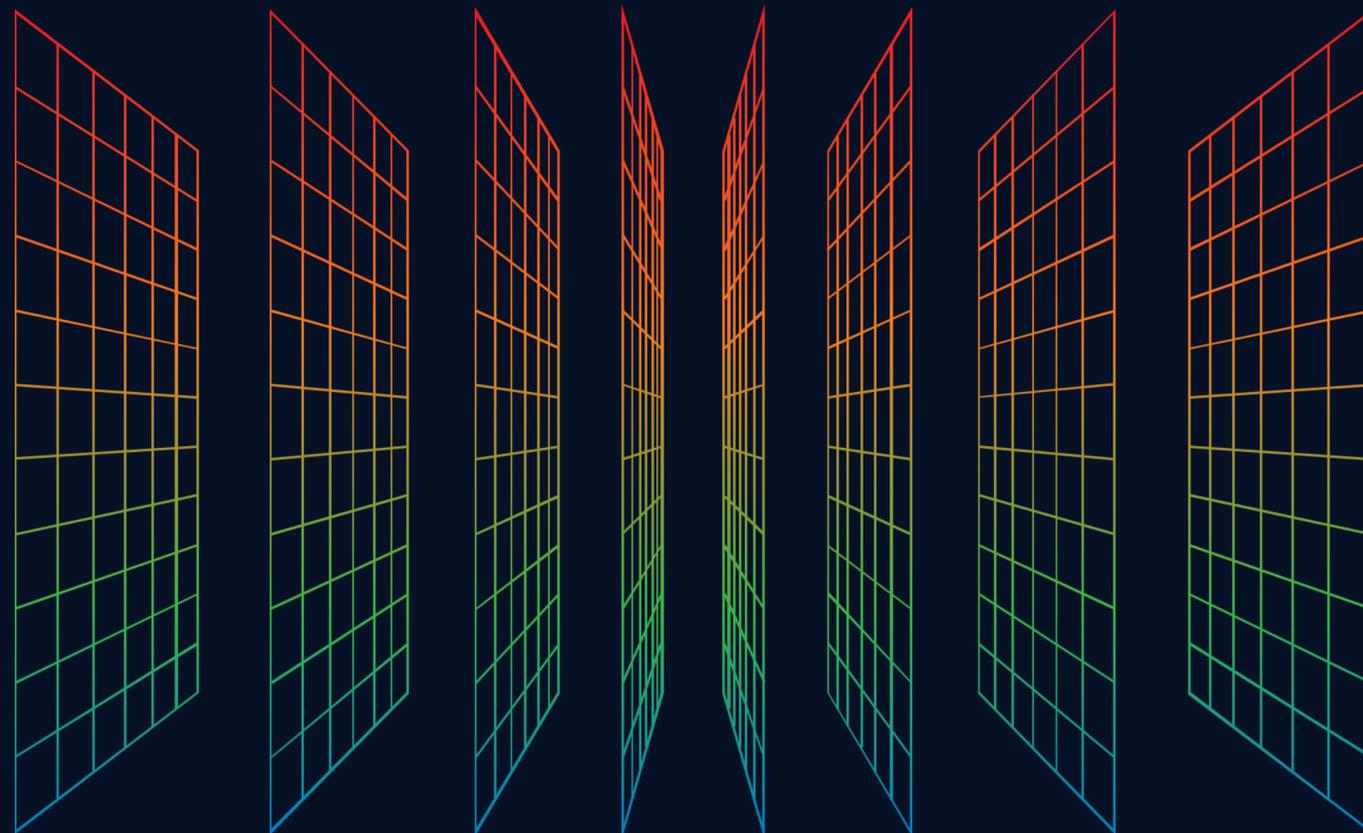


# Дизайнер ОФП

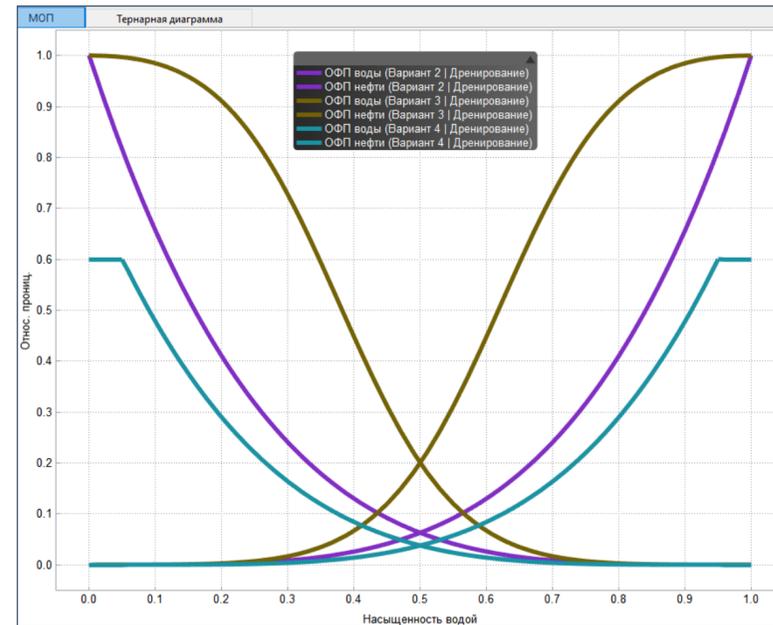
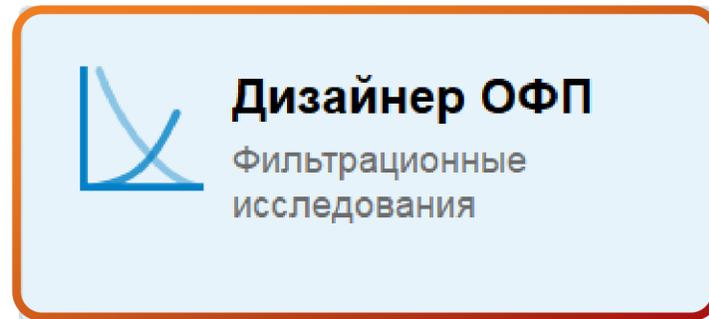


**HPM**

**Внимание!** При прохождении данного курса следует помнить, что методики, описанные в рамках урока, носят рекомендательный характер и не являются единственно верными. Основной целью данного курса является рассмотрение всех основных функций, доступных в тНавигатор. В реальных проектах применяемые методики могут отличаться от описанных в данном курсе. Все данные, используемые в курсе, не являются реальными.

# Дизайнер ОФП

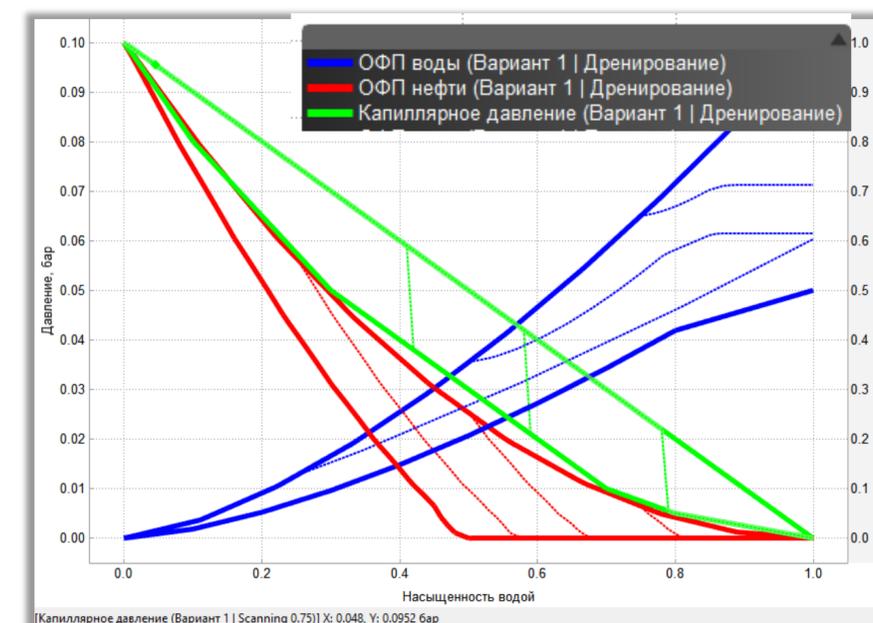
- Модуль **Дизайнер ОФП** ПО tНавигатор — это инструмент для анализа данных интерпретированных исследований и построения кривых относительных фазовых проницаемостей (ОФП) и капиллярных давлений ( $P_c$ ) на их основе



- Дизайнер ОФП позволяет загрузить все данные лабораторных исследований, провести их интерпретацию и адаптацию для дальнейшего использования в гидродинамической модели
- Дизайнер ОФП тесно интегрирован с Дизайнером Моделей

# Ключевая функциональность

- Широкий спектр инструментов для загрузки, редактирования и анализа результатов лабораторных исследований и готовых вариантов ОФП и капиллярных давлений, их нормализации и кластеризации (алгоритм DBSCAN), аппроксимации результатов исследований с помощью корреляций (Corey, LET, Thomeer, Brooks и Corey, Bentsen и Anli, Skjaeveland, Skjaeveland и Masalmeh, Masalmeh)
- Проведение адаптации для настройки на результаты измерений, контроль качества адаптированных данных
- Перемасштабирование кривых ОФП с помощью изменения конечных точек (по 2-м и 3-м точкам)
- Расчет ОФП для трехфазных систем на основе моделей Baker, первой и второй моделей Stone, линейных изоперм и их визуализация на тернарной диаграмме
- Расчет эффекта гистерезиса (Карлсон, Киллоу, Джаргон)
- Моделирование эффекта гистерезиса на кривые ОФП для методов увеличения нефтеотдачи: закачка ПАВ, воды с низкой соленостью, смешивающееся вытеснение, попеременная закачка воды и газа (WAG)
- Экспорт в формате ключевых слов симуляторов
- Поддержка графов моделирования (Workflow) на языке Python
- и др.



# Содержание

---

- Загрузка данных ОФП
- Загрузка данных капиллярного давления
- Графики
- Свойства результатов измерений
- Кроссплот
- Фильтр данных. Кластеризация DBSCAN

## Загрузка и анализ данных ОФП и капиллярных давлений

# Загрузка данных ОФП

- Могут быть импортированы как наборы интерпретированных кривых ОФП, так и первичные лабораторные исследования
- Данные могут быть загружены с помощью одного файла (могут содержаться несколько результатов) или буфера обмена
- Формат файла определяется автоматически, если данные разделены табуляцией и содержат название образца/скважины

The screenshot shows the software interface with several components:

- Варианты (Options):** A list of options including "Относ. фазовые проницаемости" (Relative phase permeabilities), "Вода-нефть" (Water-oil), "Газ-Нефть" (Gas-oil), and "Вода-газ" (Water-gas).
- Конфигурация новой таблицы (New table configuration):** A dialog box with options for "Имя" (Name: Образец 1), "Система" (System: Вода-нефть), and "Тип модели" (Model type: Результаты измерений).
- Данные (Data):** A table showing "Образец 1 данные:" (Sample 1 data) with columns for "Насыщенность водой" (Water saturation), "Вода | Образец 1" (Water | Sample 1), and "Нефть | Образец 1" (Oil | Sample 1).
- Образец 1 нормированные данные (Sample 1 normalized data):** A table showing normalized data for the same sample.
- Образец 1 свойства (Sample 1 properties):** A table listing parameters like Well, Depth, Porosity, Permeability, Oil\_Viscosity, Gas\_Viscosity, Water\_Viscosity, and Comment.
- Или (Or):** A green button with a plus sign and a minus sign, indicating alternative loading methods.
- Скопировать (Copy):** A green button with a plus sign, indicating data can be copied from a spreadsheet.
- Импортировать из файла (Import from file):** A green button with a plus sign, indicating data can be imported from a file.
- Загруженные данные пока не нормированы (Loaded data is not yet normalized):** A blue dashed box highlighting the "Образец 1 нормированные данные" table.

Образец	Насыщенность водой	Вода   Образец 1	Нефть   Образец 1
1	0,302	0	1
2	0,51	0,013	0,136
3	0,555	0,019	0,067
4	0,6	0,024	0,029
5	0,697	0,053	0

Образец	Насыщенность водой	Вода   Образец 1	Нефть   Образец 1
1	0,302	0	1
2	0,51	0,013	0,136
3	0,555	0,019	0,067
4	0,6	0,024	0,029
5	0,697	0,053	0

Параметр	Значение
Well	305
Depth, м	1450
Porosity, доля	0,3
Permeability, мДарси	50
Oil_Viscosity, сП	
Gas_Viscosity, сП	
Water_Viscosity, сП	
Comment	

Образец	Насыщенность водой	Вода	Нефть
Образец 1	0.258	0.000	1.000
	0.470	0.005	0.056
	0.540	0.008	0.030
	0.590	0.013	0.016
	0.697	0.028	0.000
Образец 2	0.302	0.000	1.000
	0.470	0.014	0.153
	0.512	0.015	
	0.591	0.01	

# Загрузка данных капиллярного давления

- Могут быть импортированы как наборы интерпретированных  $P_c$ , так и первичные лабораторные исследования
- Данные могут быть загружены с помощью одного файла (могут содержаться несколько результатов) или буфера обмена
- Формат файла определяется автоматически, если данные разделены табуляцией и содержат название образца/скважины

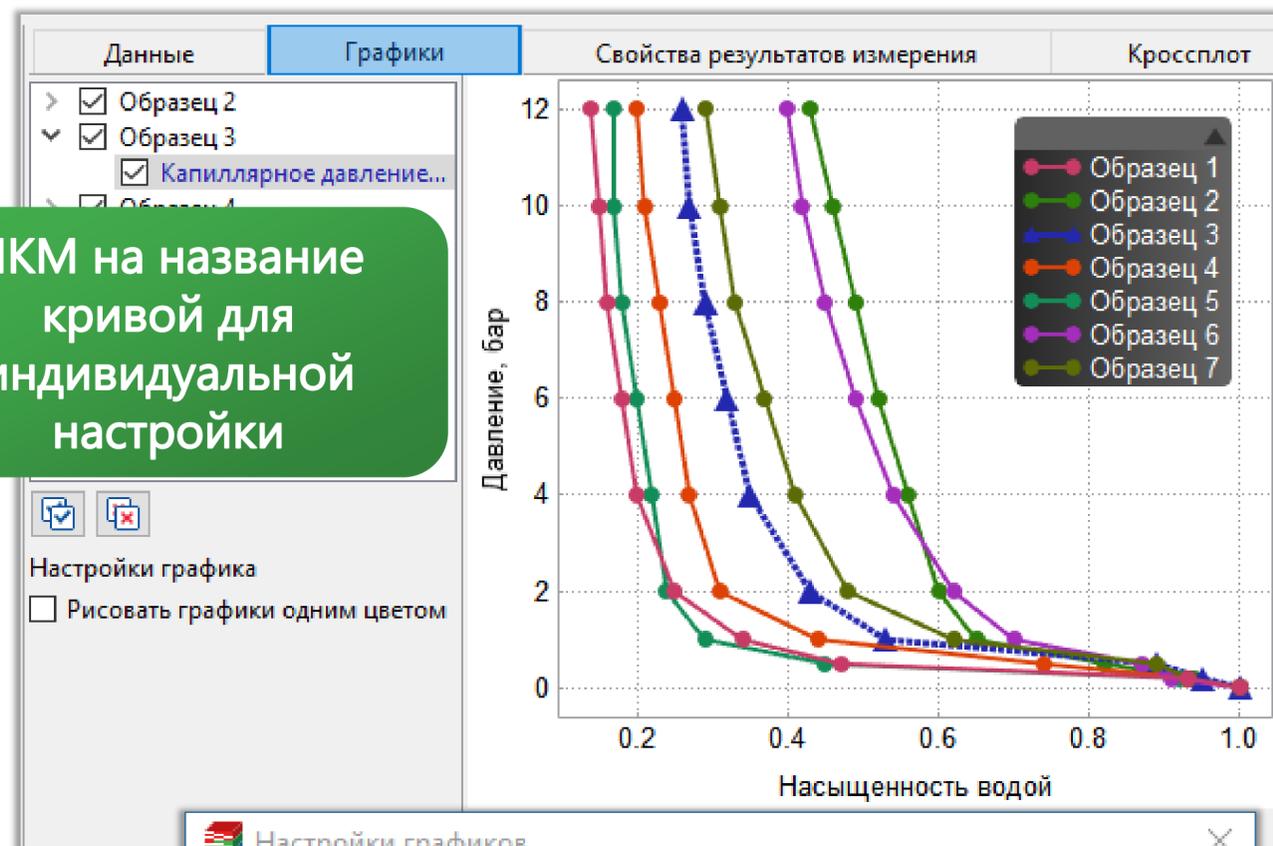
The screenshot displays the software interface with several key components:

- Left Panel:** A list of measurement results under "Результаты измерений" with "Образец 1" selected. Below it are "Варианты" (Options) including "Кап. давления" (highlighted), "Вода-нефть", "Газ-Нефть", and "Вода-газ".
- Configuration Dialog:** A "Конфигурация новой таблицы" dialog box with fields for "Имя" (Образец 1), "Система" (Вода-нефть), and "Тип модели" (Результаты измерений).
- Main Data Table:** A table with columns "Номер образца", "Насыщенность водой, д.ед.", and "Давление, атм". It shows data for two samples (305 and 306) across 10 rows.
- Right Panel:** A "Данные" (Data) tab showing "Образец 1 данные:" with columns "Насыщенность водой" and "Капиллярное давление | Образец бар". It also shows "Образец 1 нормированные данные:" and "Образец 1 свойства:".
- Annotations:** A green box "Или" points to the "+" and "-" icons in the "Результаты измерений" list. A green box "Скопировать" points to the data table. A green box "Импортировать из файла" points to the "+" icon in the "Результаты измерений" list. A dashed blue box "Загруженные данные пока не нормированы" highlights the "Образец 1 нормированные данные:" table.

# Графики

- Вкладка предназначена для анализа результатов измерений и дальнейшей оценки качества нормализации, аппроксимации и адаптации

ПКМ на название кривой для индивидуальной настройки



Настройки графиков

Размер: 3

Цвет: [Blue]

Маркер: [Triangle]

Размер маркера: 5

Цвет маркера: [?]

Форма линии

Сплошная линия

Пунктирная линия

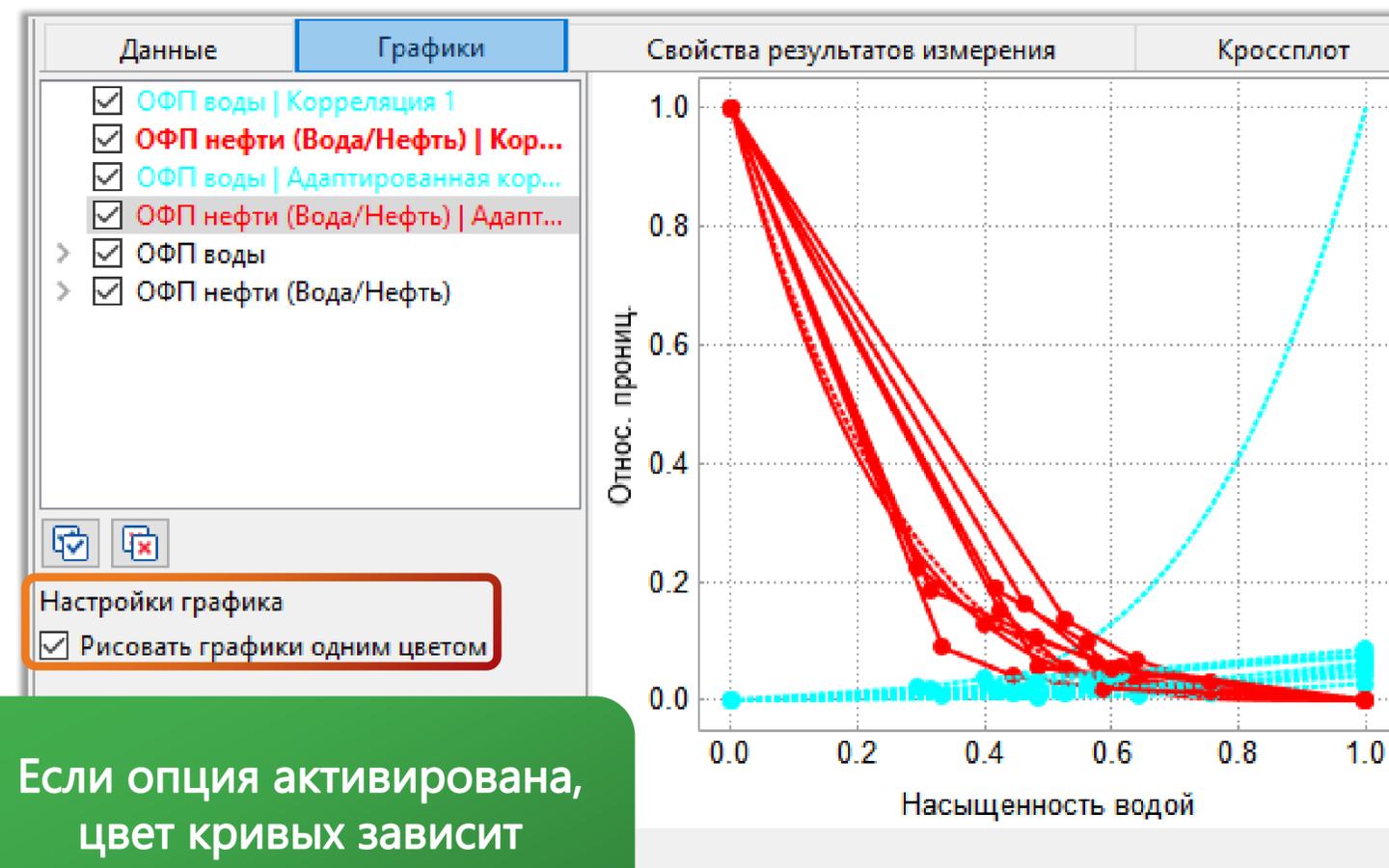
Стиль линии

Ступенчатая линия

Непрерывная линия

Только точки

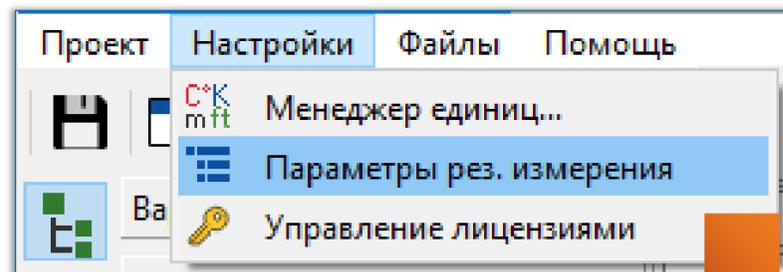
Закреть



Если опция активирована, цвет кривых зависит от типа графика (например, ОФП воды/нефти).

