых происходит не при значении  $\Delta P_2=\Delta P_3$  из-за того, что при движении жидкости вниз оказывает влияние ещё действие гравитации, создавая силу притяжения флюида вниз.

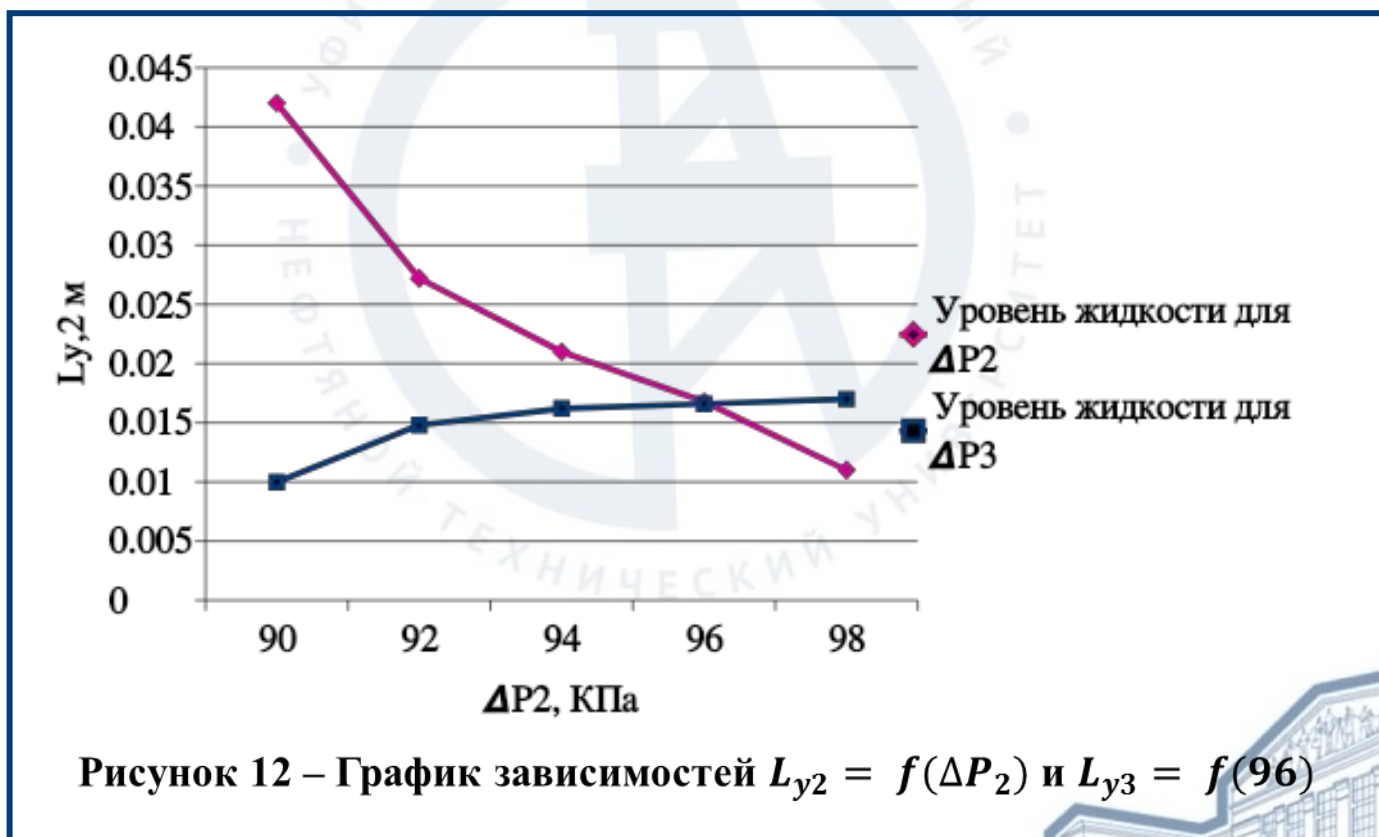
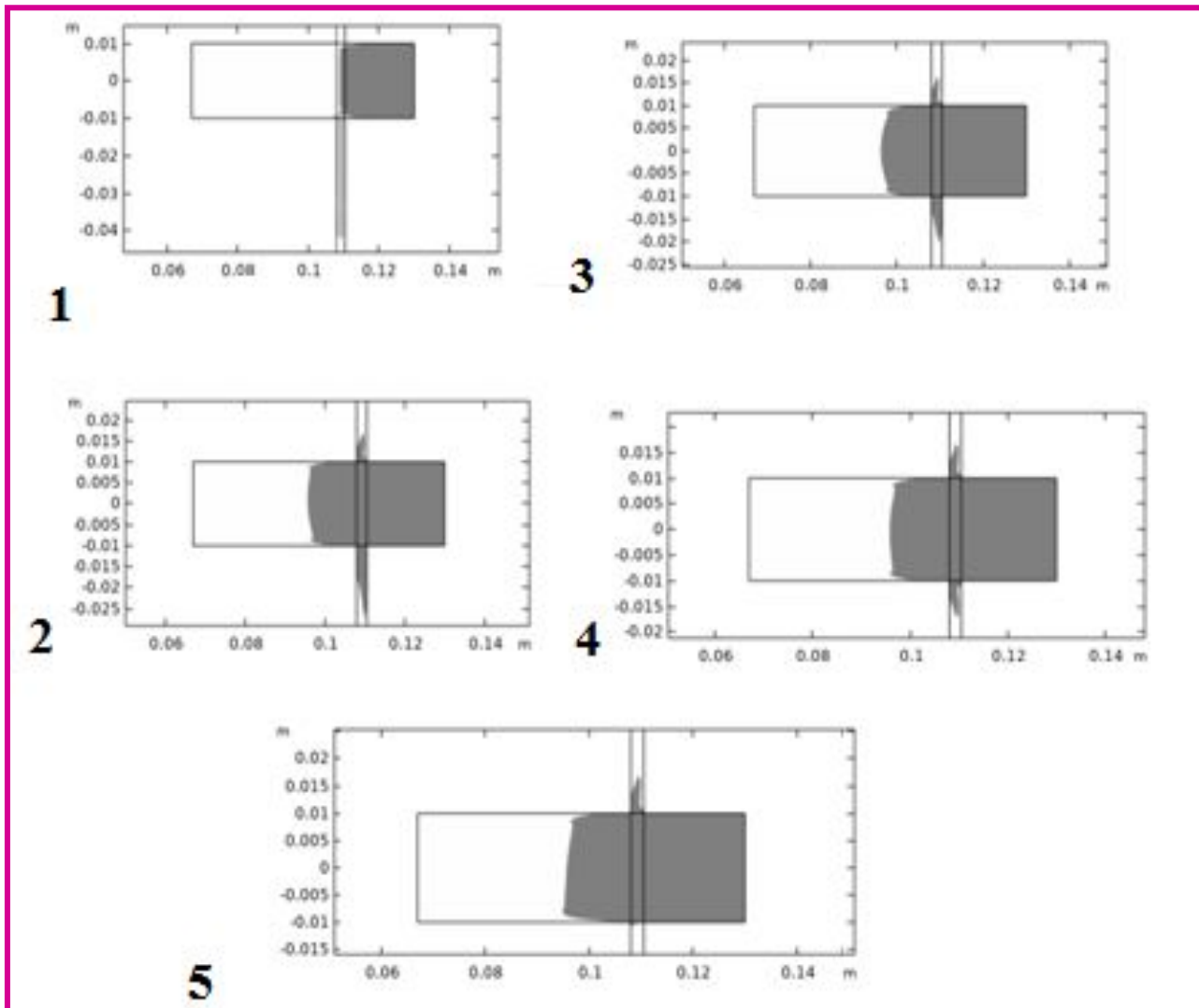
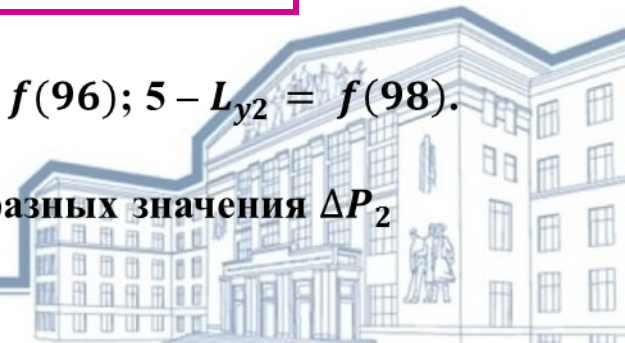


