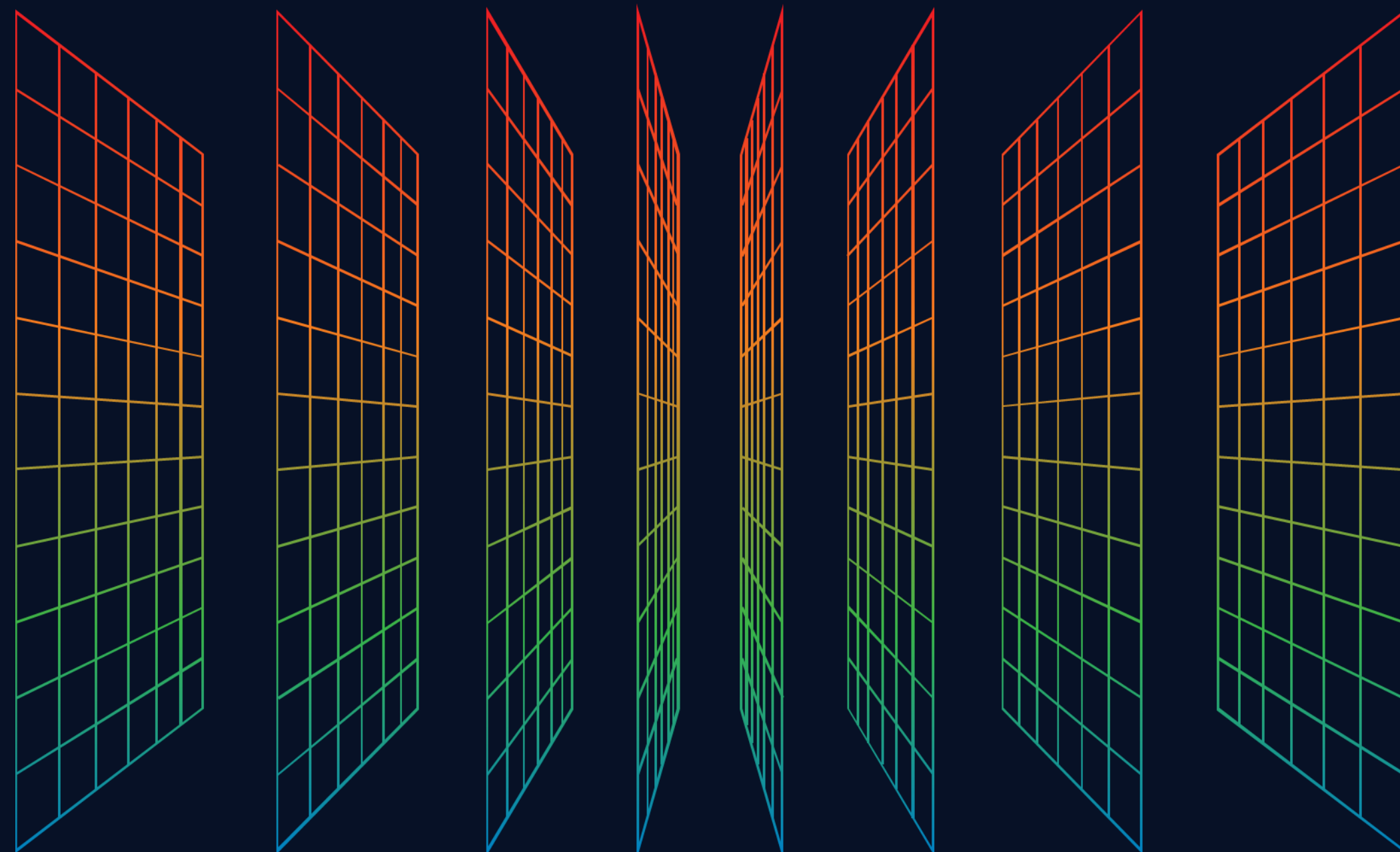


Симулятор трещин ГРП

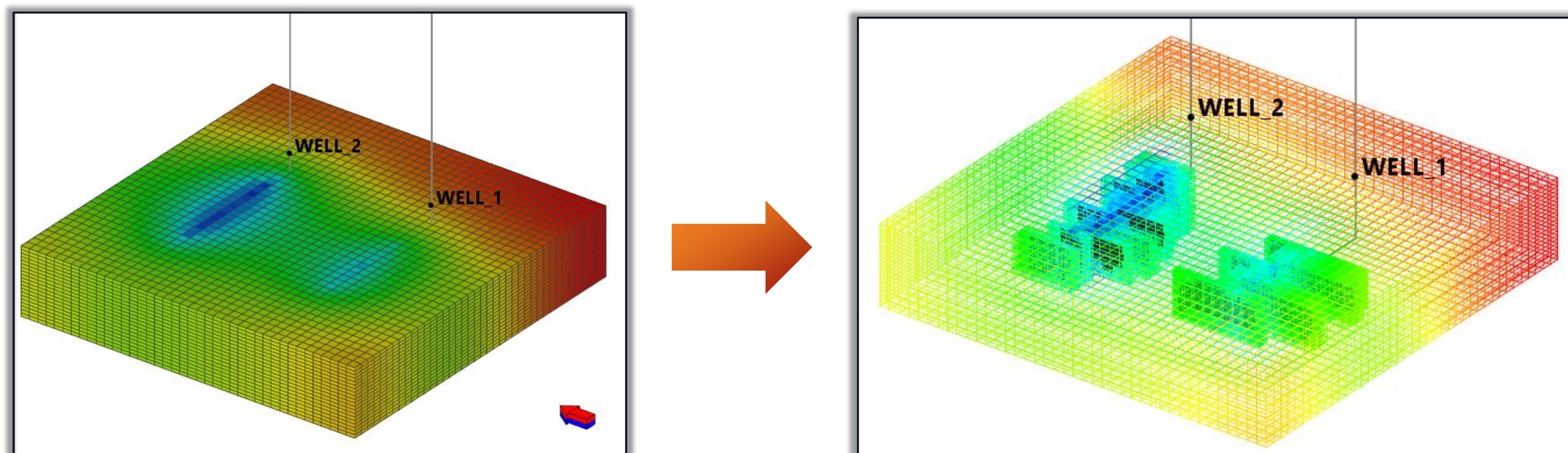


НФМ

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.

Симулятор Трещин ГРП

- **Симулятор Трещин ГРП** – это инструмент для моделирования распространения трещин ГРП в пласте. Симулятор трещин **интегрирован в Дизайнер Моделей**, который позволяет указать необходимые свойства породы, режим закачки в скважину и настройки алгоритма для вычисления распространения трещины
- Позволяет моделировать процесс создания ГРП в **3D-моделях пласта**, используя полностью неявный метод решения уравнений гидродинамики и теории упругости, которые совместно решаются в tНавигатор
- Симулятор Трещин ГРП **имеет интеграцию с проектом Дизайнера Скважин** с возможностью интерактивного выбора интервалов ГРП и конструкции скважин
- Интерфейс **Симулятора Трещин ГРП** обеспечивает полный спектр анализа моделирования трещин