# Свойства результатов измерений

- На данной вкладке представлена детальная информация о замерах (глубина, пористость, проницаемость и т.д.)
- Загруженные свойства результатов измерений используются в качестве переменных в формулах (для нормализации по формуле), а также как параметры для построения кроссплотов



Список параметров рез. измерения

Относ. фазовые проницаемости				Капиллярное давление			
	Имя	Тип значения	Тип единиц		Имя	Тип значения	Тип единиц
1	Well	Строка	Безразмерна...	1	Depth	Float	Длина
2	Depth	Float	Длина	2	Porosity	Float	Концентрация
3	Porosity	Float	Концентрация	3	Permeability	Float	Проницаемо...
4	Permeability	Float	Проницаемо...	4	New_Parameter_1	Строка	Безразмерна...
5	Oil_Viscosity	Float	Вязкость		Пишите или ...		
6	Gas_Viscosity	Float	Вязкость				
7	Water_Viscosity	Float	Вязкость				
8	Comment	Строка	Безразмерна...				
	Пишите или ...						

Добавить строку    Удалить выделенные строки    Добавить строку    Удалить выделенные строки

Применить    Отмена

**Редактирование списка отображаемых свойств**

Данные	Графики	Свойства результатов измерения	Кроссплот	
	Имя результата измерения	Depth, м	Porosity, доля	Permeability, мДарси
15	Образец 1 3	2710	0,030654	0,12
16	Образец 2 3	2710,4	0,014976	0,96
17	308 2	2715,2	0,04032	0,48
18	309 2	2715,7	0,133	1,464
19	310 2	2716,1	0,089034	5,52
20	311 2	2716,4	0,131386	76,2
21	312 2	2716,9	0,080868	3,36
22	Образец 2 4	2717,7	0,071628	2,64
23	308 3	2717,8	0,121273	24,84
24	309 3	2718,1	0,112896	9,12
25	310 3	2718,6	0,023226	0,12
26	311 3	2718,8	0,070488	2,4
27	312 3	2719,4	0,024534	0,24

**Имя столбца в таблице является именем переменной в формулах. Каждое значение по каждому замеру будет автоматически поступать в расчет (см. следующий слайд)**

# Кроссплот

- Вкладка строит кроссплот или 2D гистограмму на основе результатов измерений для оценки зависимости параметров
- Цвет каждой точки соответствует значению параметра, заданного в поле **Вес**

The screenshot displays the software interface for creating a crossplot. The main window is titled "Свойства результатов измерения" and "Кроссплот". The plot shows Permeability on the Y-axis (logarithmic scale, 0.01 to 100) and Porosity on the X-axis (0.02 to 0.12). The data points are colored based on the "Вес" (Weight) parameter.

**Свойства результатов измерения**

Использовать данные

Свойства результата измерения

Depth  
Porosity  
Permeability  
Water\_Viscosity

Функции

Log10 ()  
Ln ()  
Exp ()  
Abs ()

X: Porosity Применить

Y: Permeability Применить

Вес: Depth Применить

**Настройки**

Данные | Графики

Основные настройки  
Цвета графика  
2D гистограммы

Цвета

Настройки оси X

Авто мин.-макс.  
Мин. значение: 0,01458  
Макс. значение: 0,133

Обрезать данные по мин.-макс  
 Выставить мин.-макс по данным

Логарифмическая шкала  
 Удалить отступы  
 Обратить оси

**Настройки оси Y**

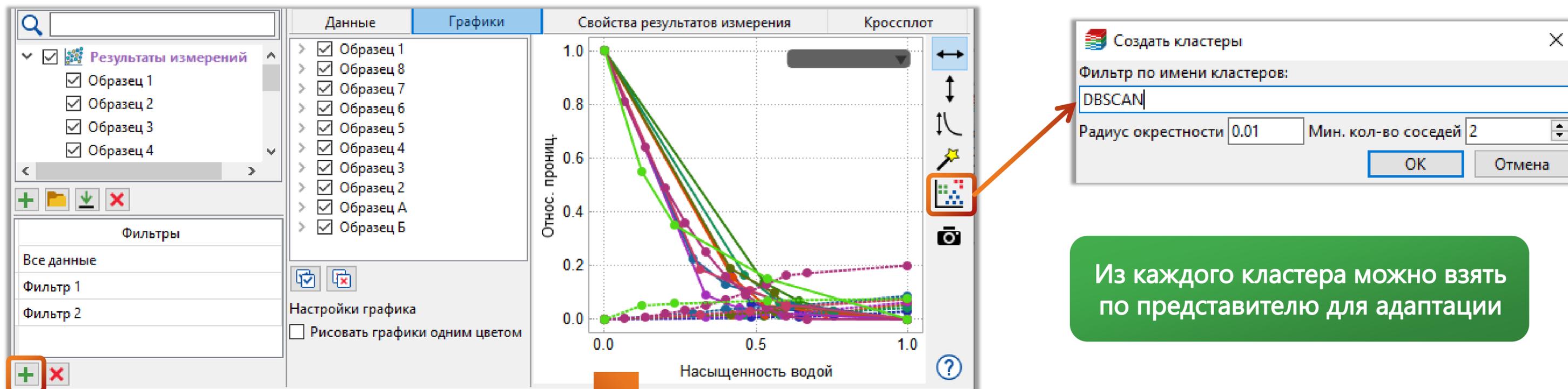
Авто мин.-макс.  
Мин. значение: 0  
Макс. значение: 76,2

Обрезать данные по мин.-макс  
 Выставить мин.-макс по данным

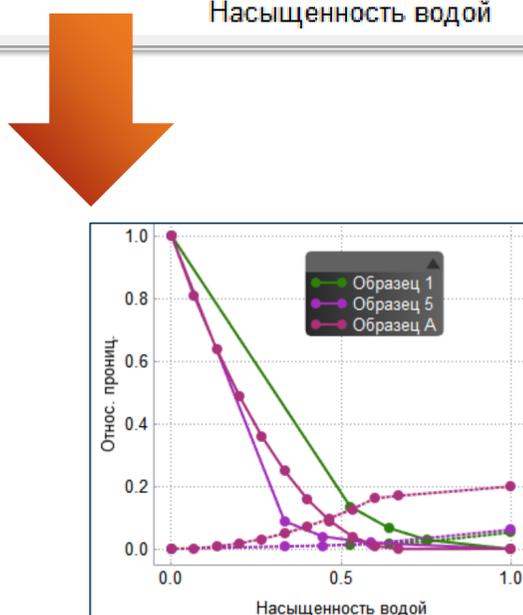
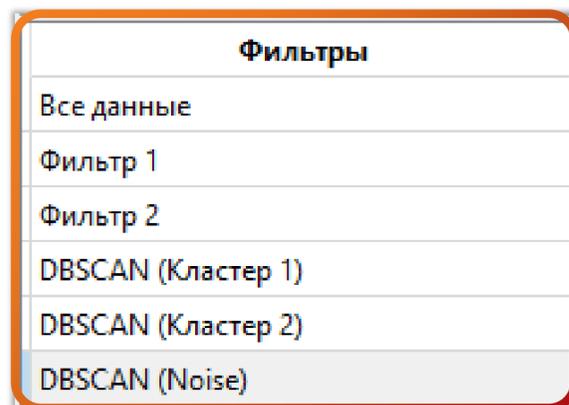
Логарифмическая шкала  
 Удалить отступы  
 Обратить оси

# Фильтр данных. Кластеризация DBSCAN

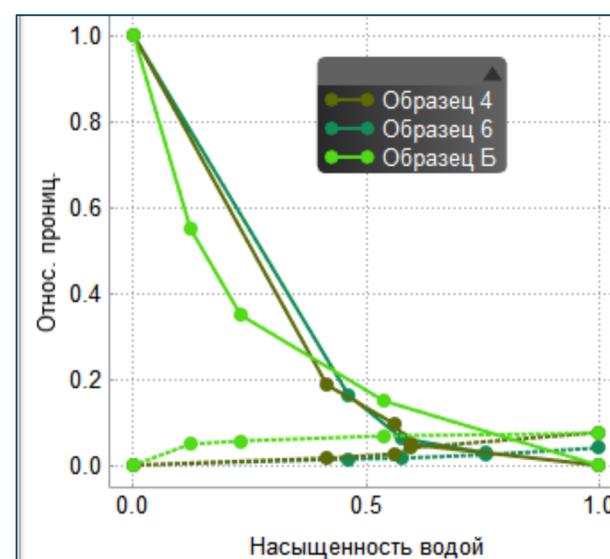
- Кластеризация с использованием алгоритма DBSCAN основана на плотности данных с использованием выбросов «шума»
- Результаты измерений разбиваются на сравнительно однородные кластеры, близкие по значениям переменных



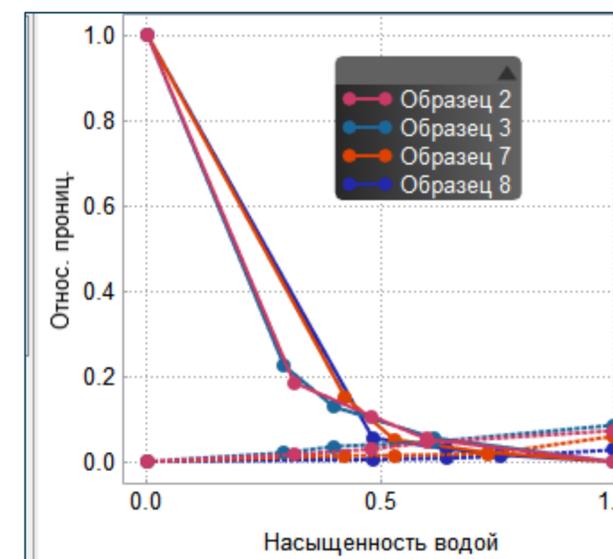
Создать  
пользовательский  
фильтр данных



Шум (noise)



Кластер 1



Кластер 2

# Содержание

## Нормализация, аппроксимация и адаптация данных ОФП и капиллярных давлений

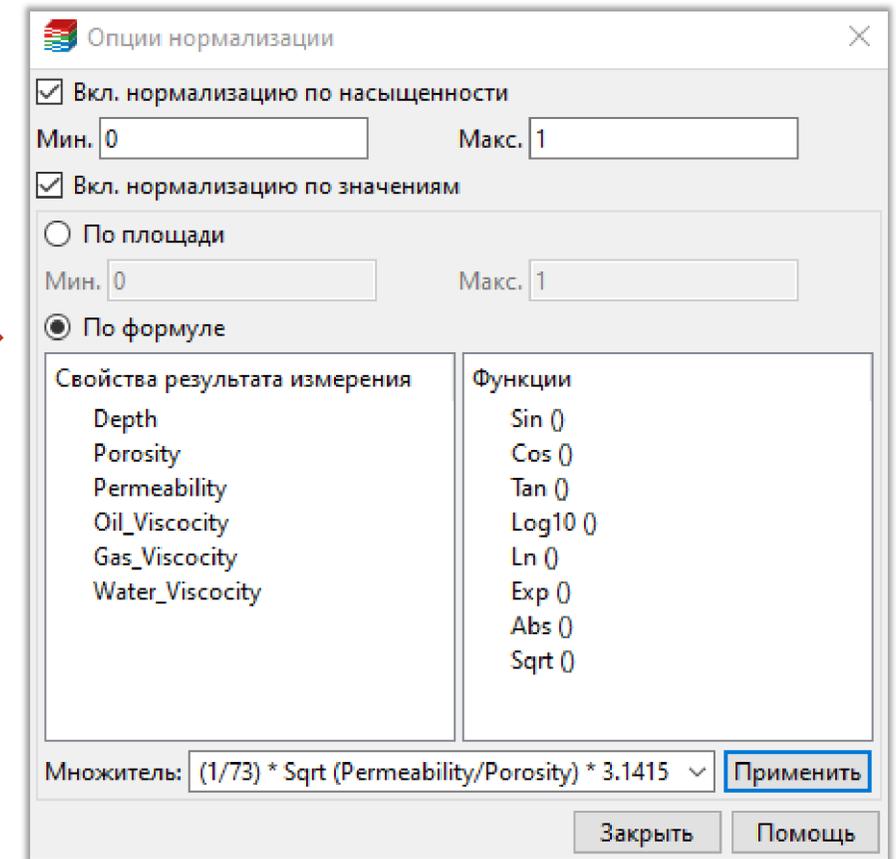
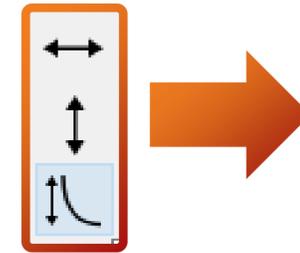
- Нормализация данных ОФП и капиллярных давлений
- Добавление корреляции для ОФП и капиллярных давлений
- Адаптация ОФП и кап. давлений к данным исследований
- Создание объединенного варианта ОФП и кап. давлений
- Пример расчета коэффициентов  $a$  и  $b$  для зависимости  $S_{wp}$  от  $J$ -функции



# Нормализация данных ОФП и кап. давлений

Замеры могут быть нормализованы следующим образом:

1. По насыщенности (кривые масштабируются в диапазоне от заданного минимума до заданного максимума);
2. По значению:
  - по площади (в диапазоне от заданного минимума до заданного максимума);
  - по формуле (пересчет значений по заданной пользователем формуле).



Опции нормализации

Вкл. нормализацию по насыщенности  
Мин. 0 Макс. 1

Вкл. нормализацию по значениям

По площади  
Мин. 0 Макс. 1

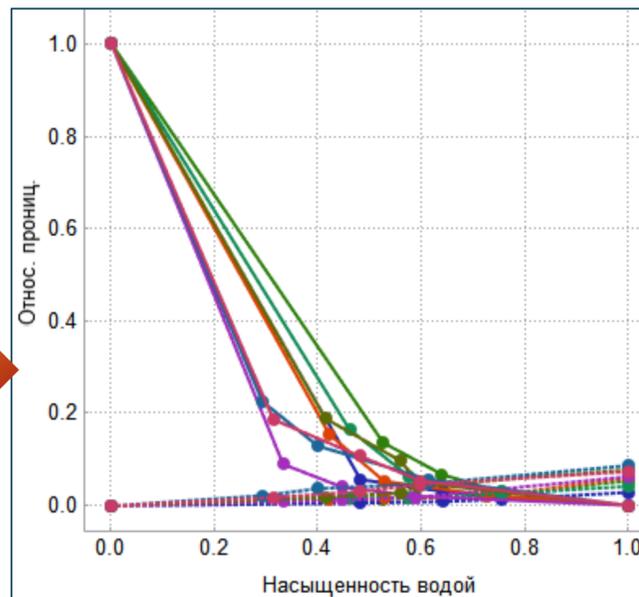
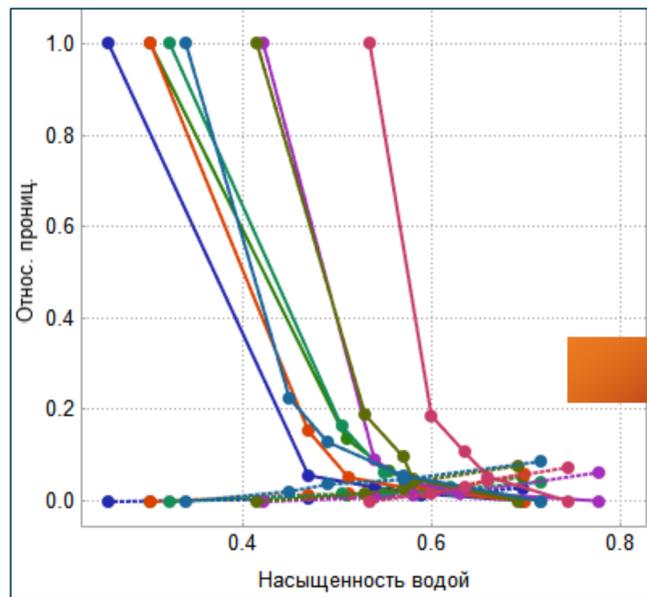
По формуле

Свойства результата измерения	Функции
Depth	Sin ()
Porosity	Cos ()
Permeability	Tan ()
Oil_Viscosity	Log10 ()
Gas_Viscosity	Ln ()
Water_Viscosity	Exp ()
	Abs ()
	Sqrt ()

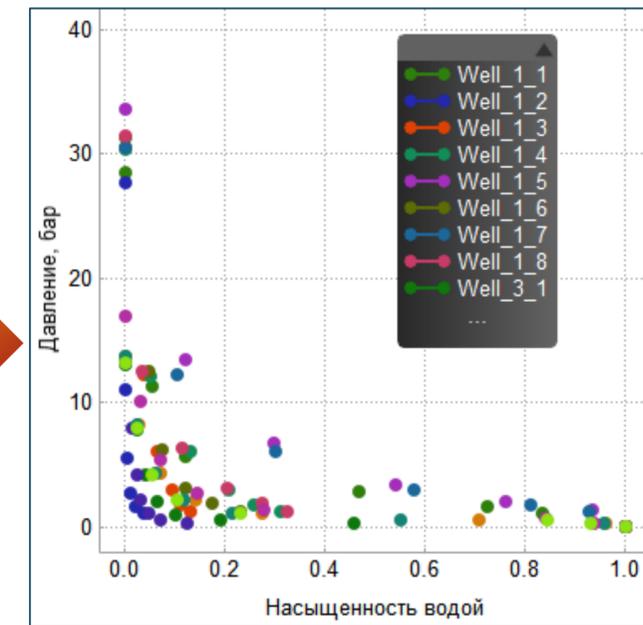
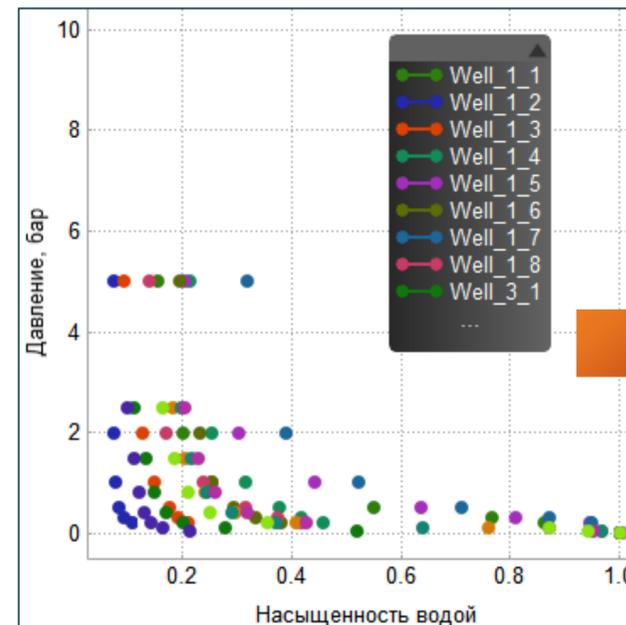
Множитель:  $(1/73) * \text{Sqrt}(\text{Permeability}/\text{Porosity}) * 3.1415$  Применить

Закреть Помощь

Нормализация ОФП



Нормализация кап. давл.