Рисунок 12 – График зависимостей  $L_{y2} = f(\Delta P_2)$  и  $L_{y3} = f(96)$

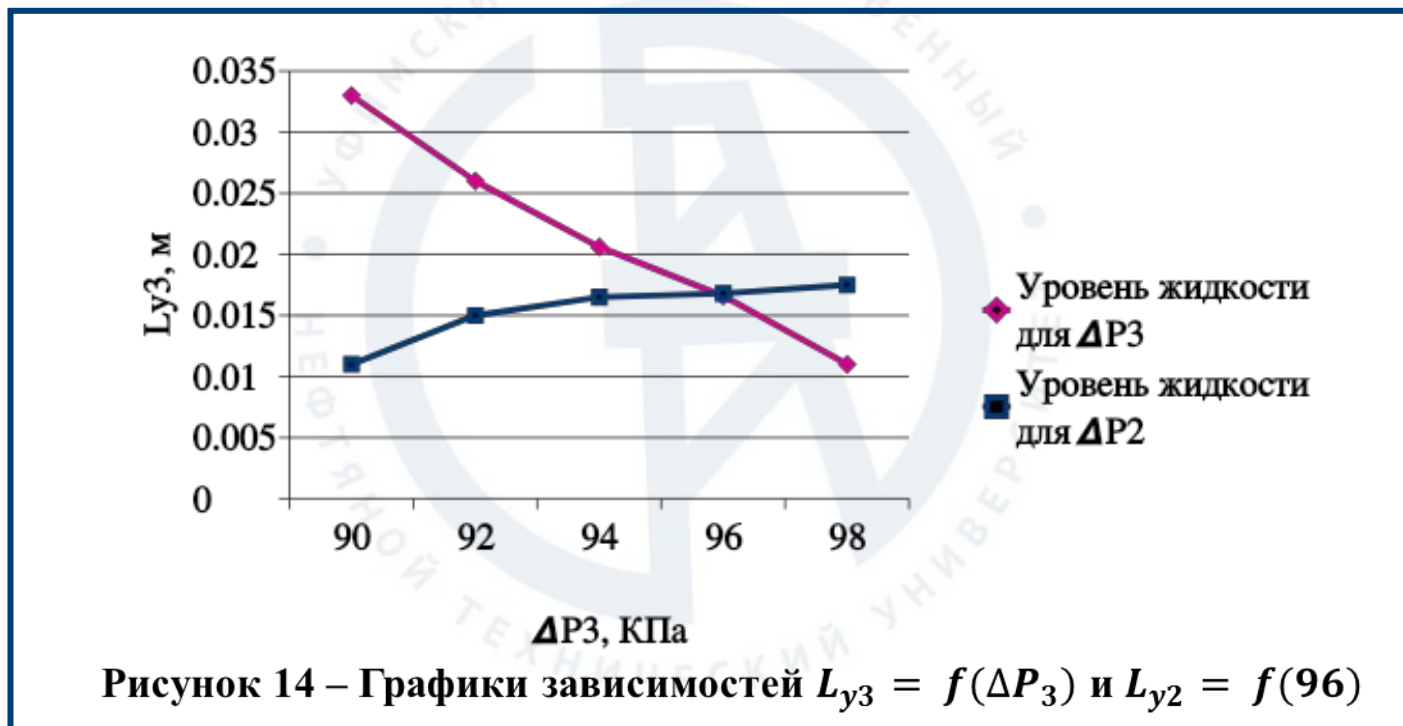


1 –  $L_{y2} = f(90)$ ; 2 –  $L_{y2} = f(92)$ ; 3 –  $L_{y2} = f(94)$ ; 4 –  $L_{y2} = f(96)$ ; 5 –  $L_{y2} = f(98)$ .