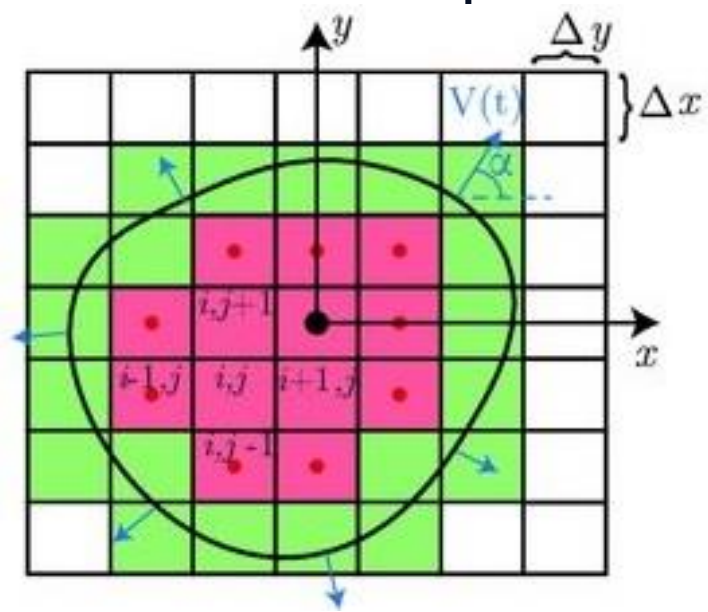
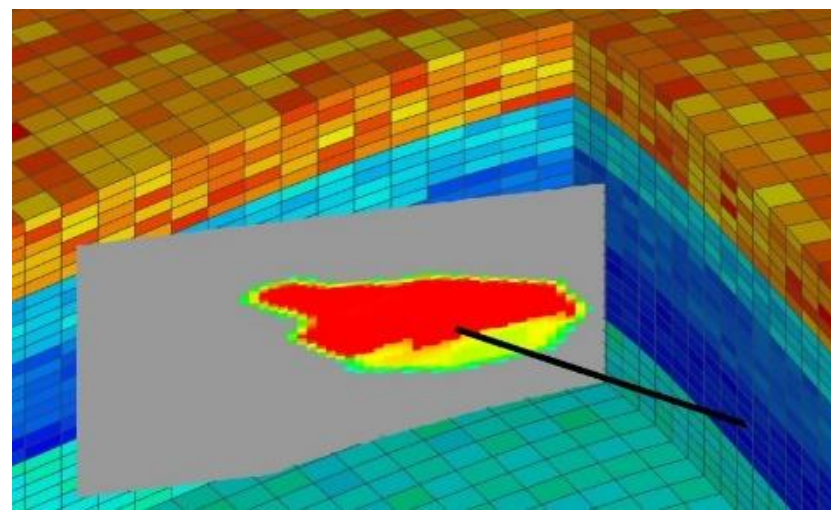


Физическая модель

Геометрия

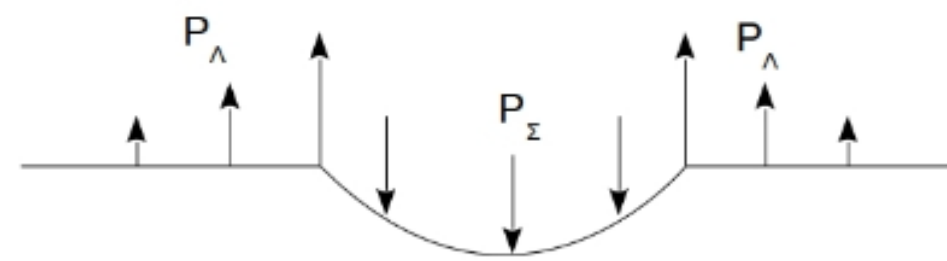
Планарное 3D: планарное разрушение распространяется в трехмерной среде.

Входные параметры (напряжение, модули упругости, пористость и т. д.) представляют собой 3D-карты