# Добавление корреляции для ОФП

- Для исследований относительных фазовых проницаемостей доступны корреляции **Corey** и **LET**

Задание системы флюидов

Конфигурация новой таблицы

Опции

Имя	Корреляция 1
Система	Вода-нефть
Тип модели	Вода-нефть
Тип ключ. слов	Газ-Нефть Вода-газ

OK Отмена

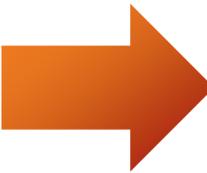
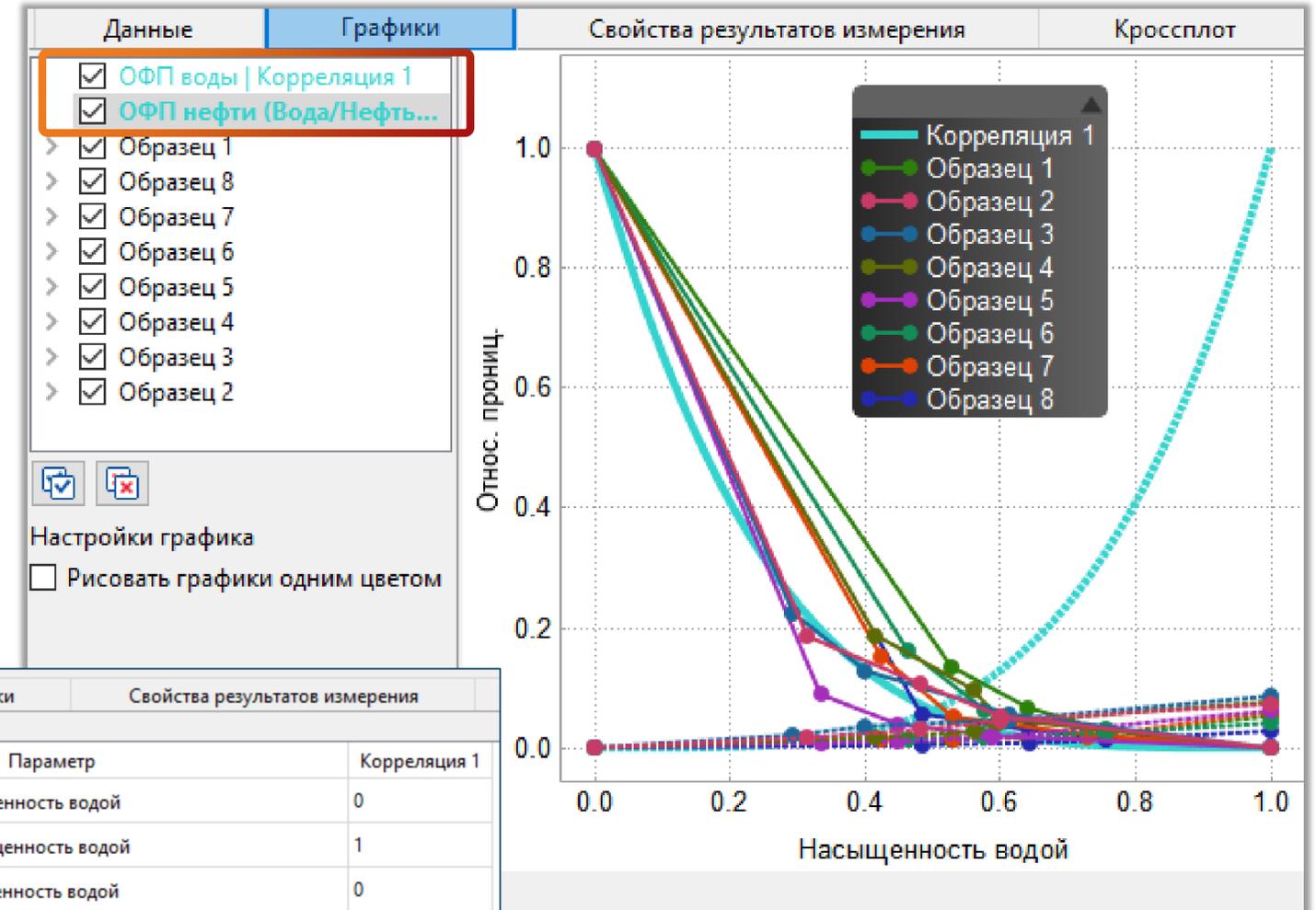
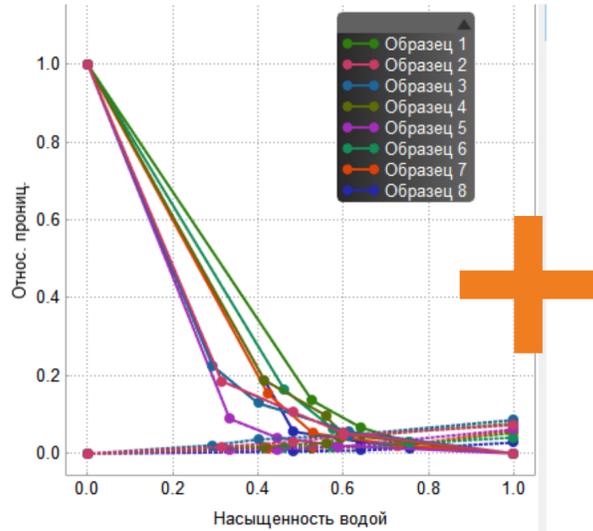
Выбор корреляции

Конфигурация новой таблицы

Опции

Имя	Корреляция 1
Система	Вода-нефть
Тип модели	Корреляции
Тип ключ. слов	Corey LET

OK Отмена



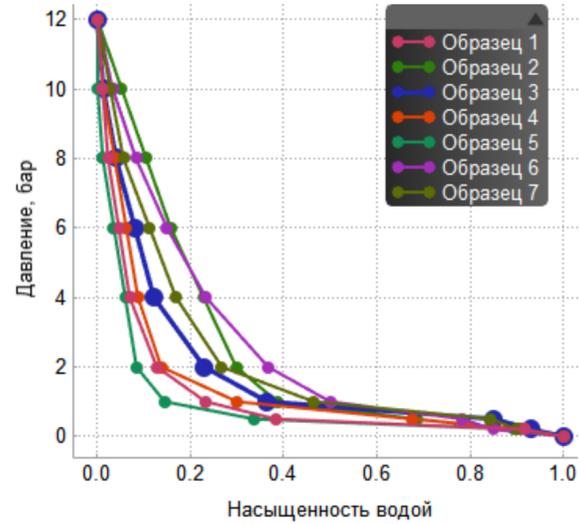
Корреляция 1 данные:

	Параметр	Корреляция 1
1	$S_{WL}$ , минимальная насыщенность водой	0
2	$S_{WU}$ , максимальная насыщенность водой	1
3	$S_{WCR}$ , критическая насыщенность водой	0
4	$S_{OWCR}$ , остаточная насыщенность нефтью в системе вода-нефть	0
5	$k_{rOW} = k_{rOW}(S_{WL})$ , должно быть равно $k_{rOG}(S_{GL})$	1
6	$k_{rORW} = k_{rOW}(S_{WCR})$ , должно быть меньше или равно $k_{rOW}$	1
7	$k_{rWR} = k_{rW}(1 - S_{OWCR} - S_{GL})$	1
8	$k_{rWU} = k_{rW}(S_{WU})$ , должно быть больше или равно $k_{rWR}$	1
9	$p_{cOW} = p_{cOW}(S_{WCR})$ , капиллярное давление в системе нефть-вода	0
10	$n_{OW}$ , степень при $k_{rOW}$	4
11	$n_W$ , степень при $k_{rW}$	4
12	$n_{pc}$ , степень при $p_{cOW}$	0
13	$S_{pcO}$ , точка, где капиллярное давление становится нулём	-1

Доступно ручное редактирование значений параметров корреляции

# Добавление корреляции для кап. давлений

- Для исследований капиллярного давления доступны следующие корреляции:



## Задание системы флюидов

Конфигурация новой таблицы

Опции

Имя	Correlation 1
Система	Вода-нефть
Тип модели	Вода-нефть
Тип ключ. слов	Газ-Нефть

OK Отмена

## Выбор корреляции

Конфигурация новой таблицы

Опции

Имя	Correlation 1
Система	Вода-нефть
Тип модели	Корреляции
Тип ключ. слов	Corey/LET

- Corey/LET
- Thomeer модель
- Brooks и Corey
- Bentsen и Anli
- Степенной закон
- Skjaeveland
- Skjaeveland-Masalmeh дренирование
- Skjaeveland-Masalmeh пропитка
- Masalmeh дренирование
- Masalmeh пропитка

OK Отмена

Корреляция 1 свойства:

Адаптировано к результатам измерений	нет
Тип корреляции	Corey/LET
Формула	$p(S_P) = p_{cOP} \cdot \left( \frac{S_{pcO} - S_P}{S_{pcO} - S_{PCR}} \right)^{n_{pc}}, P \in \{W, G\}$

Данные | Графики | Свойства результатов измерения | Кроссло

Кап. давление/J-функция | ...

- Образец 2
- Образец 3
- Образец 4
- Образец 5
- Образец 6
- Образец 7
- Образец 1

Настройки графика

Рисовать графики одним цветом

Для кап. давлений также доступно ручное редактирование значения параметров корреляции

- Corey / LET
- Thomeer
- Brooks и Corey
- Bentsen и Anli
- Skjaeveland
- Skjaeveland-Masalmeh дренирование
- Skjaeveland-Masalmeh пропитка
- Masalmeh дренирование
- Masalmeh пропитка

# Адаптация ОФП и кап. давлений к данным исследований

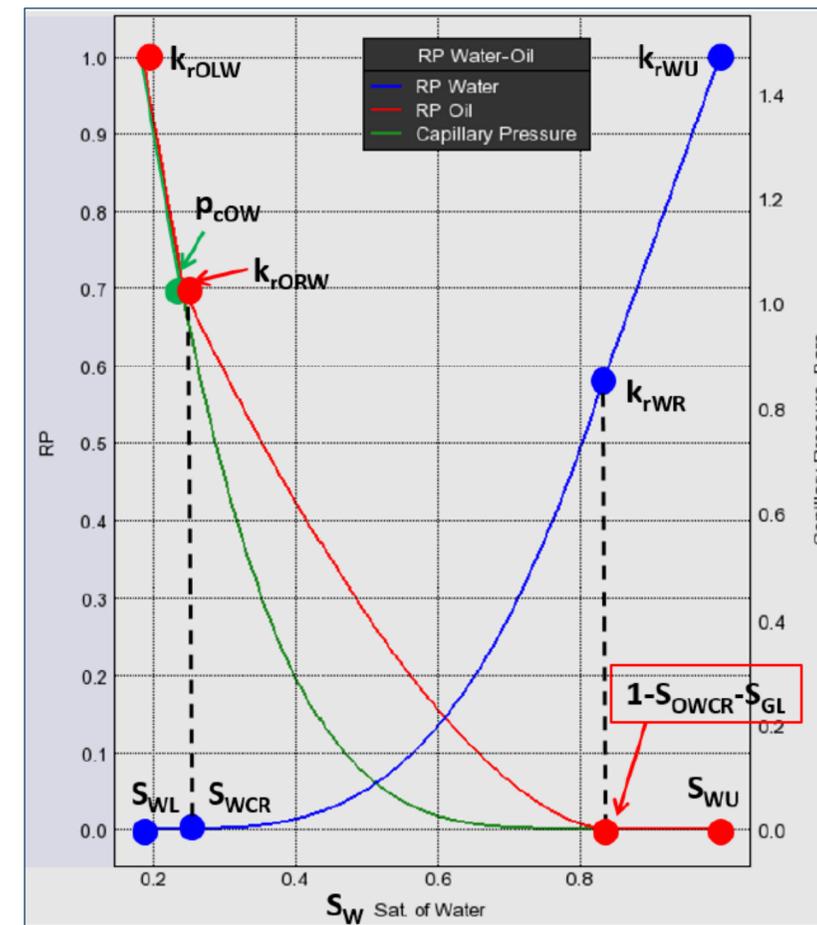
- Адаптация в Дизайнере ОФП – это процесс изменения исходных параметров выбранной корреляции таким образом, чтобы она лучше воспроизводила результаты измерений ОФП или капиллярных давлений

**Доступные алгоритмы адаптации:**

- Метод роя частиц
- Симплекс-метод
- Дифференциальная эволюция

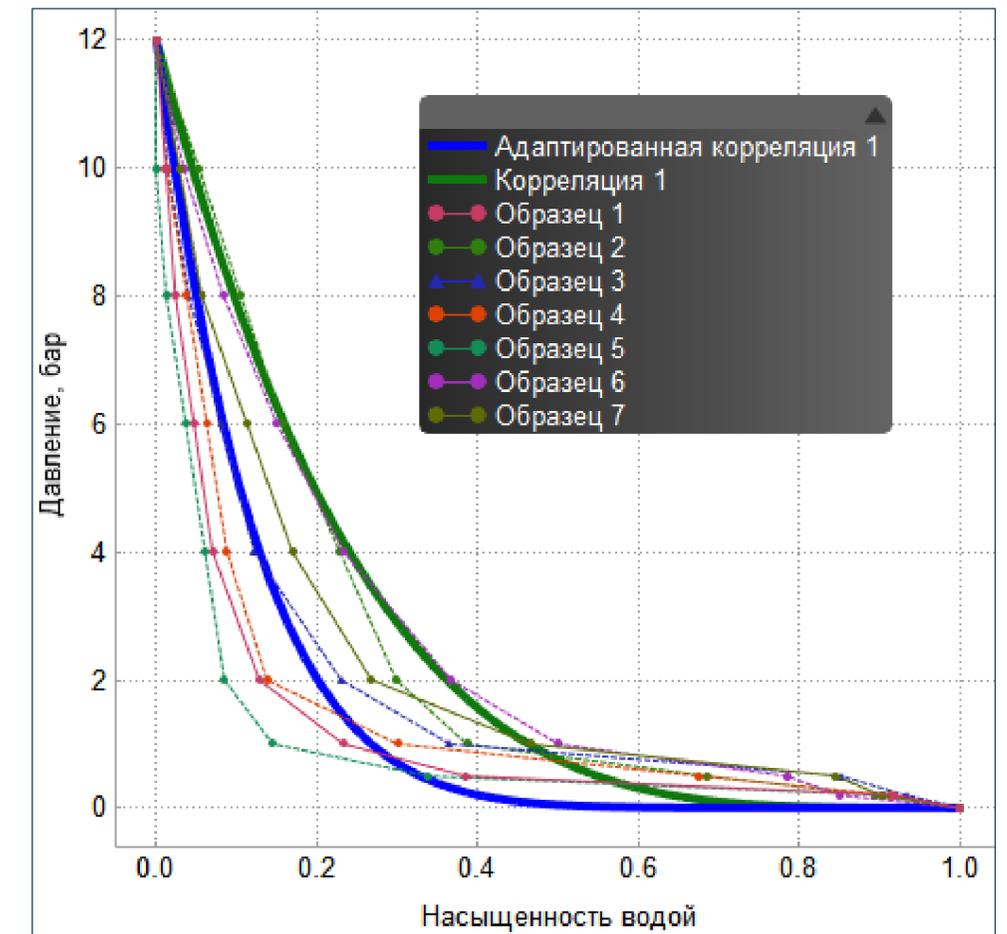
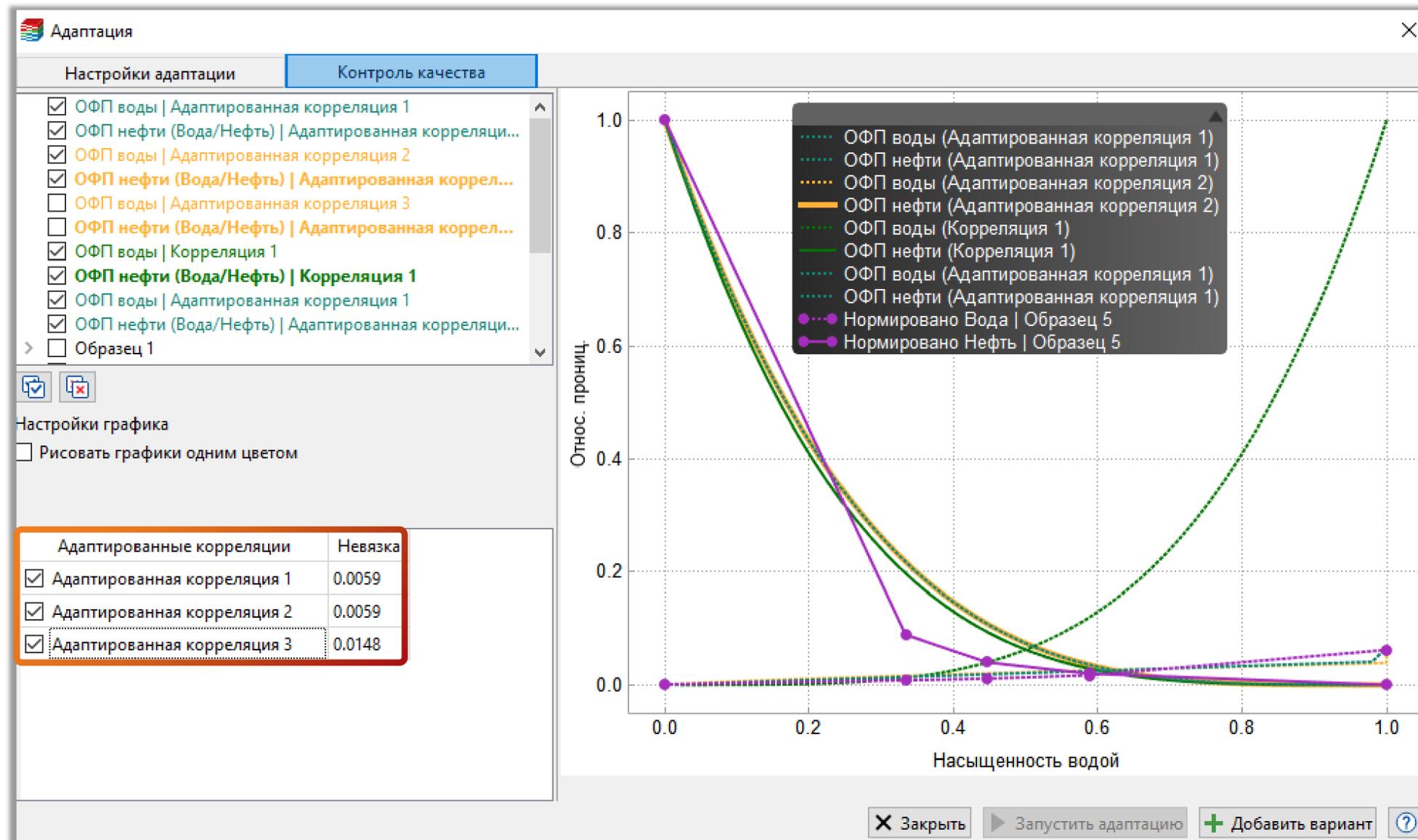
Параметр	Мин. значение	Начальное значение	Макс. значение
<input type="checkbox"/> $S_{WL}$	0	0	0,2
<input type="checkbox"/> $S_{WU}$	0	1	1
<input type="checkbox"/> $S_{WCR}$	0	0	0,2
<input type="checkbox"/> $S_{OWCR}$	0	0	0,2
<input type="checkbox"/> $K_{rOLW}$	0	1	1
<input type="checkbox"/> $K_{rORW}$	0	1	1
<input checked="" type="checkbox"/> $K_{rWR}$	0	1	1
<input checked="" type="checkbox"/> $K_{rWU}$	0	1	1
<input checked="" type="checkbox"/> $N_{OW}$	1	4	16
<input checked="" type="checkbox"/> $N_W$	1	4	16

Переменными адаптации являются значения конечных точек и соответствующих им насыщенностей, значения капиллярного давления и параметры «выпуклости-вогнутости» кривых