Рисунок 13 – Распространение флюида по колонне при разных значения  $\Delta P_2$



При разнице значений перепадов давлений между верхней частью дефекта цементирования и нижней, движение статического уровня жидкости будет направлено в сторону большего давления. А точка пересечения кривых  $L_{y2} = f(\Delta P_2)$  и  $L_{y3} = f(\Delta P_3)$  будет являться критериальной точкой давления, при котором статический уровень жидкости будет равным.

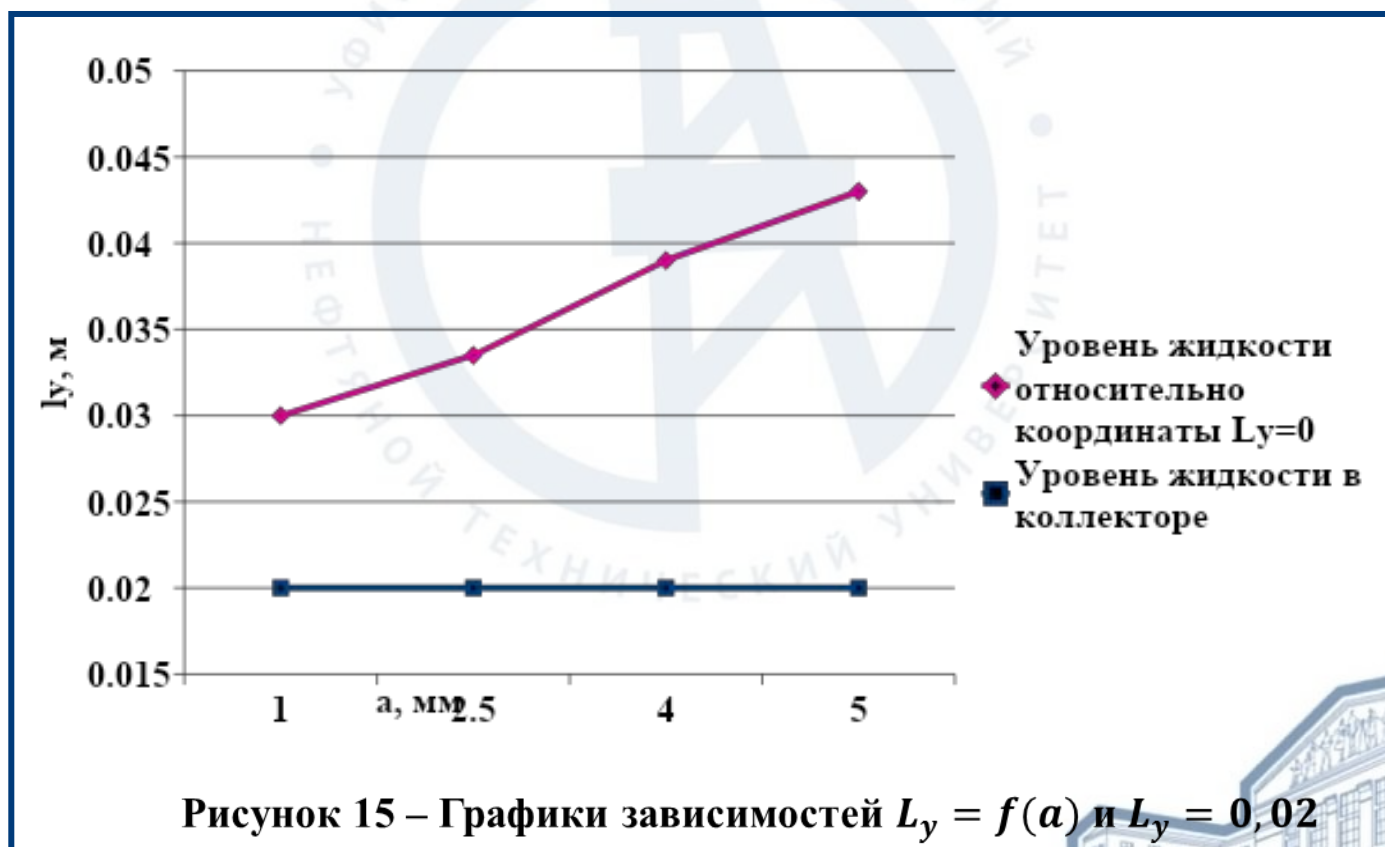


Критериальными значениями для  $\Delta P_2$  и  $\Delta P_3$ , при которых жидкость потечёт по дефекту цементирования, являются значения ниже перепада давления между коллектором и на выходе из перфорационного отверстия.



## Влияние ширины зазора на статический уровень жидкости

Значения  $L_y$  зависят от ширины дефекта, и при увеличении  $a$ , статический уровень жидкости также увеличивается. Для узких каналов соответствует низкое значение  $L_y$ , что связано с тем, что при уменьшении ширины зазора снижается пропускная способность дефекта. И как следствие, заполняется на меньшую высоту, тогда как площадь заполняемости по колонне увеличивается.





# Определение параметров дефектов цементирования

Методика определения параметров дефекта цементирования заключается в подсчёте эффективной площади сечения, используя численную модель, полученную расчётным путём, меняя перепады давлений между зазором и коллектором, коллектором и на выходе из перфорационного отверстия, расхода жидкости.