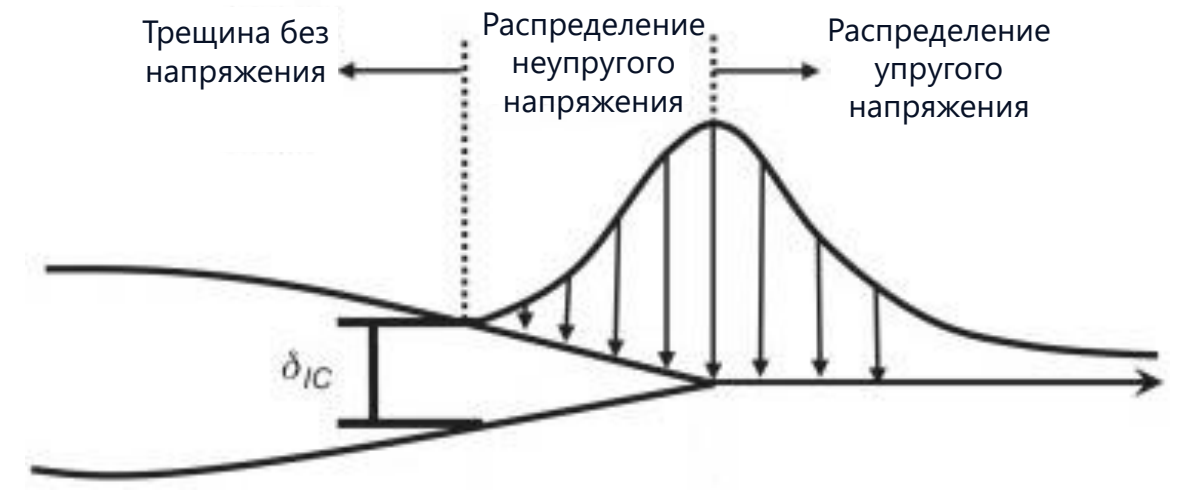
Геомеханическая модель

Линейная упругость
внутренней части трещины



$$w = \frac{2(1 - \nu^2)}{\pi E} \iint \frac{P_f(x', y') - \sigma_c(x, y)}{\sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2}} dx' dy'$$

Когезионная (упругая)
зона на границе трещины



Гидродинамическая модель

Аппроксимация течения

$$v = -\frac{w^2}{12\mu} \frac{\partial P}{\partial x}$$

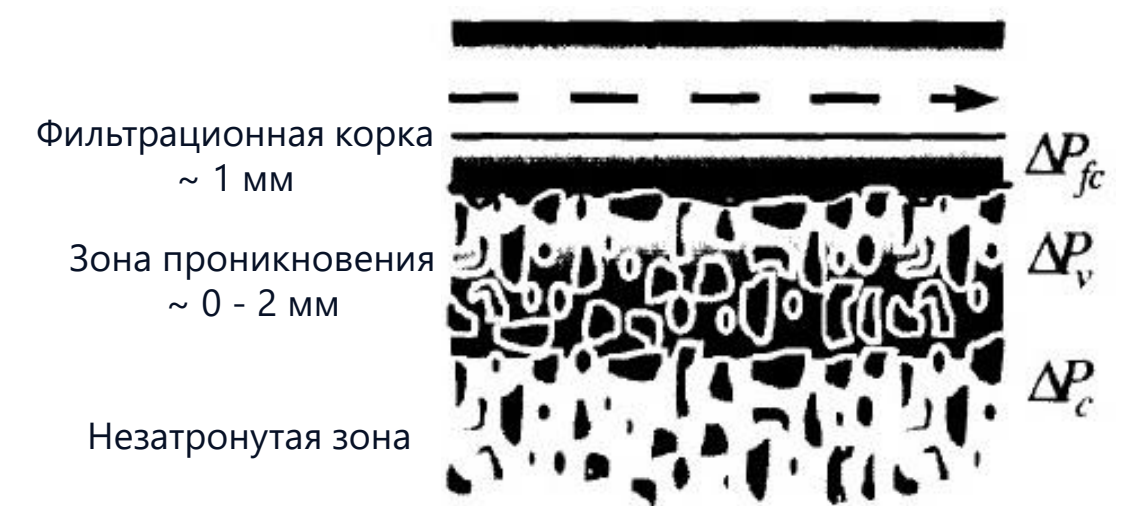
Уравнения сохранения массы для жидкости ГРП и пропанта

Пользовательская реология жидкости (Ньютоновская/неньютоновская)