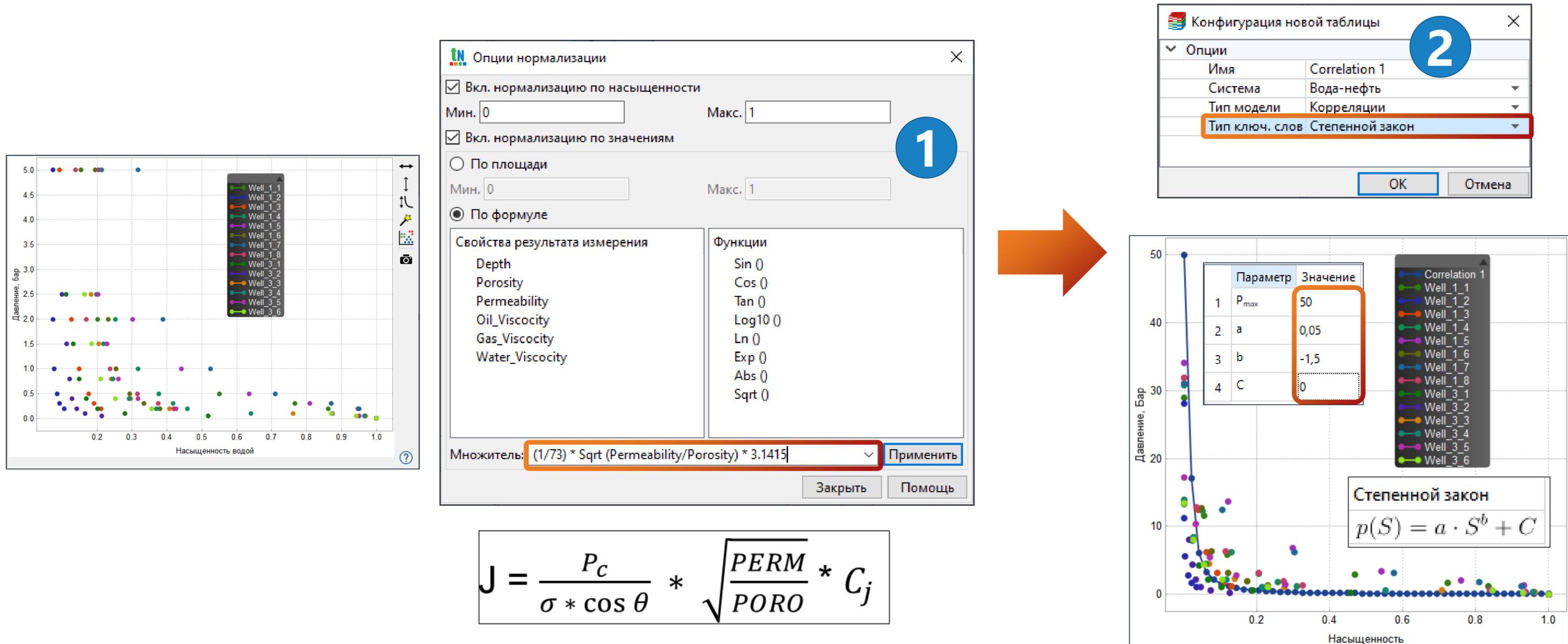
# Оценка качества адаптации ОФП и кап. давлений

- На вкладке **Контроль качества** можно проанализировать адаптированные корреляции (с учетом невязки), определить подходящую корреляцию и добавить этот вариант в проект



# Поиск значений коэффициентов a и b для Swп (J) 1

- Пример нормализация замеров результатов капилляриметрии и построения степенного тренда, для поиска значений коэффициентов a и b J-функции (функции Леверетта) в Дизайнере ОФП (см. продолжение на следующем слайде)



# Поиск значений коэффициентов a и b для $S_{wn}$ (J) 2

- Проведение адаптации для поиска значений коэффициентов a и b в Дизайнере ОФП

$$J = a * S_{wn}^b$$

Адаптация

Настройки адаптации | Контроль качества

Основные настройки

Стохастический алгоритм: Дифференциальная эволюция

Макс. число итераций: 10000

Остановка при медленной сходимости

Число итераций: 1000

Необходимое улучшение (%): 2

Результаты измерений для адаптации

- Well\_1\_1
- Well\_1\_2
- Well\_1\_3
- Well\_1\_4
- Well\_1\_5
- Well\_1\_6
- Well\_1\_7
- Well\_1\_8
- Well\_3\_1
- Well\_3\_2
- Well\_3\_3

Фильтр: Добавить всё

Выбрать всё | Убрать всё

Корреляции

Correlation 1

Переменные адаптации

Параметр	Мин. значение	Начальное зна...	Макс. значение
<input type="checkbox"/> P_max	3,2	50	50
<input checked="" type="checkbox"/> a	0	0,05	1
<input checked="" type="checkbox"/> b	-5	-1,5	-0,1
<input type="checkbox"/> c	0	0	4,8

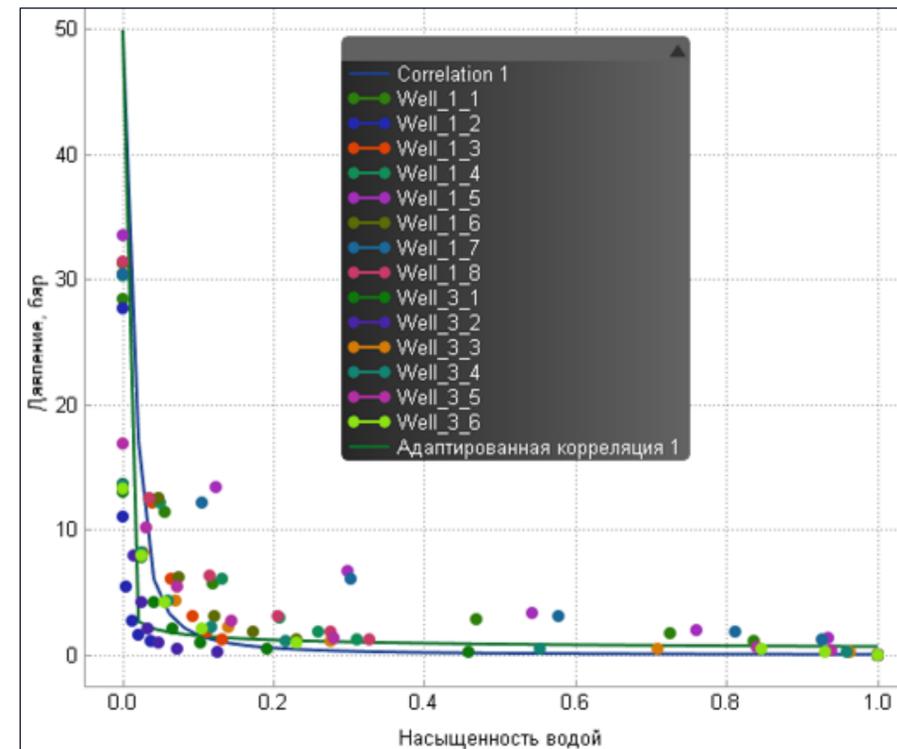
Выбрать всё | Снять выделение всех

Закрыть | **Запустить адаптацию** | Добавить вариант

4

Адаптированная корреляция 1 данные:

	Параметр	Значение
1	P_max	50
2	a	0,687657
3	b	-0,35031
4	c	0



# Содержание

---

- **Варианты ОФП и кап. Давлений**
- **Создание объединенного варианта ОФП и кап. Давлений**
- **Возможности графиков для вариантов**
- **Конвертация вариантов**

## Варианты ОФП и капиллярных давлений

# Варианты ОФП и кап. давлений

● Раздел Варианты позволяет:

1. Загружать и редактировать имеющиеся наборы ОФП и кап. Давлений
2. Создавать новые варианты на основе предвыбранных настроек корреляций
3. Объединять данные результатов исследований и адаптации ОФП и кап. давлений (см. далее)

1

Импорт/Экспорт

Создание предвыбранного варианта

Создание объединенного варианта

Конфигурация предвыбранного варианта

Опции

- Имя варианта: Предвыбранный вариант 2
- Тип модели: Нефть/Газ/Вода
- Тип ключ. слов: Функции насыщенности (Семейство 1)
- Предустановленный тип: По умолчанию
- Исп. таблицу для капиллярн. давления:
- Исп. модель Бейкера для воды:
- Исп. модель Бейкера для газа:
- Добавить смешиваемость:
- Исп. насыщенности жидкостью:

Исп. j-функцию вместо кап. давления:  Исп. j-функцию вместо кап. давл.:

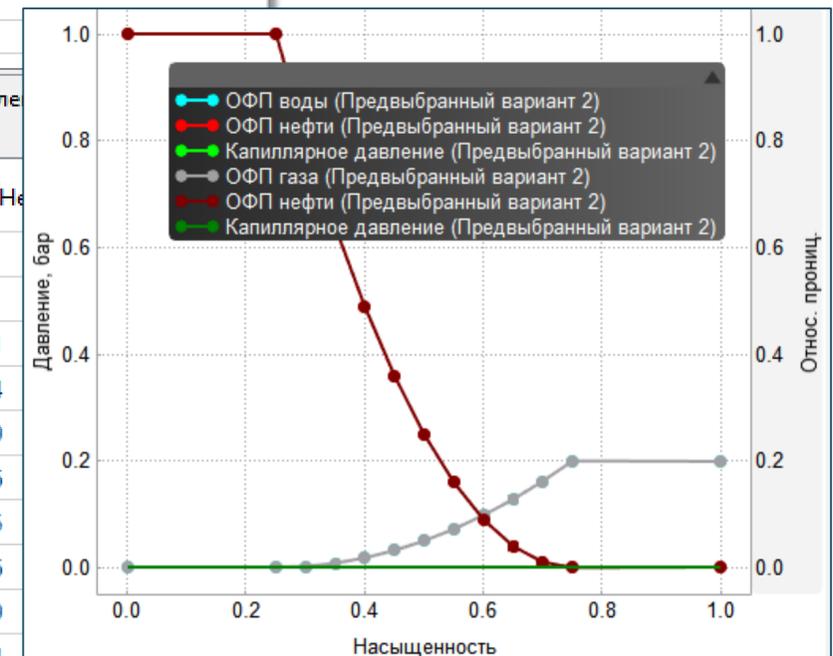
Вода/Нефть vs Насыщ. водой (SWOF)      Газ/Нефть vs Насыщ. газом (SGOF)

	Вода/Нефть vs Насыщ. водой (SWOF)			Газ/Нефть vs Насыщ. газом (SGOF)		
	Насыщенность водой	RP Вода	RP Нефть	Насыщенность газом	RP Газ	RP Нефть
1	0	0	1	0	0	1
2	0,25	0	1	0,25	0	1
3	0,3	0,002	0,81	0,3	0,002	0,81
4	0,35	0,008	0,64	0,35	0,008	0,64
5	0,4	0,018	0,49	0,4	0,018	0,49
6	0,45	0,032	0,36	0,45	0,032	0,36
7	0,5	0,05	0,25	0,5	0,05	0,25
8	0,55	0,072	0,16	0,55	0,072	0,16
9	0,6	0,098	0,09	0,6	0,098	0,09
10	0,65	0,128	0,04	0,65	0,128	0,04
11	0,7	0,162	0,01	0,7	0,162	0,01
12	0,75	0,2	0	0,75	0,2	0
13	1	0,2	0	1	0,2	0

Доступно ручное редактирование значений при создании вариантов

OK      Отмена

2



# Создание объединенного варианта ОФП и кап. давлений

- Эксперименты по определению ОФП и кап. давлений проводятся по отдельности. Для дальнейшего их использования в гидродинамическом моделировании (например, для импорта в Дизайнер Моделей) необходимо создание **объединенного варианта ОФП и  $P_c$**

Настройка объединенного варианта

Опции

Имя варианта	Объединенный вариант 3
Тип модели	Нефть/Вода
Тип ключ. слов	Функции насыщенности (Семейство 1)
Исп. концевые точки из	ОФП
Исп. капиллярные давления	как таблица

Опции варианта пользователя

Относ. фазовые проницаемости

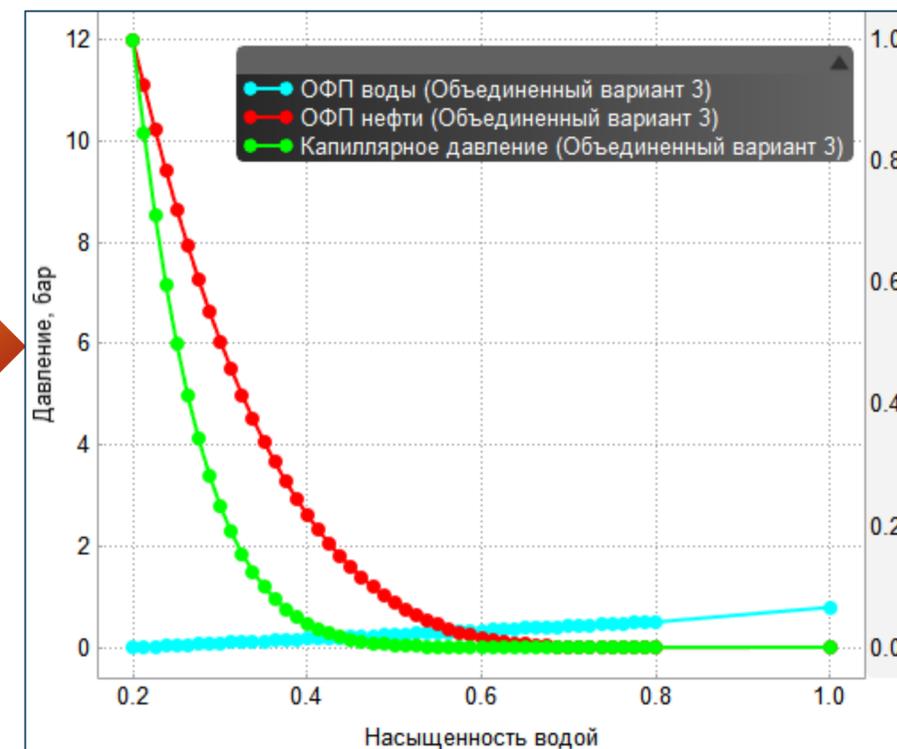
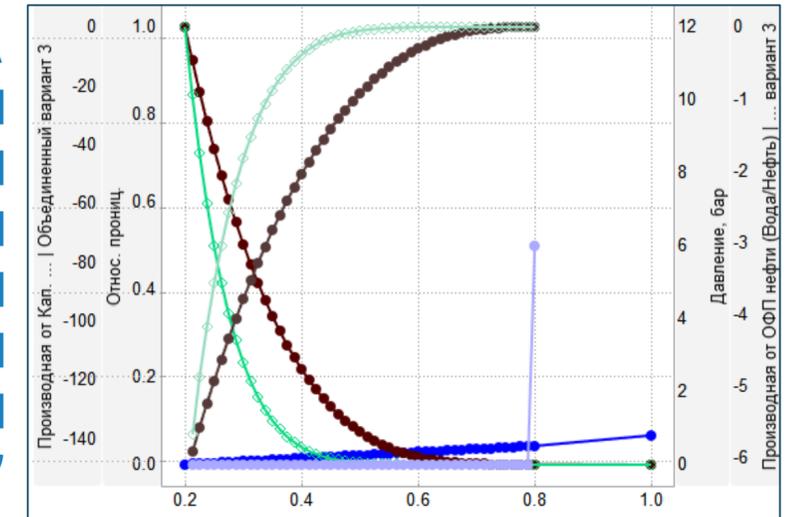
Концевая точка	Значение
Вода	
SWL	0,2
SWCR	0,2
SWGCR	0
SWU	1
KRWR	0,041803
KRW	0,0660761
Нефть	
SOWCR	0,2
SOGCR	0
KRORW	1
KRORG	0

Капиллярное давление

Концевая точка	Значение
Вода	
SWLPC	0
SWUPC	1
PCW	12

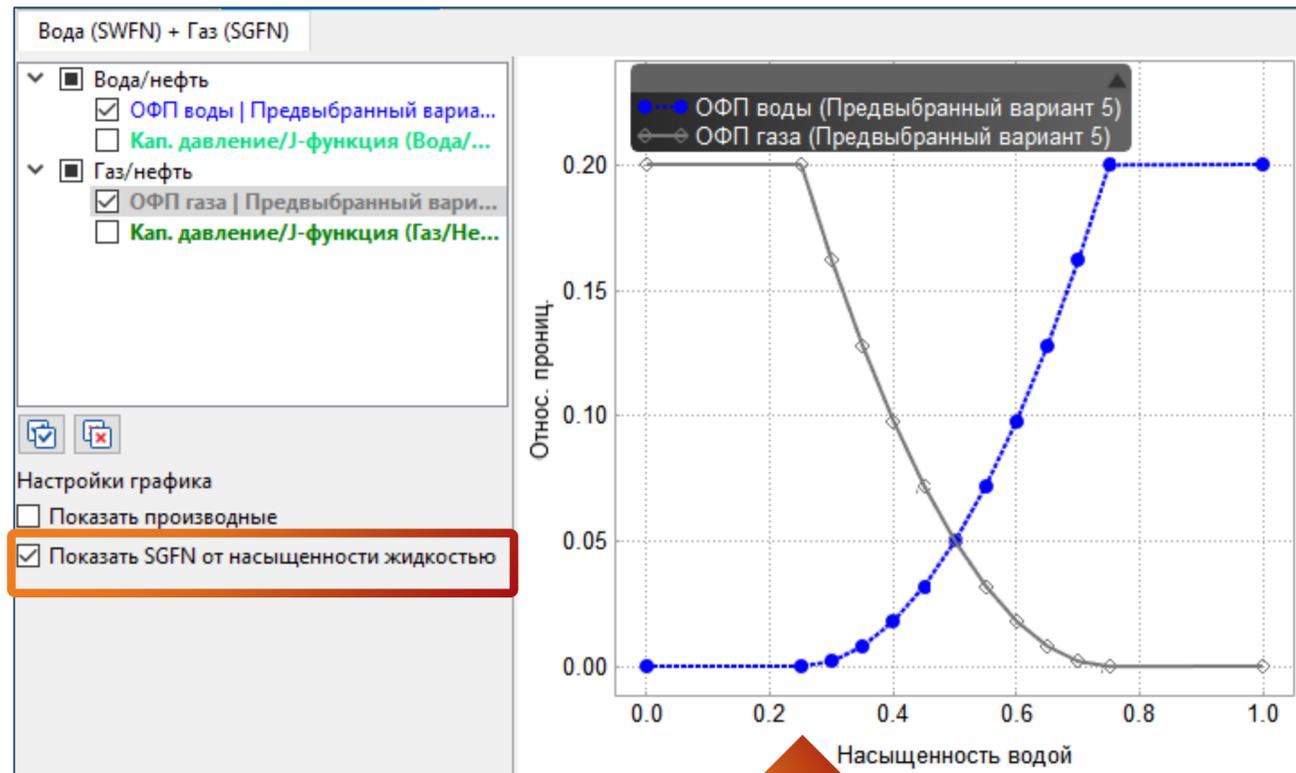
Возможно несколько сценариев объединения:

- ОФП и  $P_c$  в формате корреляции Corey/LET
- ОФП в формате Corey/LET,  $P_c$  в формате таблицы
- ОФП и  $P_c$  в формате таблицы
- ОФП без использования  $P_c$  ( $P_c$  будут взяты по умолчанию)
- С автоматическим расчетом значений концевых точек