Расход жидкости вычисляется по формуле:

$$Q = v * S,$$

где  $Q$  – расход жидкости, м<sup>3</sup>/с;

$v$  – скорость движения жидкости, м/с;

$S$  – площадь сечения, м<sup>2</sup>.

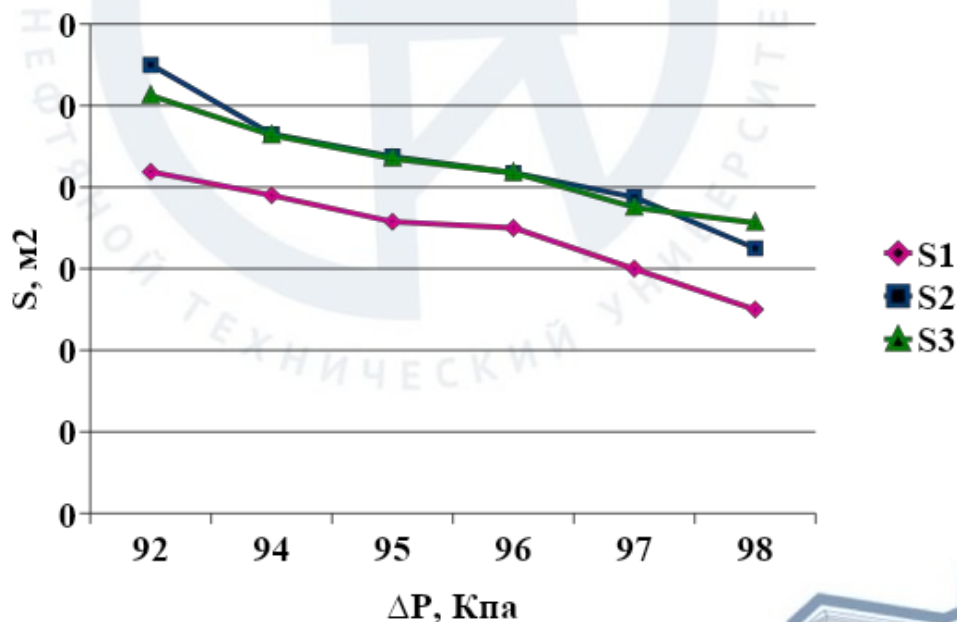


Рисунок 16 – Графики зависимостей



**Таблица 7 – Результаты моделирования**

Параметры	Значения параметров					
	92	94	95	96	97	98
Скорость потока из коллектора в ПО, U, м/с	2,5					
Ширина кольцевого зазора, $a \cdot 10^{-2}$ , м	0,25					
Статический уровень жидкости, $Ly1 \cdot 10^{-2}$ , м	3,35	3,12	2,86	2,8	2,4	2
Статический уровень жидкости, $Ly2 \cdot 10^{-2}$ , м	4,4	3,72	3,5	3,34	3,1	2,6
Статический уровень жидкости, $Ly3 \cdot 10^{-2}$ , м	4,1	3	3,48	3,4	3	2,85
Эффективная площадь сечения, $S1 \cdot 10^{-4}$ , м <sup>2</sup>	0,84	0,78	0,72	0,7	0,6	0,5
Эффективная площадь сечения, $S2 \cdot 10^{-4}$ , м <sup>2</sup>	1,1	0,93	0,88	0,84	0,78	0,65
Эффективная площадь сечения, $S3 \cdot 10^{-4}$ , м <sup>2</sup>	1,03	0,93	0,87	0,84	0,75	0,71
Расход жидкости, $Q1 \cdot 10^{-4}$ , м <sup>3</sup> /с	2,09	1,95	1,79	1,75	1,5	1,25
Расход жидкости, $Q2 \cdot 10^{-4}$ , м <sup>3</sup> /с	2,75	2,33	2,19	2,09	1,94	1,63
Расход жидкости, $Q3 \cdot 10^{-4}$ , м <sup>3</sup> /с	2,56	2,32	2,18	2,09	1,88	1,78

**Расход жидкости** зависит от скорости потока. В модели использовалась скорость флюида, равная 2,5. Исходя из таблицы, можно предположить, что при увеличении скорости – увеличивается расход, соответственно и площадь сечения, что говорит об увеличении ширины раскрытия дефекта или уровня жидкости в зазоре.

### В ходе дипломной работы решены следующие задачи:

- проведён анализ современных методов определения источников заколонных перетоков (ЗП) и локаций стоков, из которого следует, что современными методами локаций являются шумометрия, термометрия, ИННК при закачке меченой жидкости, ТМ и шумометрия в комплексе, методы моделирования; так же установлено, что заколонные перетоки определяются в 22% и 16% соответственно от общего числа скважин;
- разработаны методы по устранению недостатков ИННК в виде: создания калькулятора, который упрощает процесс закачки меченой жидкости; совмещения ИННК с методами состава и активационным каротажем; применения ИННК для решения задач при строительстве скважин;
- представлены результаты математического моделирования дефектов цементирования в скважине при их возникновении в начальный период ожидания затвердевания цемента, что помогает спрогнозировать вероятность появления заколонных перетоков, моделирование гидродинамики дефекта в виде зазора между цементным кольцом и горной породой позволяет прогнозировать площади сечений дефектов цементирования по перепадам давлений в граничных элементах дефектов цементирования;
- разработана методика по определению параметров дефекта цементирования по каротажным данным.



УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Спасибо за внимание!