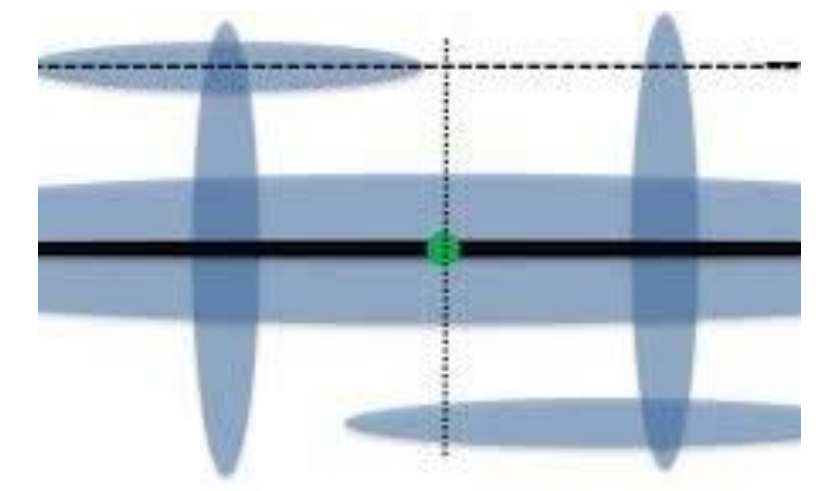
$$\mu(\dot{\gamma}) = \mu_\infty + \frac{\mu_0 - \mu_\infty}{\left(1 + \left(\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_l}\right)^2\right)^{(1-n)/2}}$$