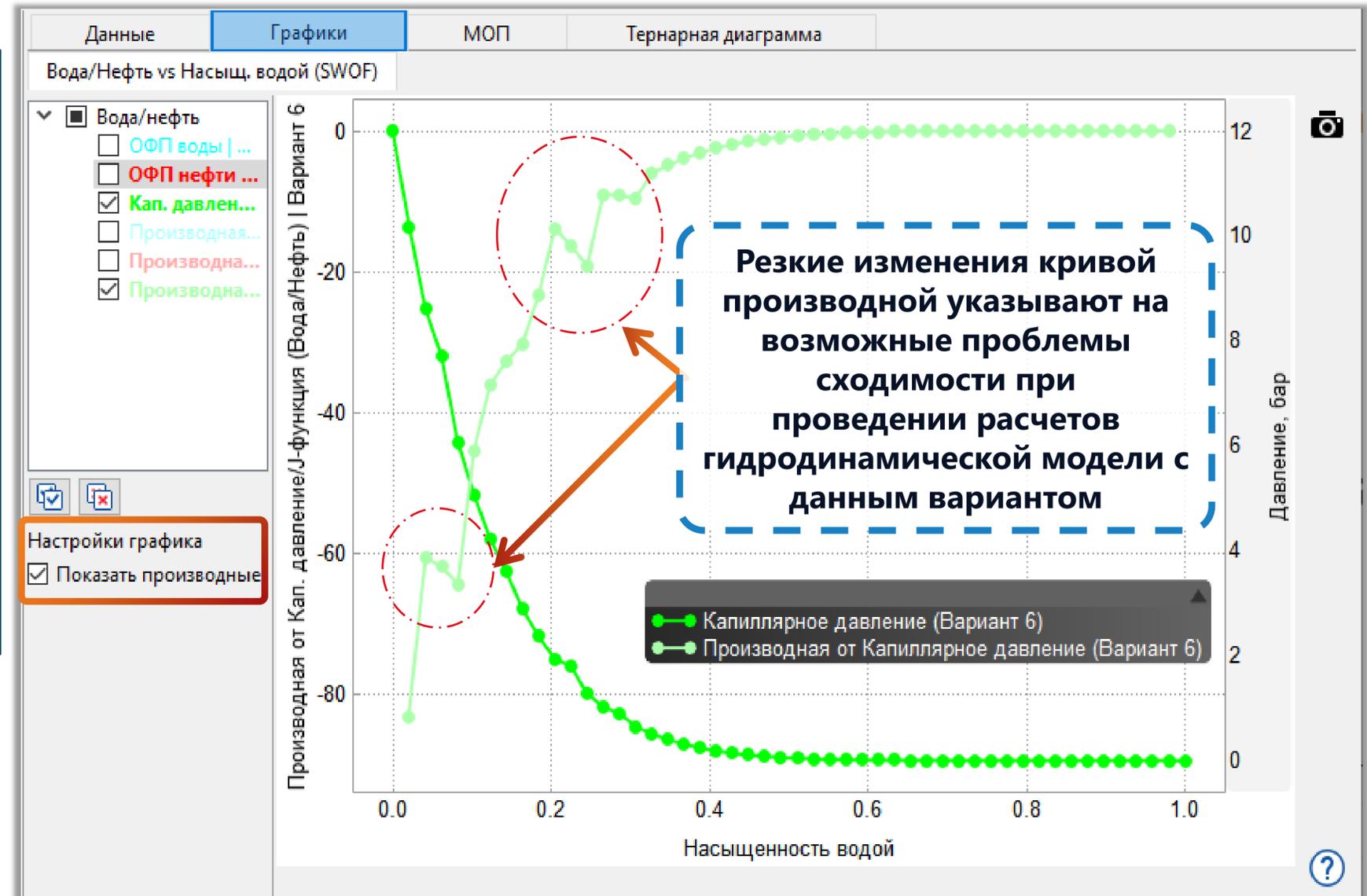
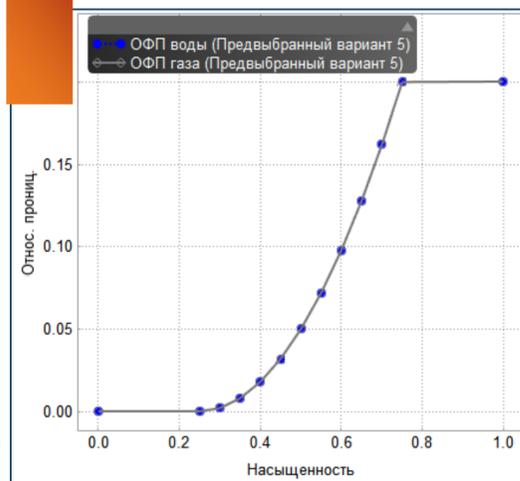


# Возможности графиков для вариантов

- Визуализация производных для графиков используется для проверки качества данных ОФП и капиллярного давления
- Для двухфазной системы Вода-Газ добавлена опция симметричного отражения графика ОФП газа, заданного с помощью Семейства 2 функций насыщенности



ОФП газа отображается относительно насыщенности воды



# Конвертация вариантов

- Доступна конвертация вариантов ОФП и капиллярного давления в корреляции и таблицы

Варианты

- Корреляция Corey
- Семейство 1

Конвертировать в таблицу семейства 1

Конвертировать в таблицу семейства 2

Конвертировать кап. давление в таблицу

Исп. j-функцию для...

Исп. кап. давление для...

Исп. капиллярное давление из другой таблицы...

Копировать...

Конвертировать в таблицу семейства 2

Конвертировать в Corey по умолчанию

Конвертировать в Corey...

Конвертировать в LET по умолчанию

Конвертировать в LET...

Копировать...

Добавить в фильтр...

Удалить из фильтра...

Варианты

- Корреляция Corey
- Семейство 1
- Конвертировано в таблицу семейства 2
  - Корреляция Corey - Сконвертированная
  - Семейство 1 - Сконвертированная

Фильтры

Все данные

Относ. фазовые проницаемости

Кап. давления

	Вода (SWFN)		Нефть (SOF2)			
	Насыщен...	RP Вода	Капиллярное ...	Насы...	RP Вода	Капиллярное дав..
1	0	0	6	0	0	6,376
2	0,0204082	1,73467e-07	5,6401	0,25	0	4,413
3	0,0408163	2,77546e-06	5,29489	0,3	0,002	2,746
4	0,0612245	1,40508e-05	4,96405	0,35	0,008	1,961
5	0,0816327	4,44074e-05	4,6473	0,4	0,018	1,471
6	0,102041	0,000108417	4,34431	0,45	0,032	1,128
7	0,122449	0,000224813	4,05479	0,5	0,05	0,834
8	0,142857	0,000416493	3,77843	0,55	0,072	0,672
9	0,163265	0,000710519	3,51491	0,6	0,098	0,51
10	0,183673	0,00113811	3,26395	0,65	0,128	0,412
11	0,204082	0,00173467	3,02522	0,7	0,162	0,314
12	0,22449	0,00253972	2,79843	0,75	0,2	0,265

# Содержание

---

- Масштабирование по двум точкам
- Масштабирование по трем точкам

## Масштабирование ОФП по двум и трем точкам

# Масштабирование по двум точкам

- МОП — масштабированные относительные фазовые проницаемости
- По умолчанию масштабирование проводится по двум конечным точкам (соответствует кл. сл. **ENDSCALE**)

Настройки

Масштабирование | Гистерезис | Интерполяция

Дренаживание | Пропитка | ПАВ | Низкая соленость

Точки фазовых проницаемостей

Концевая точка	Значение
Вода	
SWL	0,2
SWCR	0,27
SWGCR	0
SWU	0,97
KRWR	0,041803
KRW	0,38
Нефть	
SOWCR	0,2
SOGCR	
KRORW	1
KRORG	
KRO	0,92
Газ	

Точки капиллярного давления

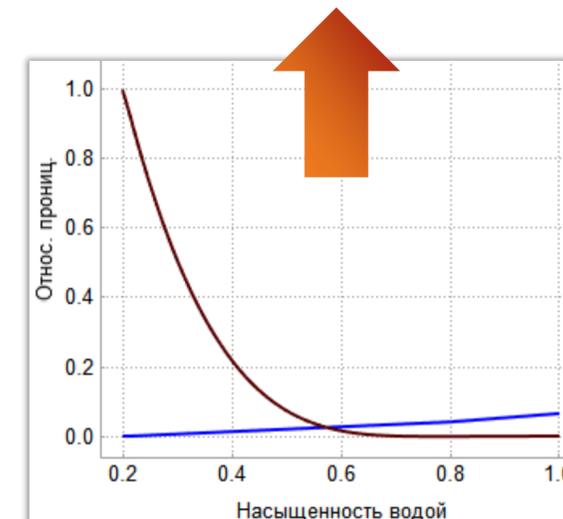
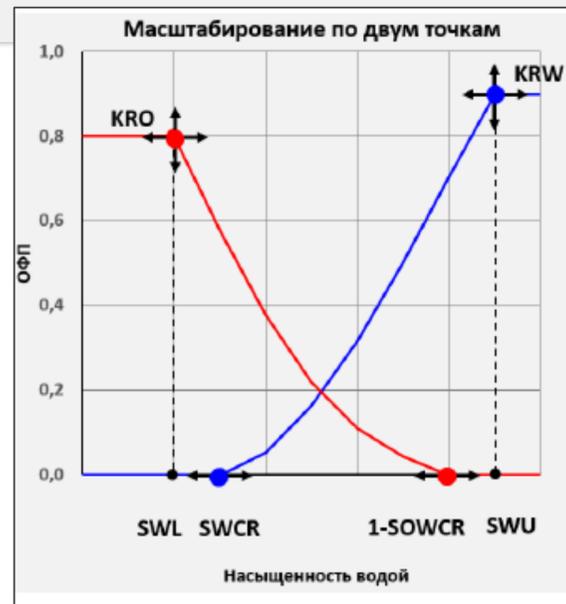
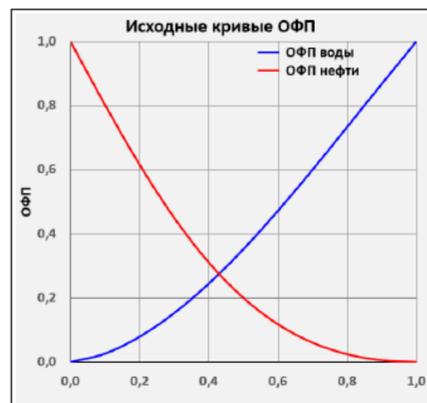
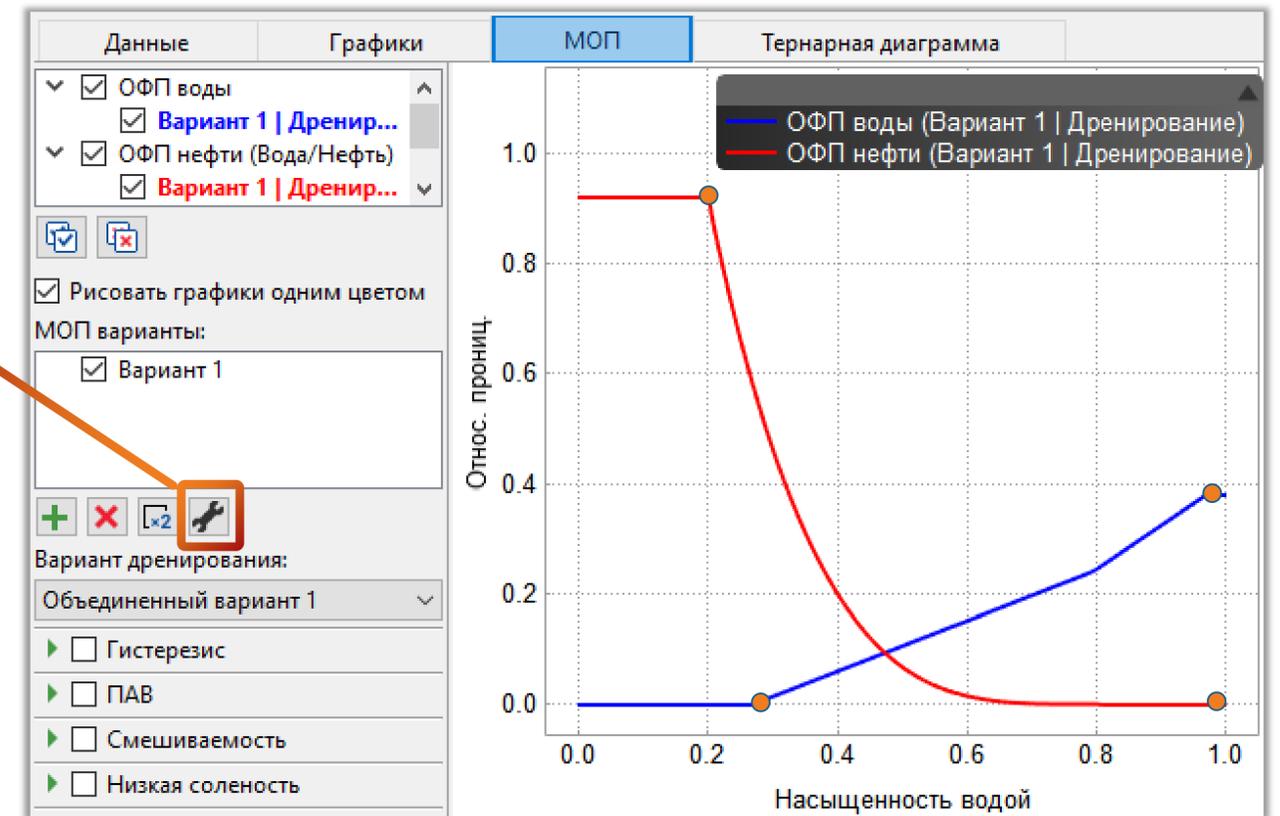
Концевая точка	Значение
Вода	
SWLPC	0,2
SWUPC	1
PCW	12
Газ	
SGUPC	
PCG	

Концевые точки сгруппированы по:

- виду (ОФП или кап. давление)
- фазам (нефть, газ, вода)
- типам кривых (дренирование, пропитка, ПАВ, низкая соленость)

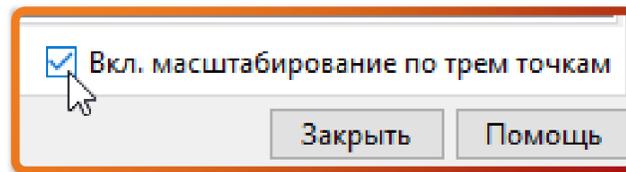
Восстановить настр. по умолч.  Вкл. масштабирование по трем точкам

Закреть | Помощь

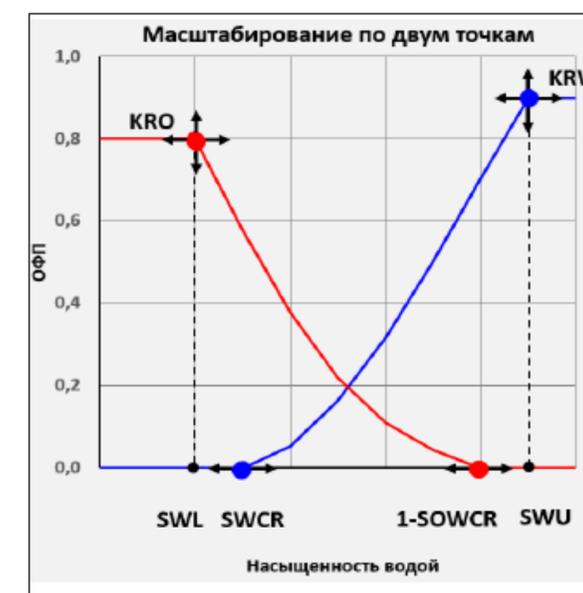
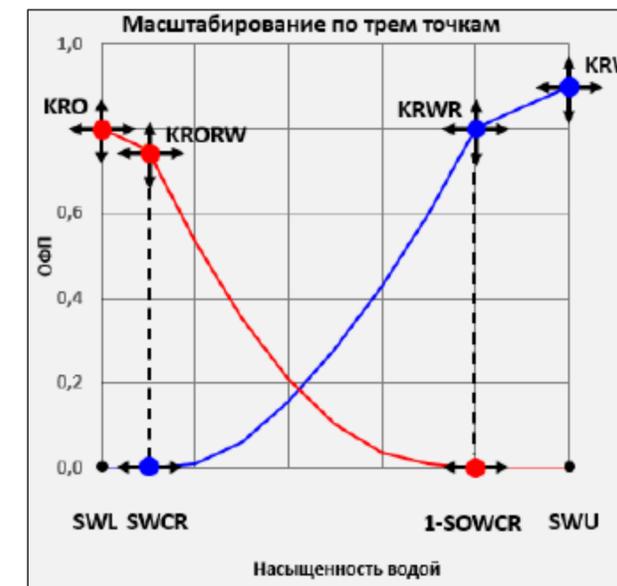
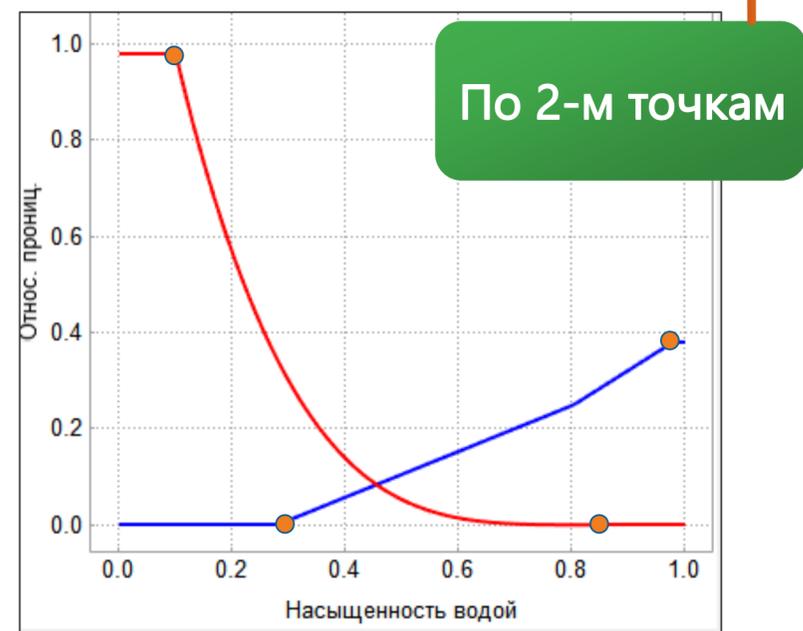
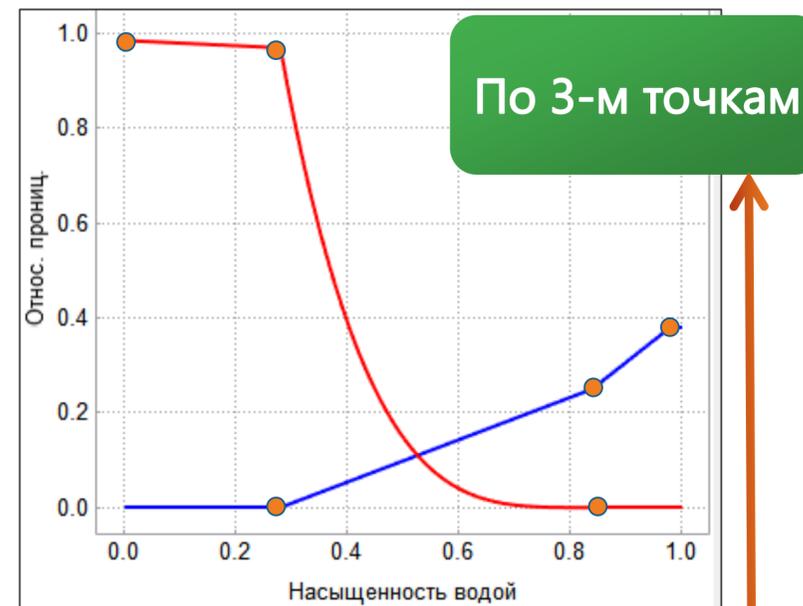


# Масштабирование по трем точкам

- Опция **Вкл. масштабирование по трем точкам** дает возможность выполнить масштабирование ОФП и капиллярного давления по трем точкам вместо двух (опция соответствует кл. сл. **SCALECRS**)
- Это означает, что при масштабировании дополнительно будут учитываться изменение концевых точек **KRWR** и **KRORW**



Точки фазовых проницаемостей	
Концевая точка	Значение
▼ Вода	
SWL	0,1
SWCR	0,28
SWGCR	0
SWU	0,98
KRWR	0,25
KRW	0,38
▼ Нефть	
SOWCR	0,16
SOGCR	
KRORW	0,97
KRO	0,98
> Газ	



# Гистерезис

## Содержание

- **Настройки обычного гистерезиса**
- **Типы настроек гистерезиса**
- **Модели гистерезиса ОФП**
- **Модели гистерезиса капиллярного давления**
- **Настройки универсального гистерезиса**
- **Дополнительные настройки гистерезиса**
- **WAG гистерезис**

## Типы настроек гистерезиса

### Обычный гистерезис

- Соответствует ключевому слову **EHYSTR** формата **E1 / E3**
- Базовые параметры
- Ограниченный выбор моделей гистерезиса

### Универсальный гистерезис

- Соответствует ключевым словам формата **тН**: **HYSTKRW / HYSTKROW / HYSTKRG / HYSTKROG, HYSTPCW / HYSTPCG**
- Расширенный список параметров
- Дополнительные модели гистерезиса
- Более гибкая настройка гистерезиса

### WAG гистерезис

- Соответствует ключевому слову **WAGHYSTR** формата **E1 / E3**
- Моделирования гистерезиса при попеременной закачке воды и газа

Настройки

Масштабирование Гистерезис Интерполяция

Обычный гистерезис (EHYSTR) Универсальный гистерезис

Включить Обычный гистерезис

Параметр кривизны для гистерезиса капилл. давления  
Модель гистерезиса  
Параметр кривизны для смачиваемой фазы Киллоу  
Параметр модификации  
Гистерезис ОП и (или) капилл. давления  
Вид кривой сканирования  
Коррекция начальной подвижности флюида  
Смачивающая фаза для трехфазных вариантов  
Выбор модели Бейкера для нефти  
Выбор модели Бейкера для газа