# Каналы возникают

## Во время ожидания

- затвердевания цемента
- нарушение эксцентриситета колонны;
- изменение течения цементного раствора;
- неправильный подбор плотности раствора;
- разрушение цементного камня;
- изменение геометрии областей размыва;
- преждевременное загустевание цемента;
- чрезмерная водоотдача;

## некачественная водоизоляция;

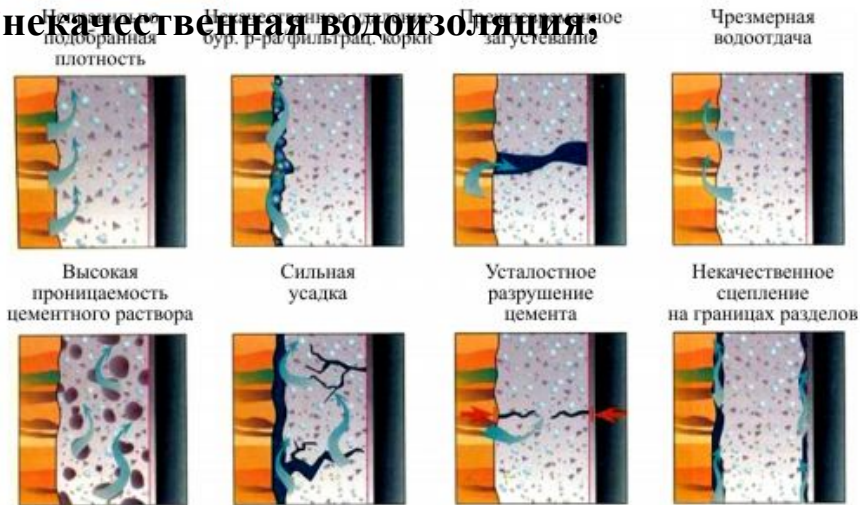
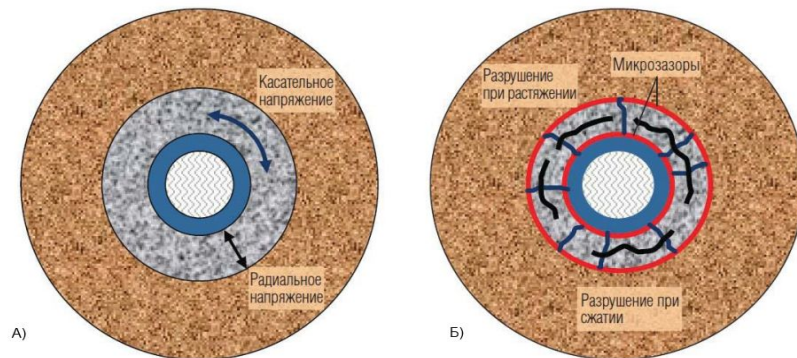


Рисунок 1 - Причины образования каналов в колонне во время ОЗЦ

## После ожидания

## затвердевания цемента

- изменение режима нагружения скважины
- испытание обсадных колонн на герметичность избыточным давлением;
- перфорация обсадных колонн;
- удары долота и бурильных труб о стенки обсадной колонны;
- воздействие тектонических напряжений.



А – изменение касательных и радиальных напряжений;  
Б – образование микрозоров.

Рисунок 2 – Образование трещин и микрозоров

# Известные методы локации заколонных перетоков

Определение положения заколонного перетока состоит в установлении источника и локации места стока ЗП.



Методы определения ЗКЦ не всегда дают эффективный результат. Так как у них есть ряд преимуществ и недостатков. Каждый из них можно усовершенствовать и постараться избавиться от ограничений, но в дипломной работе уделено внимание лишь на некоторых из них.

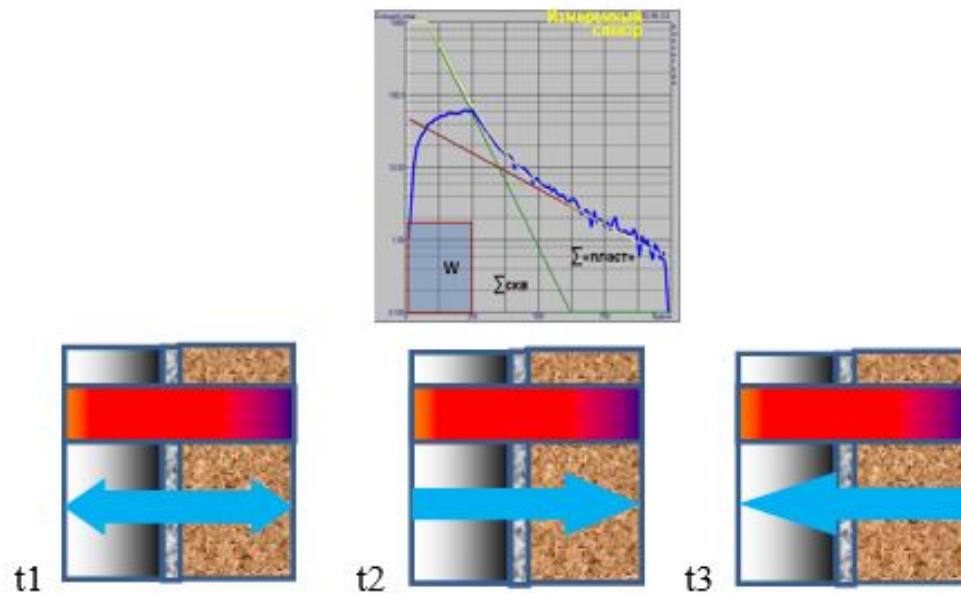


# Методика определения параметров дефектов цементирования

Методика определения параметров дефектов цементирования основана на расчёте объёма фигуры, занятого жидкостью, в зазоре. Расчеты производятся в той же модели, что и ранее.