Настройки

Масштабирование Гистерезис Интерполяция

Обычный гистерезис (EHYSTR) Универсальный гистерезис (HYST) WAG г

Включить универсальный гистерезис

Вода-нефть Газ-Нефть

ОФП воды в системе вода-нефть (HYSTKRW)

Метод: Модифицированный Киллоу (KILLOUGH\_MOD)

Показатель степени корреляции для смачивающей фазы \*  
Параметр модификации \*

Капиллярное давление в системе вода-нефть (HYSTKRG)  
Метод: Ski-

Настройки

Масштабирование Гистерезис Интерполяция

Обычный гистерезис (EHYSTR) Универсальный гистерезис (HYST) WAG гистерезис (WAGHYSTR)

Включить WAG гистерезис

Индикатор модели газа

Параметр С (параметр Ланда) 0.5

Коэффициент снижения вторичного дренирования 0

Линейная часть кривой пропитки 0,3

Индикатор остаточной нефти

Доля модификации остаточной нефти 1

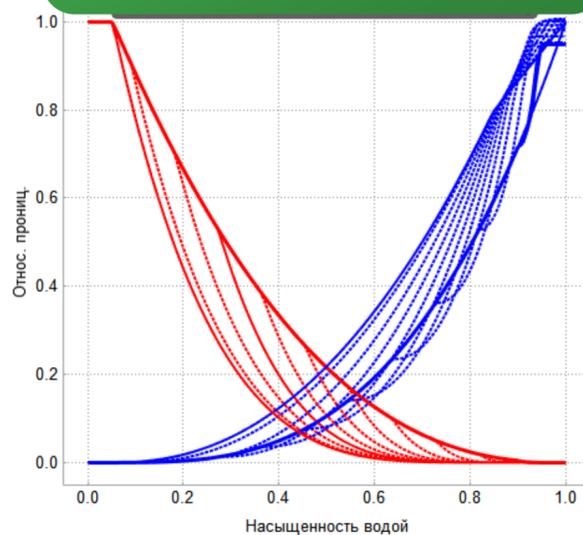
Индикатор модели воды

Гистерезис позволяет моделировать зависимость функций насыщенности от предыстории

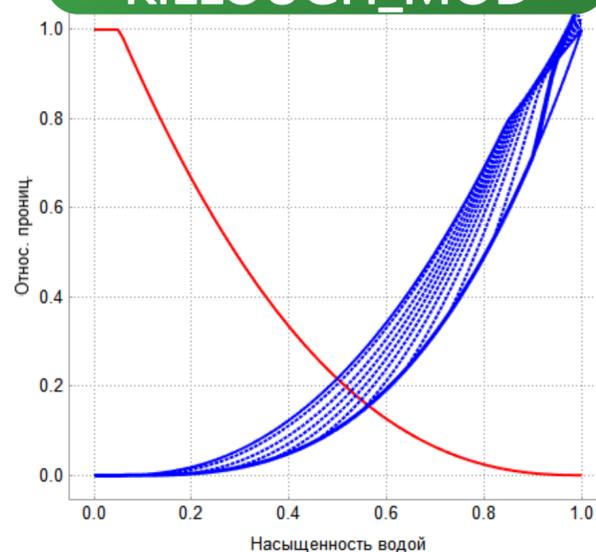
# Модели гистерезиса ОФП

## Модели гистерезиса ОФП

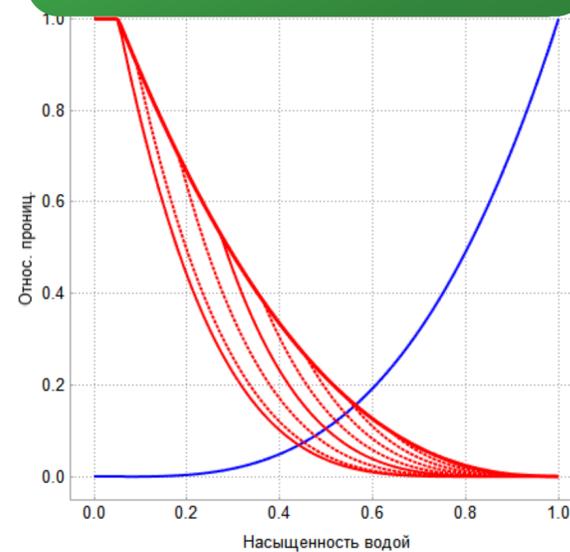
### Модель Киллоу KILLOUGH



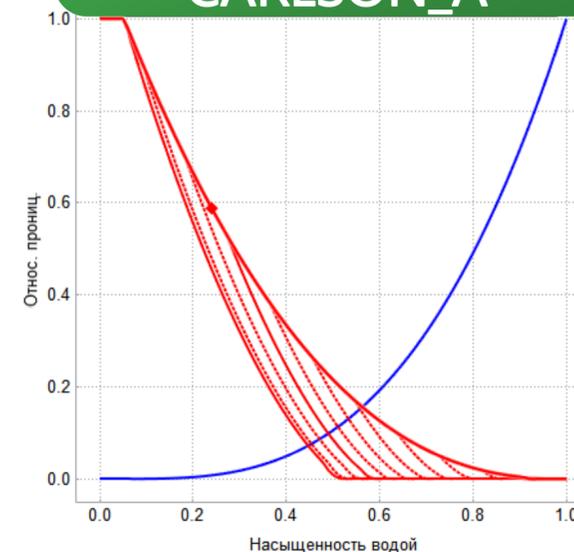
### Модифицированная модель Киллоу KILLOUGH\_MOD



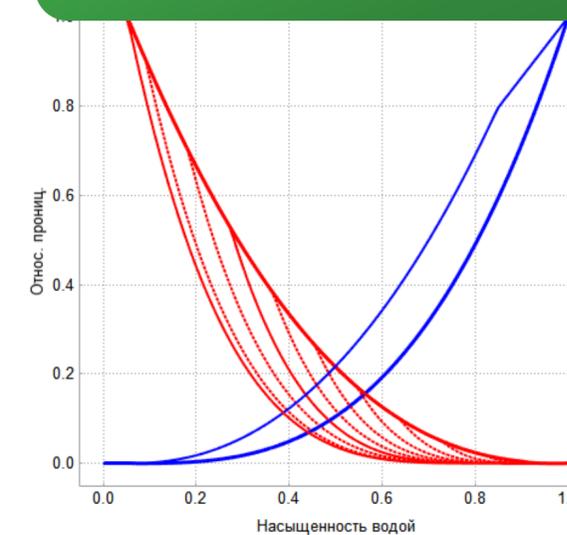
### Модель Карлсона CARLSON



### Аналитическая модель Карлсона CARLSON\_A



### Модель Джаргона JARGON



Для гистерезиса смачивающей фазы можно использовать только модель Киллоу

-1 - Только опция равновесия

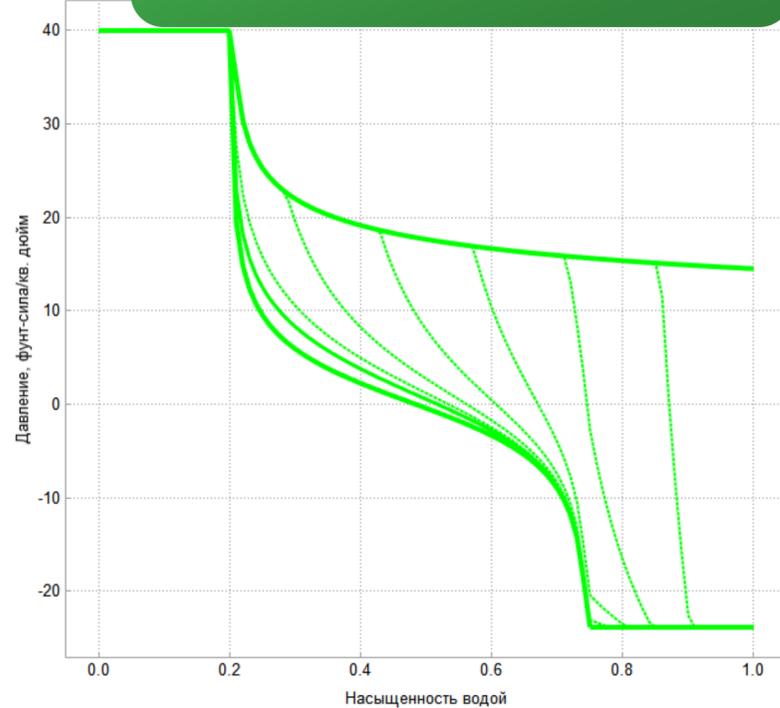
- 0 - Несмачивающая фаза (нефть и газ): Карлсона, смачивающая (вода): кривая дренирования
- 1 - Несмачивающая фаза (нефть и газ): Карлсона, смачивающая (вода): кривая пропитки
- 2 - Несмачивающая фаза (нефть и газ): Киллоу, смачивающая (вода): кривая дренирования
- 3 - Несмачивающая фаза (нефть и газ): Киллоу, смачивающая (вода): кривая пропитки
- 4 - Несмачивающая фаза (нефть и газ): Киллоу, смачивающая (вода): Киллоу
- 5 - Несмачивающая фаза (вода и газ): Карлсона, смачивающая (нефть): кривая дренирования
- 6 - Несмачивающая фаза (вода и газ): Киллоу, смачивающая (нефть): кривая дренирования
- 7 - Несмачивающая фаза (вода и газ): Киллоу, смачивающая (нефть): Киллоу
- 8 - Несмачивающая фаза (нефть и газ): Джаргона, смачивающая (вода): кривая дренирования

# Модели гистерезиса капиллярного давления

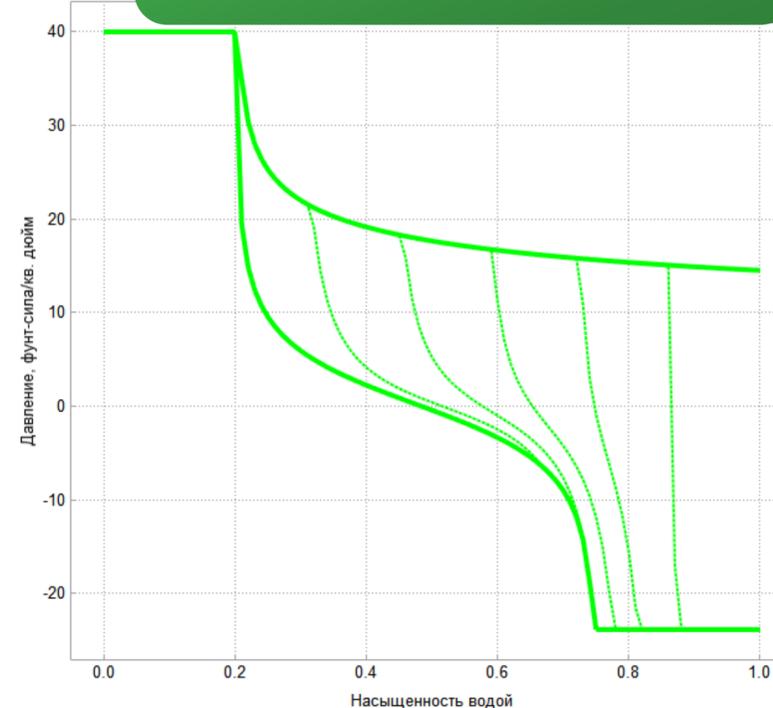
- Все модели гистерезиса различаются способом построения кривых сканирования и количеством параметров для настройки

Модели гистерезиса  
капиллярного давления

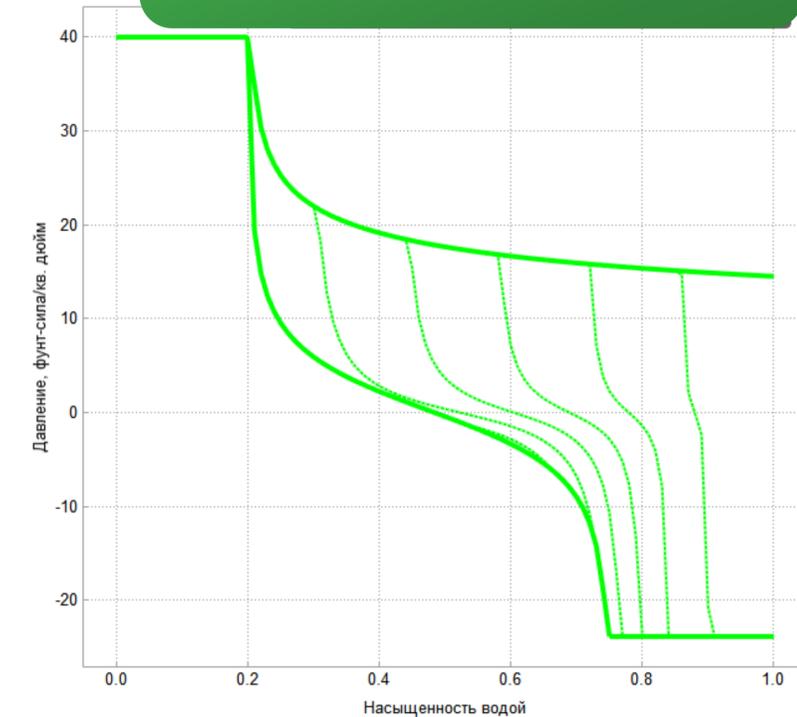
Модель Killough



Модель Skjaeveland-  
Masalmeh

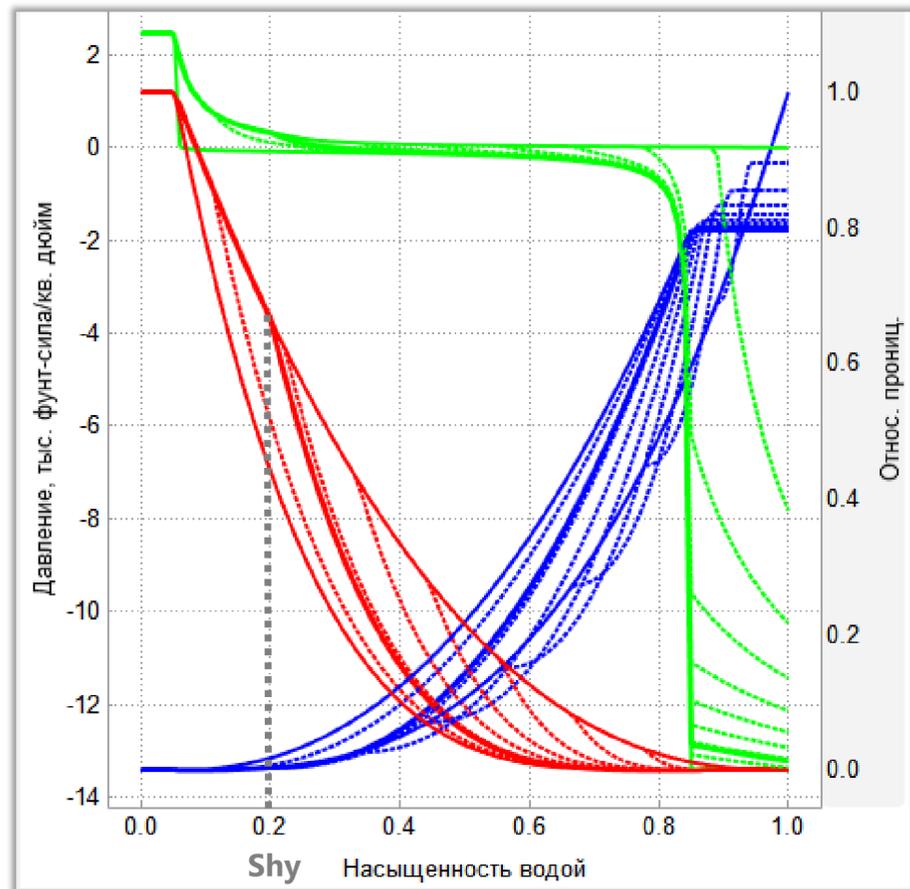


Модель Masalmeh



# Настройки обычного гистерезиса

- Опция гистерезиса позволяет задать разные функции ОФП и капиллярного давления от насыщенности для процессов **дренирования** и **пропитки** (моделирование зависимости функций насыщенности от предыстории)



Настройки

Масштабирование Гистерезис Интерполяция

Обычный гистерезис (EHYSTR) Универсальный гистерезис (HYST) WAG гистерезис (WAGHYSTR)

Включить Обычный гистерезис

Параметр кривизны для гистерезиса капилл. давления	0,1
Модель гистерезиса	0 - Несмачивающая фаза (нефть и газ): Карлсона, смачивающая (вода): кривая дренирования
Параметр кривизны для смачиваемой фазы Киллоу	1
Параметр модификации	0,1
Гистерезис ОФП и (или) капилл. давления	Применить для ОФП и капилл. давления
Вид кривой сканирования	<По умолчанию>
Коррекция начальной подвижности флюида	Только для кривой дренирования
Смачивающая фаза для трехфазных вариантов в системе нефть-газ	Нефть
Выбор модели Бейкера для нефти	Нет
Выбор модели Бейкера для газа	Нет
Выбор модели Бейкера для воды	Нет
Пороговая насыщенность	0
Коррекция для смачивающей фазы Киллоу	0

Коррекция для несмачивающей фазы (DRAINAGE)

▶ Расширенные настройки (HYSTOPTS)

Исторические насыщенности

	Min (Shy)	Max (Shy)	В точке разворота (Srev)
Вода	0,2	1	1
Нефть	0	1	
Газ	0	1	1

Min (Shy) = 0,2

Пропитка

Кривая сканирования

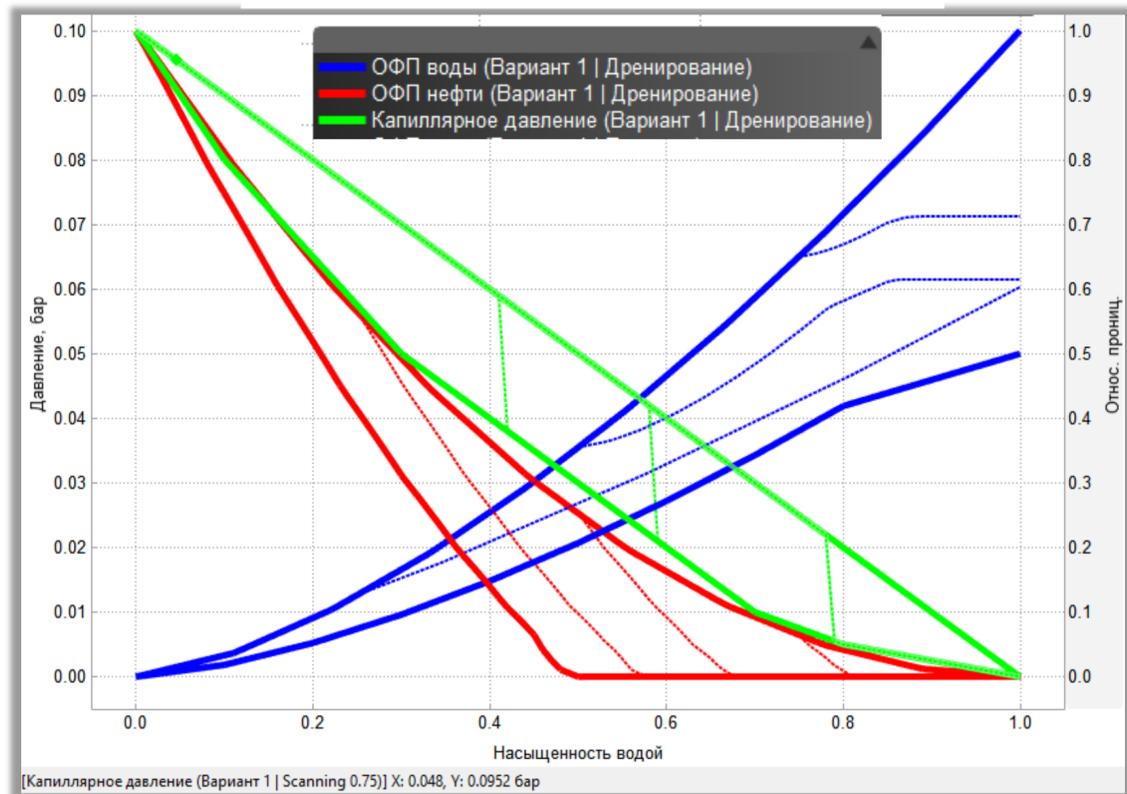
Дренаж

Относ. прониц.

Насыщенность водой

# Настройки универсального гистерезиса

- Зависимость насыщенности в концевой точке кривой сканирования в табличном виде для несмачивающей фазы в методе Киллаха (**OILTRAP** для нефти и **GASTRAP** для газа)
- Аналитическая модель Карлсона для несмачивающей фазы ОФП



Настройки

Масштабирование **Гистерезис** ПАВ

Обычный гистерезис (EHYSTR) **Универсальный гистерезис (HYST)**

Включить универсальный гистерезис

Вода-нефть **Газ-Нефть**

ОФП воды в системе вода-нефть (HYSTKRW)  
Метод: Модифицированная Killough (KILLOUGH\_MOD)

ОФП нефти в системе нефть-вода (HYSTKROW)  
Метод: Killough (KILLOUGH)

Капиллярное давление в системе вода-нефть (HYSTPCW)  
Метод: **Skjaeveland-Masalmeh (SKJAEVELAND)**

Зависимость нефтенасыщенности для кривых сканирования (OILTRAP)

	Историческая насыщенность	Критическая насыщенность
1	0,11	0,11
2	0,89	0,32

Закрывать Помощь

Гибкая настройка параметров гистерезиса ОФП и капиллярного давления

Дополнительные методы для расчета гистерезиса капиллярного давления

OILTRAP, GASTRAP: зависимости нефте- и газонасыщенности для кривых сканирования в табличном виде

# Дополнительные настройки гистерезиса

Настройки

Масштабирование: Гистерезис ПАВ

Обычный гистерезис (EHYSTR) Универсальный гистерезис (HYST)

Включить универсальный гистерезис

Вода-нефть Газ-Нефть

ОФП воды в системе вода-нефть (HYSTKRW) ОФП нефти в системе нефть-вода (HYSTKROW)

Метод: Кривая дренирования (DRAIN) Метод: Кривая дренирования (DRAIN)

Капиллярное давление в системе вода-нефть (HYSTPCW) Зависимость нефтенасыщенности для кривых сканирования

Метод: Кривая дренирования (DRAIN)

Историческая насыщенность Критическая насыщенность

Пишите или копируйте текст сюда

Смачивающая фаза в (система вода-нефть): Вода Нефть (система нефть-газ): Смачивающая

Коррекция для несмачивающей фазы (DRAINAGE)

Расширенные настройки (HYSTOPTS)

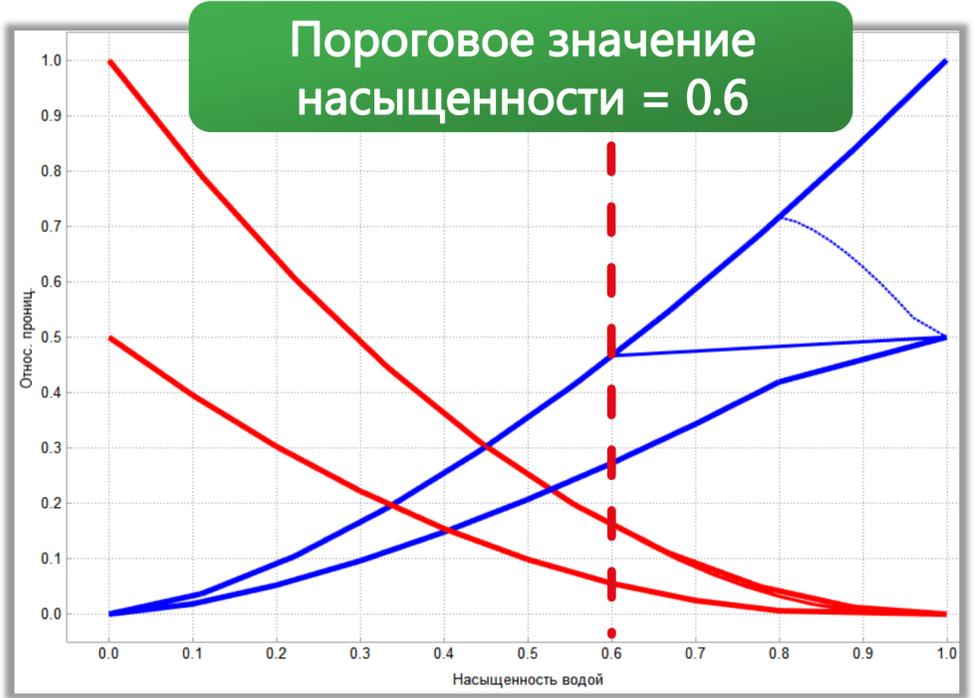
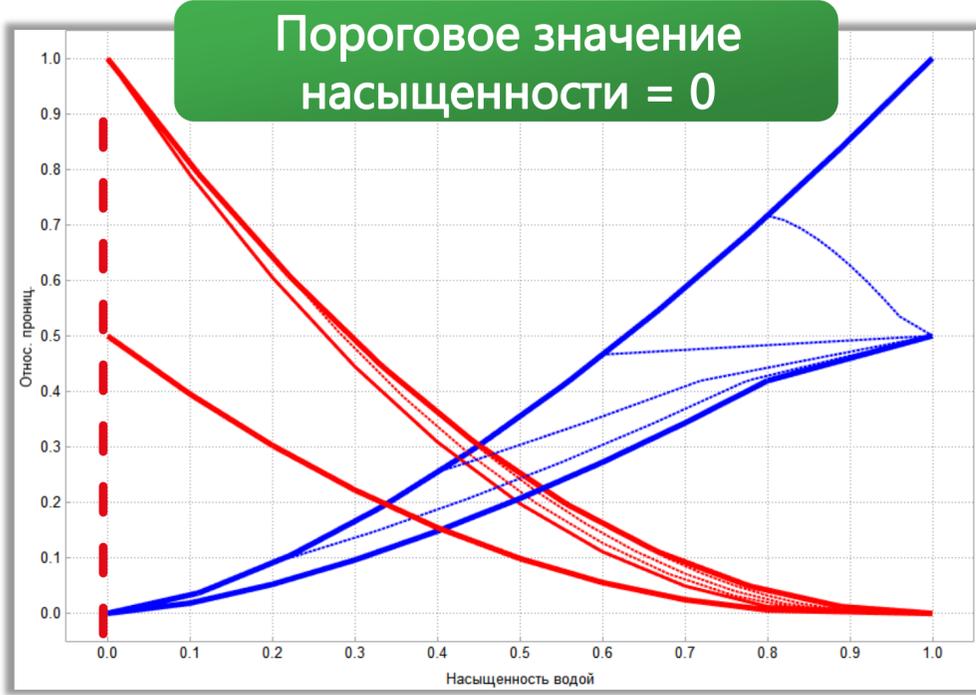
Пороговое значение насыщенности:

Пороговое значение насыщенности для капиллярного давления:

Максимальное значение производной капиллярного давления по насыщенности:

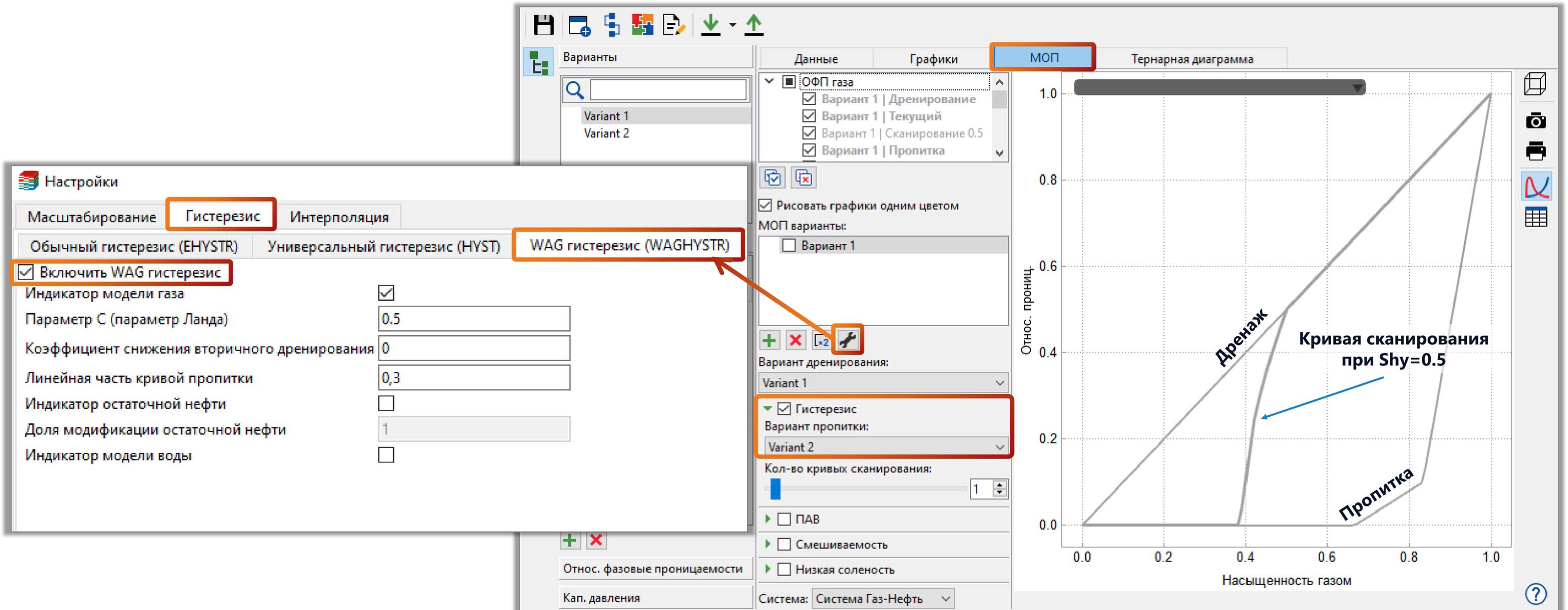
Исторические насыщенности

	Min (Shy)	Max (Shy)	Reversal (Srev)
Вода	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>
Нефть	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0,1"/>



# WAG гистерезис

- Моделирование гистерезиса при попеременной закачке воды и газа



# Содержание

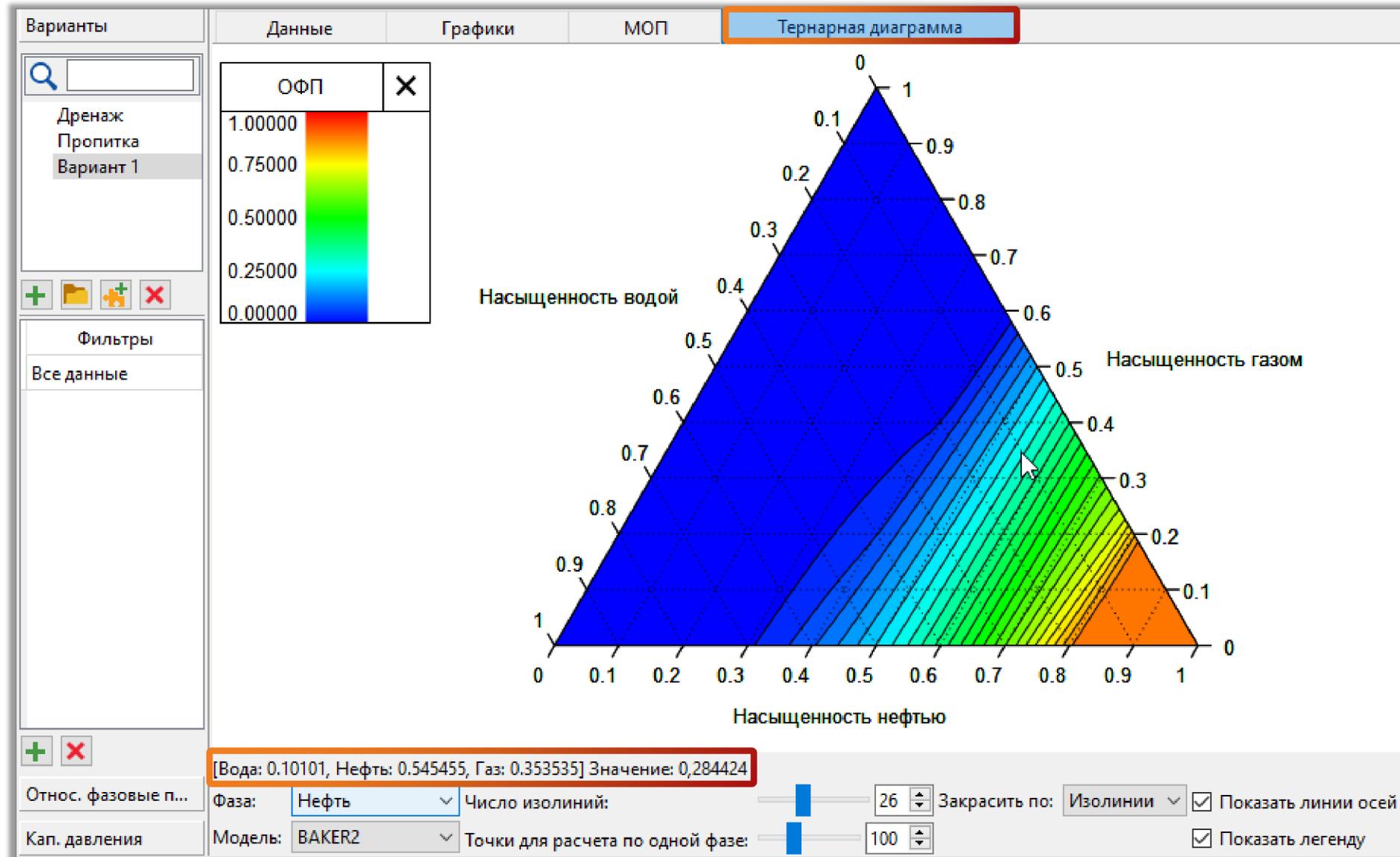
---

- Тернарная диаграмма для ОФП
- Интерполяция
- Опции смешивающегося вытеснения и закачки воды с низкой соленостью

## Дополнительные возможности Дизайнера ОФП

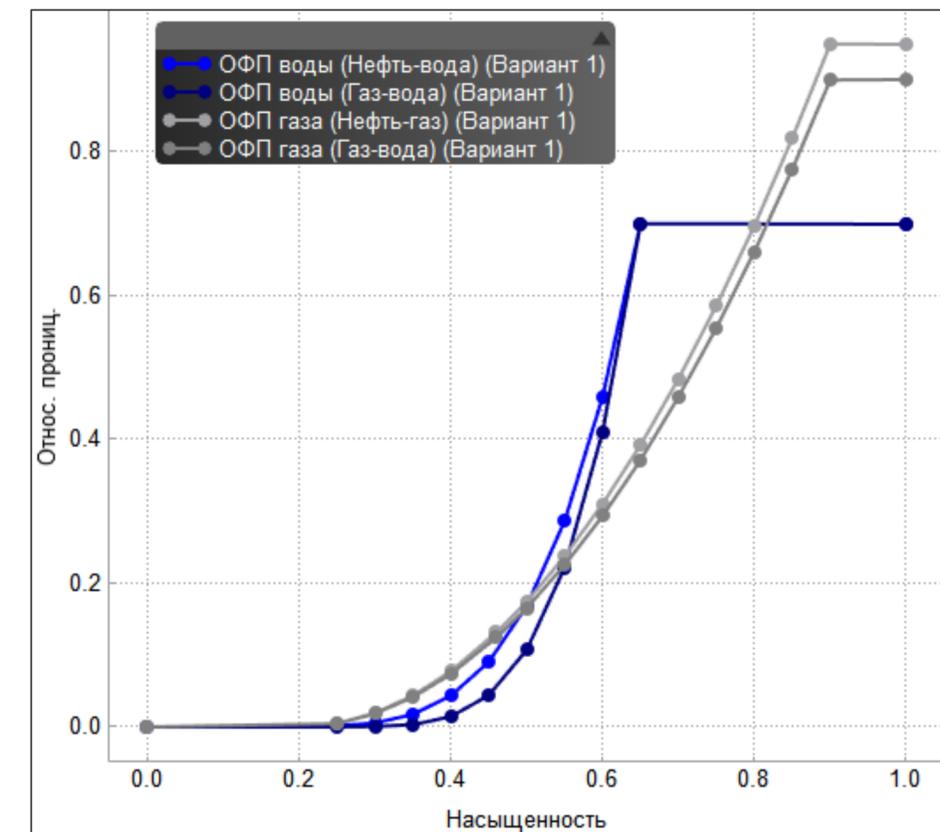
# Тернарная диаграмма для ОФП

- Тернарная диаграмма показывает распределение фазовых проницаемостей в зависимости от насыщенностей фаз для трехфазных систем



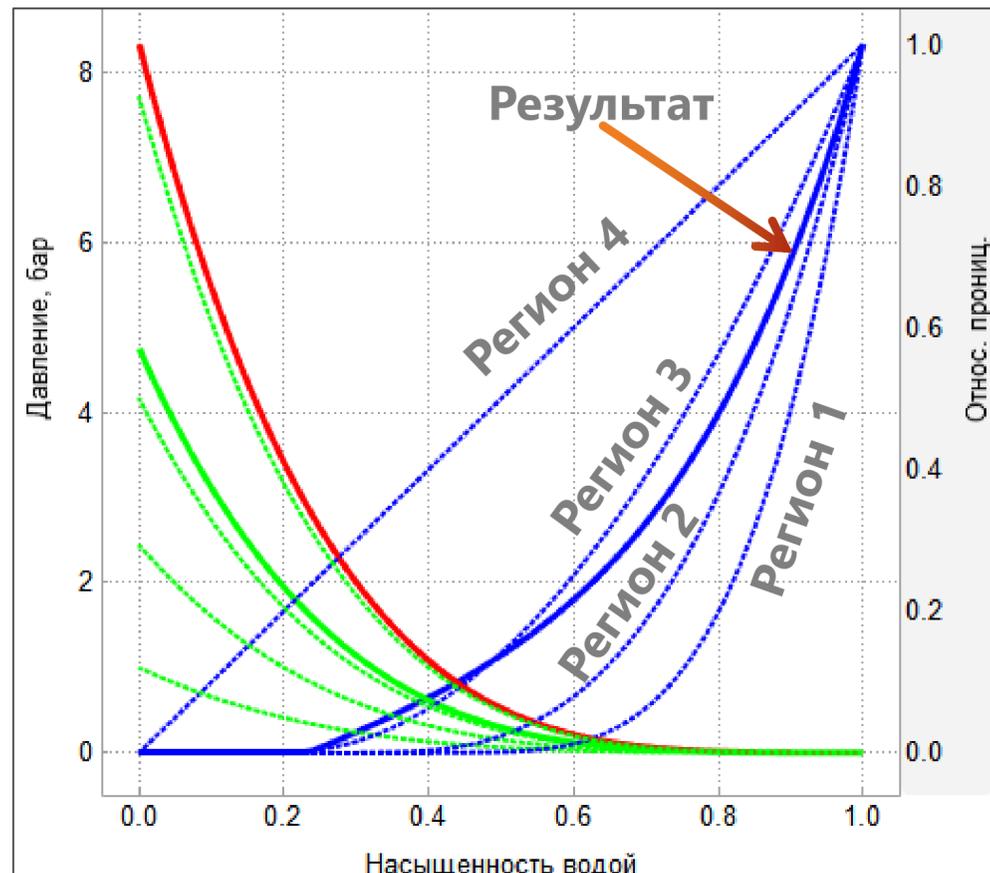
Модели вычисления ОФП для трёхфазных систем:

- Baker
- Baker 1
- Baker 2
- Stone 1
- Stone 2
- Линейных изоперм



# Интерполяция

- Данная вкладка предоставляет возможность производить интерполяцию таблиц ОФП и капиллярного давления между регионами насыщенности при моделировании изменения кривых в зависимости от состава смеси, пластового давления и т.д.