Методика заключается в:

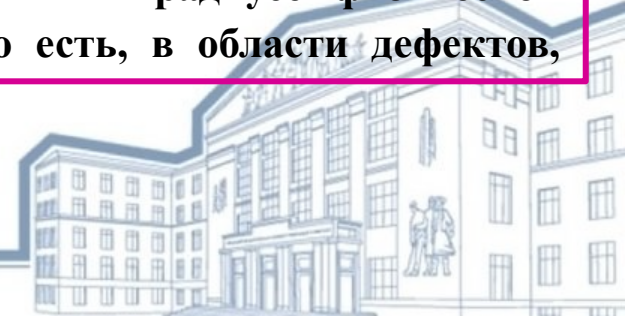
- определении объёма жидкости в кольцевом зазоре;
- определении расчётного расхода жидкости в зазоре;
- калибровке спектрального скважинного шумомера на метрологическом оборудовании с дефектами цементирования в виде кольцевых зазоров разной величины в заколонном пространстве и разной скорости перемещения жидкостей в зазоре по интегральному уровню шума и его спектральному составу;
- определении уровня шумов, возникающих в скважине при перемещении жидкостей по каротажным диаграммам термоакустического метода (ТАМ);
- определении расхода и скорости перемещения жидкости в дефекте по градуированным характеристикам интегральному уровню шума и его спектральному составу по каротажным диаграммам ТАМ;
- определении диаграммы направленности угла раскрытия дефекта и его длины по каротажным диаграммам ТАМ;
- определении эффективной площади дефекта по расходу и скорости перемещения жидкости в дефекте;
- определении площади и ширины дефекта по эффективной площади дефекта, его длине



**Рисунок 5 – Зарегистрированный временной спектр тепловых нейтронов**

**Из анализа временного распределения тепловых нейтронов при ИННК следует:**

- на показания ИННК слабо влияет конструкция скважины и остатки в скважине нейтроно-поглощающего раствора
- метод эффективен при наличии дефектов, расположенных в радиусе физической глубинности метода 40 – 50 см от стенки скважины, то есть, в области дефектов, лежащих вне эффективности термометрии.





Для визуальной оценки работы калькулятора были рассчитаны зависимости сечения захвата раствора от концентрации растворов и аномальности от концентрации растворов (рисунок 6).

При увеличении концентрации раствора сечение захвата раствора увеличивается, причём, для раствора  $CaCl_2$  это увеличение более существенно, как и его коэффициент аномальности выше (рисунок 5).

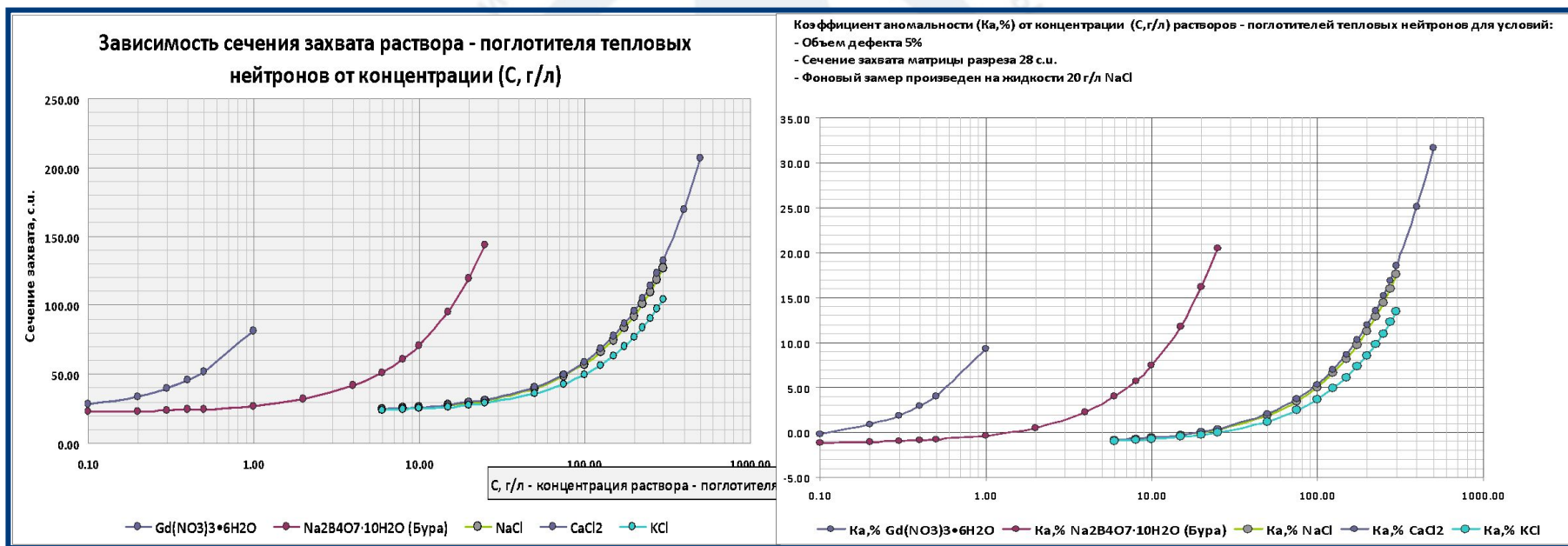


Рисунок 5 - Графики зависимостей сечения раствора-поглотителя и аномальности от концентрации растворов



Провели серию последовательных замеров ИННК в баке с водой, и после добавления раствора гадолиния  $Gd(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ , концентрацией 0,26 г/л.

По результатам обработки  $\Sigma_B = 23,2$  с.у.,  $\Sigma_{GD(NO_3)_3 \cdot 6H_2O} = 37,1$  с.у.