Настройки

Масштабирование Гистерезис **Интерполяция**

Включить интерполяцию

Настройки группы

Настройки регионов

Регион	Вариант	Значение интерполяции (SATREGOPTS)
Регион 1	Variant 1	0
Регион 2	Variant 2	0,3
Регион 3	Variant 3	0,7
Регион 4	Variant 4	1

**Каждому региону насыщенности соответствует группа таблиц ОФП  
Каждая таблица ОФП соответствует определенному значению параметра интерполяции**

Интерполяция внутри группы (INTCOMP)

Текущее значение: 0,9    Параметр интерполяции: Давление (PRES)    Имя компонента: SURFACT    Фаза: Вода    Имя второго компонента:

Интерполяция между группами

Настройки группы

Настройки регионов

Регион	Вариант	Значение интерполяции (SATREGOPTS)
Регион 1	Variant 4	0
Регион 2	Variant 3	0,3
Регион 3	Variant 2	0,7
Регион 4	Variant 1	0,8

**Доступна интерполяции таблиц ОФП в зависимости от**

- ✓ Концентрации компонента
- ✓ Давления
- ✓ Концентрации адсорбированной твердой фазы

Интерполяция внутри группы (INTCOMP)

Текущее значение: 0,9    Параметр интерполяции: Давление (PRES)    Имя второго компонента:

Интерполяция между группами (RPT\_INTRP)

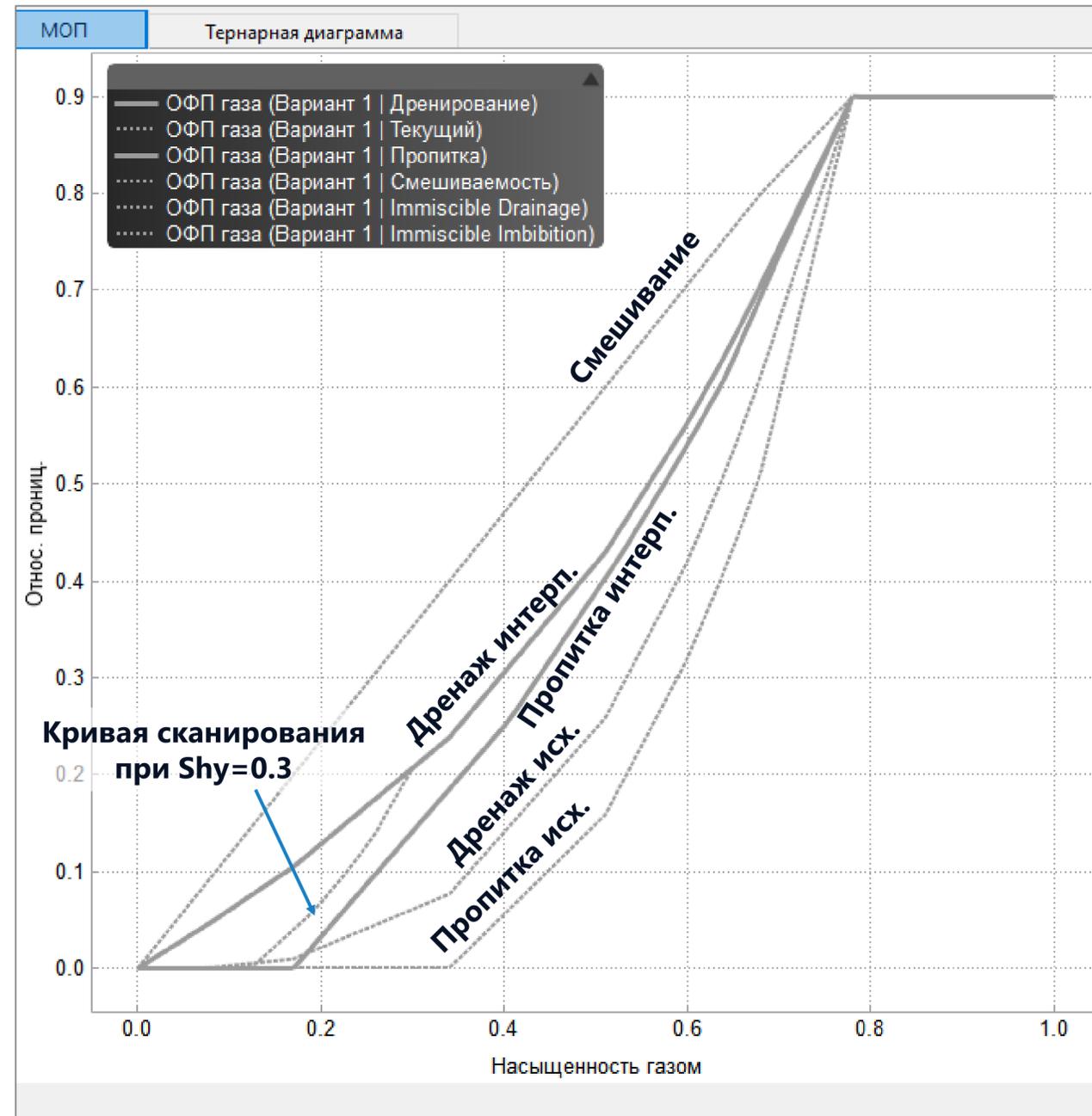
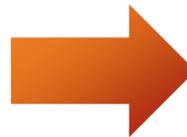
Текущее значение: 0,5    Значение для первой группы: 0    Значение для второй группы: 1    Параметр интерполяции: Температура (TEMP)    Имя компонента:

Закл

# Опции смешивающегося вытеснения и закачки воды с низкой соленостью

- Поддержана совместимость опций для моделирования влияния смешивающегося вытеснения и воды с низкой соленостью, а также ПАВ заводнения с гистерезисом ОФП и капиллярного давления

<input checked="" type="checkbox"/>	Гистерезис
<input type="checkbox"/>	ПАВ
<input checked="" type="checkbox"/>	Смешиваемость
<input type="checkbox"/>	Низкая соленость



# Содержание

---

- **Workflow**
- **Интеграция с Дизайнером Моделей**
- **Интеграция с Дизайнером Геологии и модулем Адаптации и Оптимизации**

## **Workflow и интеграция с другими модулями**

# Workflow

- Задачи и рутинные шаги можно добавлять в workflow
- Легко можно изменить параметры и в один клик просчитать все расчеты
- Интеграция с модулями тНавигатор

Workflow проектов

- Дизайнер Моделей / Геологии
  - Workflow1
- Проект сети
- Проекты скважин
- Проект PVT
- Проект ОФП
  - Workflow1
  - RP Hysteresis
    - Workflow1

Доступные расчёты

- Утилиты
  - Печать в лог
  - Добавить код вручную
  - Комментарий
  - Управляющие конструкции
  - Проекты и workflows
- Варианты
  - Создать
  - Редактирование параметров
  - Экспорт
  - Импорт
- Результаты измерений
- Корреляции

Workflow1

- | № | Имя  | Статус |
|---|--|--------|
| 1 | Импорт результатов измерений: Относ. фазовые проницаемости | ✓      |
| 2 | Импорт результатов измерений: Кап. давления                | ✓      |
| 3 | Создать корреляцию: Относ. фазовые проницаемости           | ✓      |
| 4 | Создать корреляцию: Кап. давления                          | ✓      |
| 5 | Создать: ОФП вариант                                       | ✓      |
| 6 | Редактирование параметров: ОФП вариант                     | ✓      |
| 7 | Добавить код вручную                                       | ✓      |
| 8 | Экспорт ОФП таблицы  | ✓      |

Создать корреляцию: Относ. фазовые проницаемости

Имя корреляции  
Корреляция ОФП 1

Система  
Вода-нефть

Тип ключ. слов  
Корреляция Corey

Предустановленный тип  
По умолчанию

№	Параметр в Во...	Значение
1	$S_{WL}$	0
2	$S_{WU}$	1
3	$S_{WCR}$	0
4	$S_{OWCR}$	0
5	$K_{rOLW}$	1
6	$K_{rORW}$	1
7	$K_{rWR}$	1
8	$K_{rWU}$	1
9	$p_{cOW}$	0
10	$N_{OW}$	4
11	$N_W$	4
12	$M$	0

Разобрать пользовательский код  
Проверить Отладка Workflow

▶ Запустить Workflow ✕ Заккрыть ? Помощь

# Интеграция с Дизайнером Моделей

- Дизайнер ОФП полностью интегрирован с Дизайнером Моделей
- После закрытия проекта Дизайнера ОФП, варианты ОФП и капиллярных давлений из данного проекта будут отображены на вкладке Свойства флюидов Дизайнера Моделей
- Существует также возможность открытия Дизайнера ОФП нажатием ПКМ на конкретный блок сетки, выбранный в Дизайнере Моделей

Импорт/экспорт вариантов

Запустить Дизайнер ОФП

Показать в ОФП Дизайнере

Свойства флюидов

Variant 1

Создать копию  
Конвертировать в Coreq по умолчанию  
Конвертировать в Coreq...  
Конвертировать в LET по умолчанию  
Конвертировать в LET...  
Удалить  
Показать в ОФП Дизайнере

Вода/Нефть vs Насыщ. водой (SWOF) + Газ/Нефть vs Насыщ. газом (SGOF)

Показать производные

Вода/нефть  
Газ/нефть

ОФП воды (Variant 1)  
ОФП нефти (Variant 1)  
J-функц. (Variant 1)  
ОФП газа (Variant 1)  
ОФП нефти (Variant 1)  
Капиллярное давление (Variant 1)

МОР Тернарная диаграмма

Газ/Нефть vs Насыщ. газом (SGOF)

J-функция

Относ. прониц.

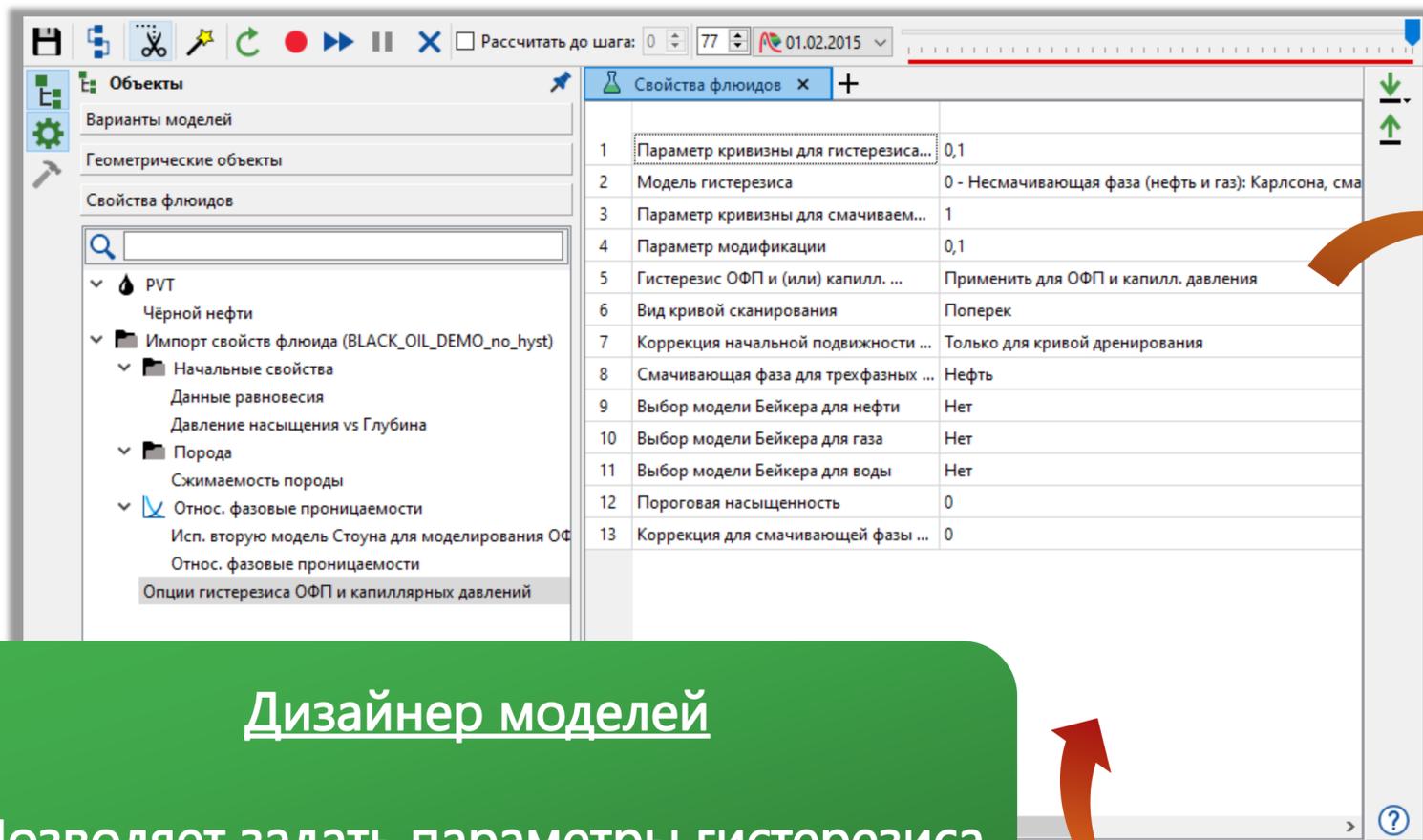
Давление, бар

Насыщенность

Относ. прониц.

Насыщенность

# Настройка гистерезиса в tНавигатор

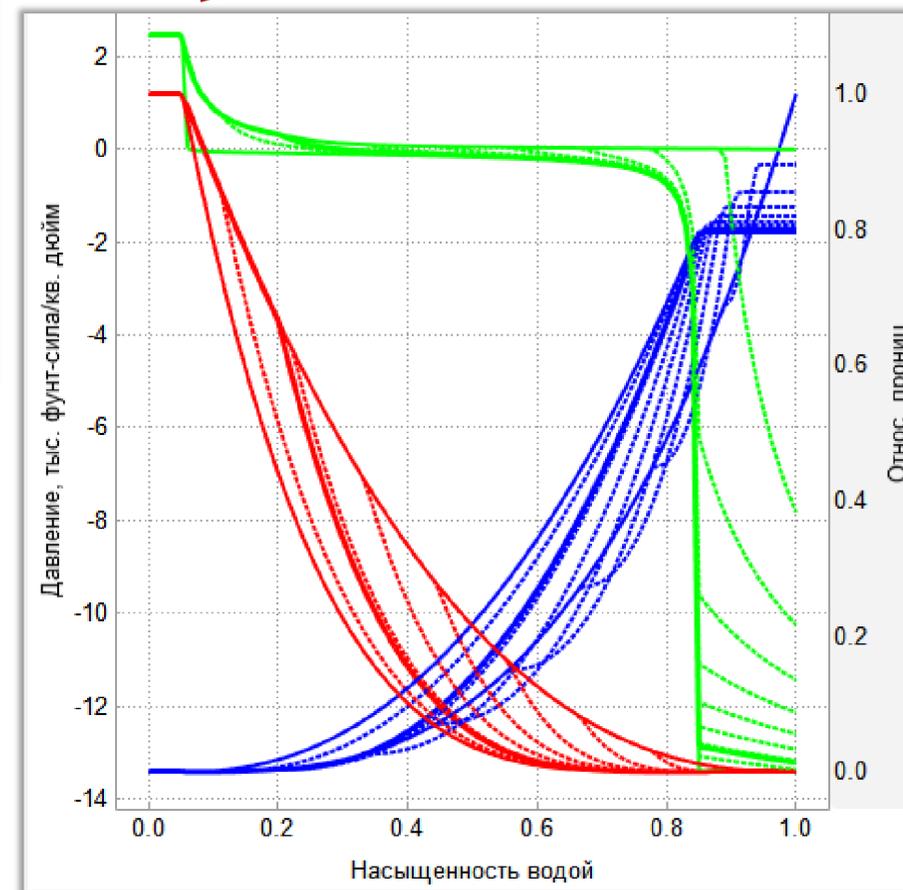


## Дизайнер моделей

Позволяет задать параметры гистерезиса при помощи ключевых слов

## Модуль ОФП Дизайнер

Позволяет подобрать параметры гистерезиса для выбранных вариантов дренажа и пропитки и проанализировать их



# Интеграция с Дизайнером Геологии и Адаптацией и Оптимизацией

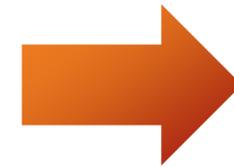
- Пример использования коэффициентов J-функции, определенных с помощью Дизайнера ОП в формуле расчете свойства нормализованной водонасыщенности в Дизайнере Геологии

Значения a и b, адаптированные в Дизайнере ОП

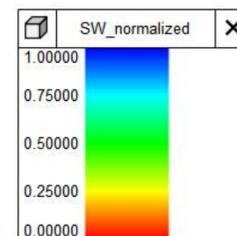
Адаптированная корреляция 1 данные:

	Параметр	Значение
1	P <sub>max</sub>	50
2	a	0,687657
3	b	-0,35031
4	C	0

Параметр	Мин. значение	Начальное зна...	Макс. значение
<input type="checkbox"/> P <sub>max</sub>	3,2	50	50
<input checked="" type="checkbox"/> a	0	0,05	1
<input checked="" type="checkbox"/> b	-5	-1,5	-0,1
<input type="checkbox"/> C	0	0	4,8

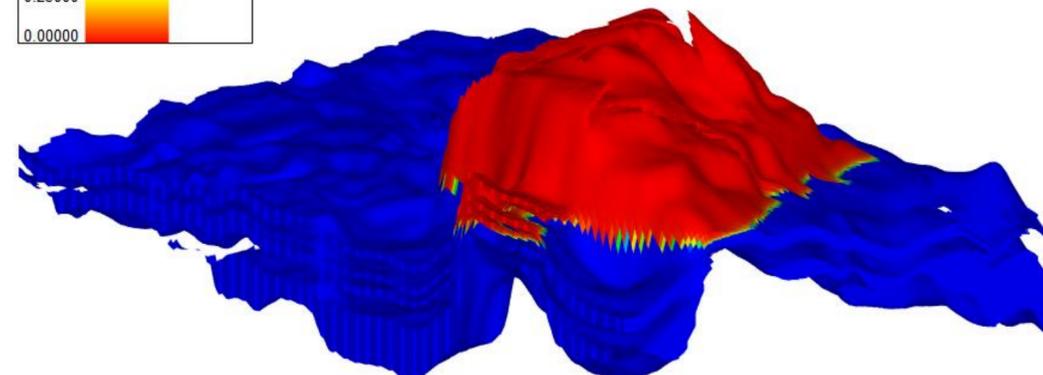


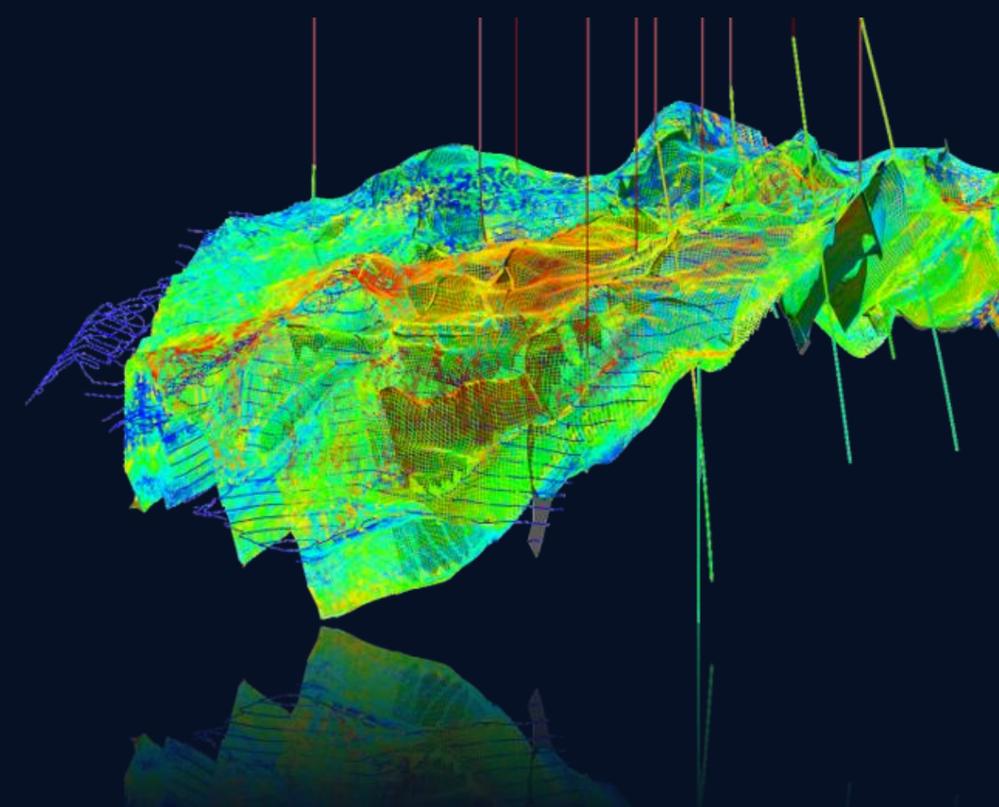
$$S_{wn} = \left(\frac{J}{a}\right)^{\frac{1}{b}}$$



```
if(J_function==0,1,min(pow((J_function/0.687657)^(1/-0.35031)),1))
```

Расчет в Дизайнере Геологии





# Хотите узнать больше?

Описание функционала, учебные курсы и видеоуроки доступны на сайте:

[irmodel.ru](http://irmodel.ru)

# Остались вопросы?

Обратиться в техническую поддержку:

[tnavigator@irmodel.ru](mailto:tnavigator@irmodel.ru)