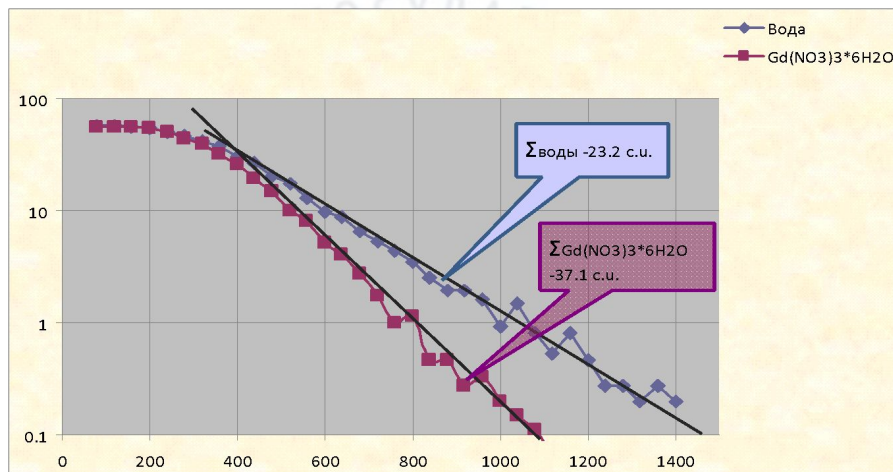


Рисунок 7 – Измеренные временные спектры тепловых нейтронов

Таблица 3 – Рассчитанные значения параметров для раствора  $Gd(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$

Данные:	$Gd(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$
Число атомов поглотителя в молекуле, n	1
Сечение захвата атома поглотителя, S, с.у.	49000
Молярная масса вещества-поглотителя, M, г/моль	515,50
Атомная масса элемента-поглотителя, m, кг	157,30
Концентрация раствора, C, г/л	0,26
Сечение захвата раствора, $\Sigma_{р-ра}$ , с.у.	37,47
Концентрация элемента поглотителя, с, г/л	0,080

Для представления калькулятора необходимо рассчитать макроскопическое сечение раствора. Значение макроскопического сечения  $\Sigma_a$  для водного раствора реагента содержащего  $n$  атомов в одном моле вещества (на примере  $NaCl$ ):

$$\Sigma = 22 + 0,35 * C,$$

$$\Sigma_{p-ra} = 22 + 0,62M * \Sigma * C * n,$$

где  $n$  – количество атомов поглотителя в одном моле вещества;

$\Sigma$  – макроскопическое сечение захвата поглотителя, с.и.;

$M$  – молярная масса  $NaCl$ .

$C$  – концентрация раствора, %.

Для того чтобы найти концентрацию элемента поглотителя необходимо:

$$c = t * \frac{n}{M} * C,$$

где  $t$  – атомная масса элемента-поглотителя, кг.

Учитывая, что  $K_{пск} = 1 - K_{пэфф}$ ,

где  $K_{пск}$  – коэффициент пористости скелета породы, доли ед.;

$K_{пэфф}$  – коэффициент эффективной пористости, доли ед.

$$\Sigma_v = 22 + 0,35 * \eta_v,$$

где  $\Sigma_v$  – макроскопическое сечение воды, с.и.;

$\eta_v$  – минерализация воды, г/л.

Находим сечение породы:

$$\Sigma_{п-ды} = k_{пск} * \Sigma_{с-та} + k_{пэфф} * \Sigma_v,$$

где  $\Sigma_{с-та}$  – макроскопическое сечение скелета, с.и.

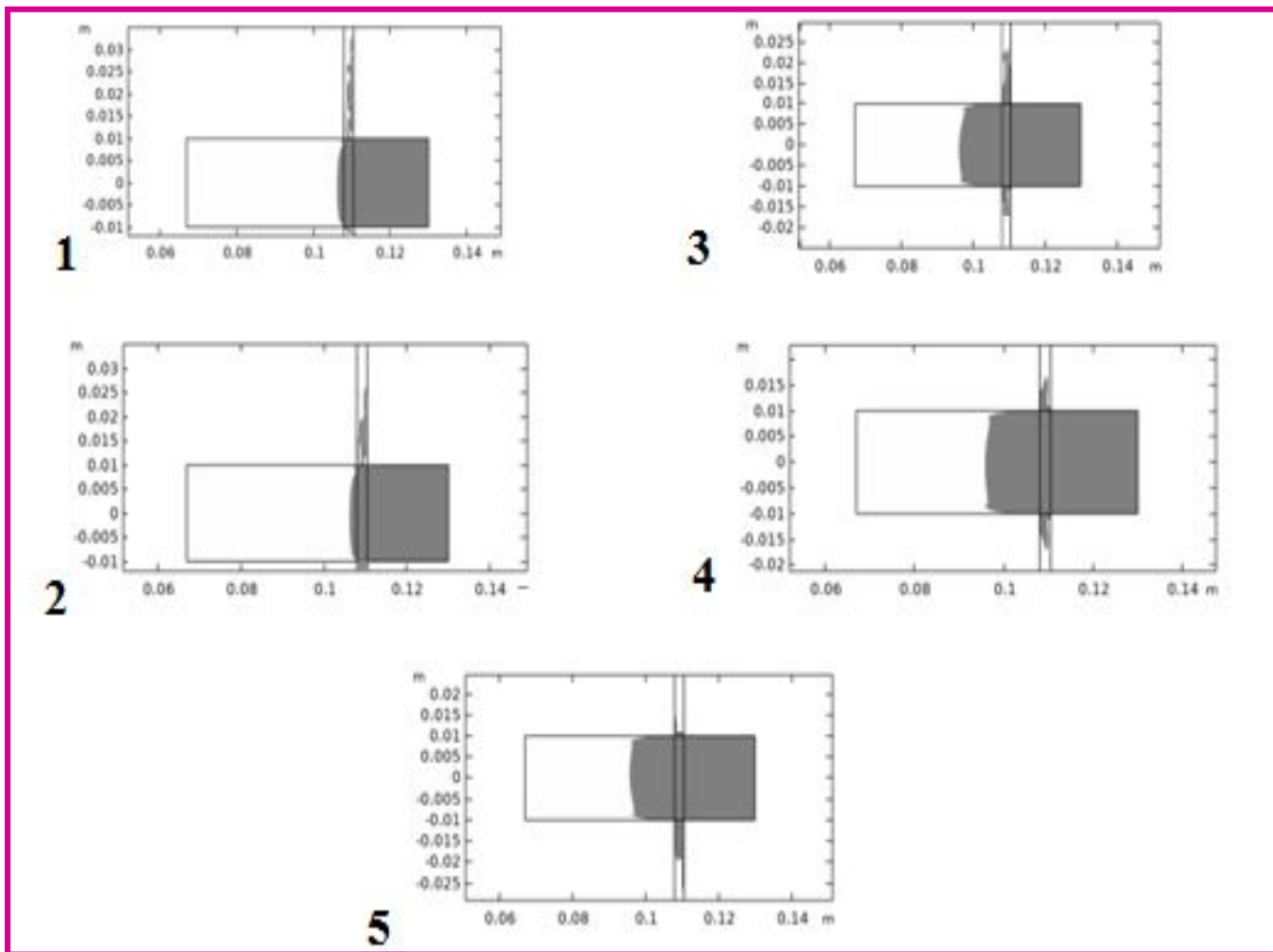
При этом сечение породы при закачке будет равно:

$$\Sigma_{п.з-ка} = k_{пск} * \Sigma_{p-ra} + k_{пэфф} * \Sigma_v.$$

Учитывая выражения выше, находим аномальность, выраженную в процентах:

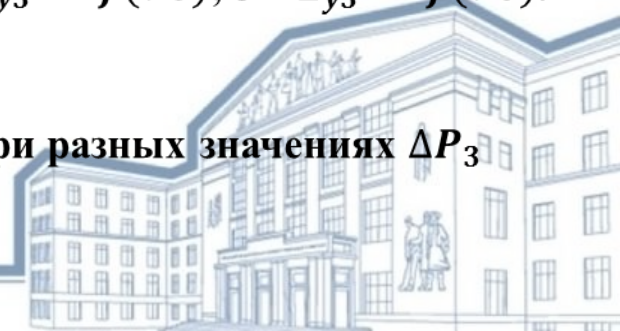
$$A = \frac{\Sigma_{п.з-ка} - \Sigma_{п-ды}}{\Sigma_{п-ды}} * 100.$$

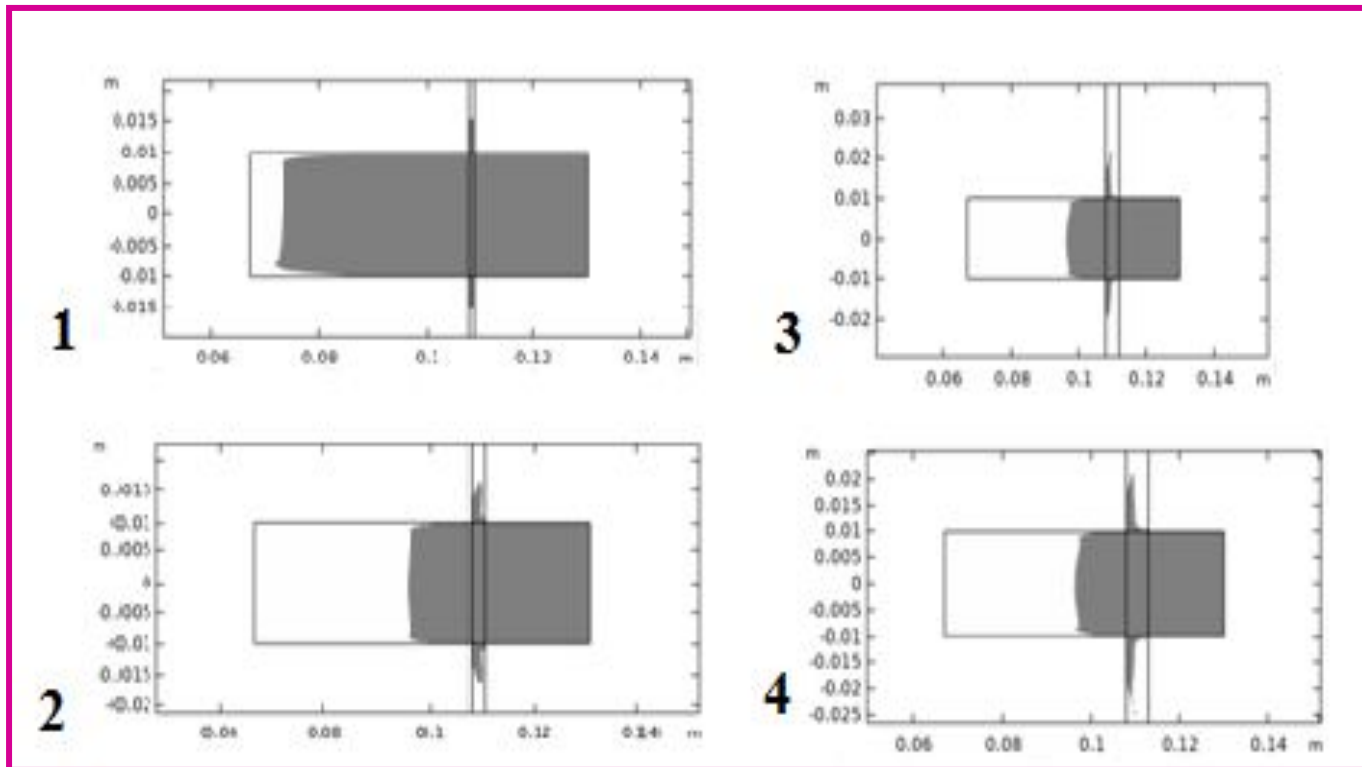




1 –  $L_{y3} = f(90)$ ; 2 –  $L_{y3} = f(92)$ ; 3 –  $L_{y3} = f(94)$ ; 4 –  $L_{y3} = f(96)$ ; 5 –  $L_{y3} = f(98)$ .

Рисунок 22 – Распространение флюида по колонне при разных значениях  $\Delta P_3$





$$1 - L_y = f(1); 2 - L_y = f(2, 5); 3 - L_y = f(4); 4 - L_y = f(5).$$

Рисунок 23 – Распространение флюида по колонне при разных значения