Утечка

Модель Картера для матрицы и фильтрационной корки

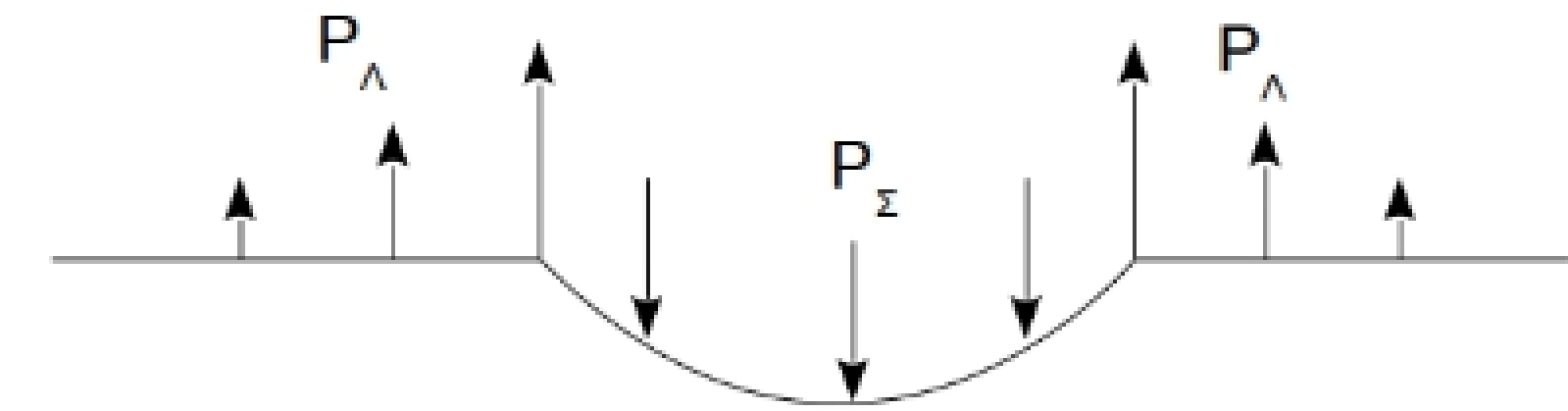


Модель зависимости от давления для вторичных и природных трещин



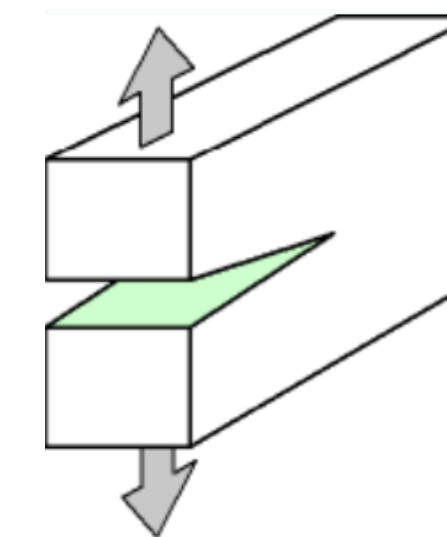
Физическая модель

Уравнение ширины



Массовая консервация

Критерии трещины



$$w(x_1, x_2) = \frac{2(1 - \nu^2)}{\pi E} \int \frac{\hat{P}(P, x'_1, x'_2) dx'_1 dx'_2}{\sqrt{(x_1 - x'_1)^2 + (x_2 - x'_2)^2}}$$

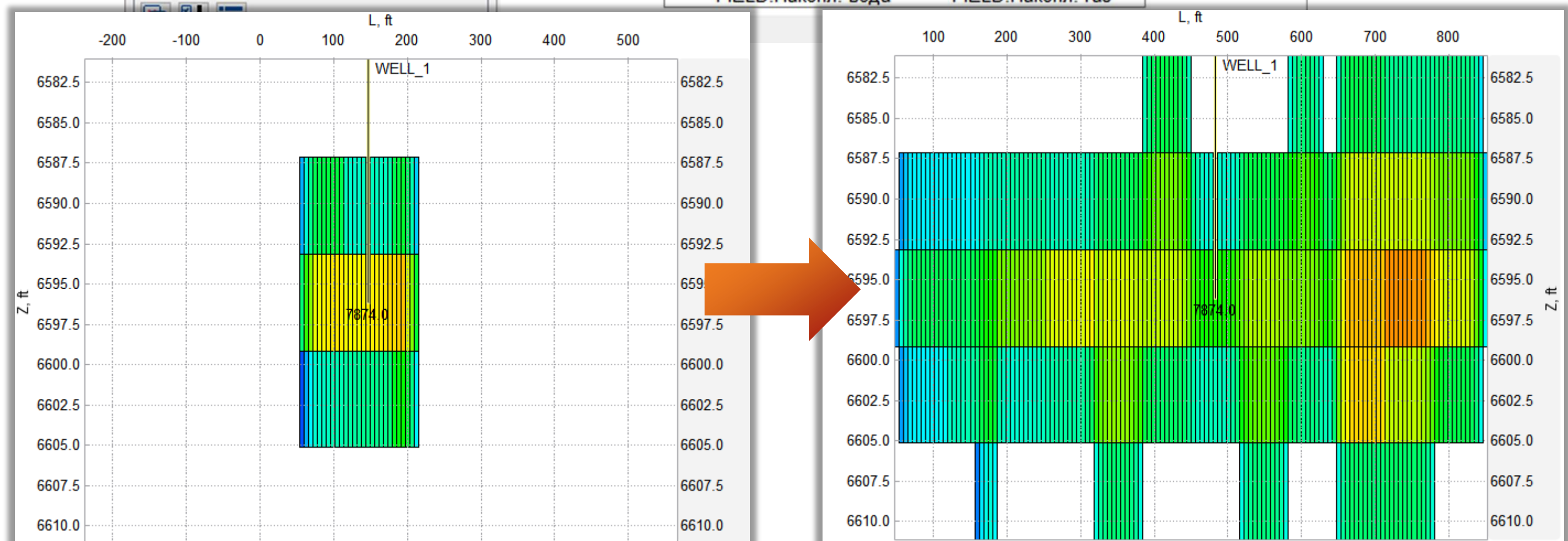
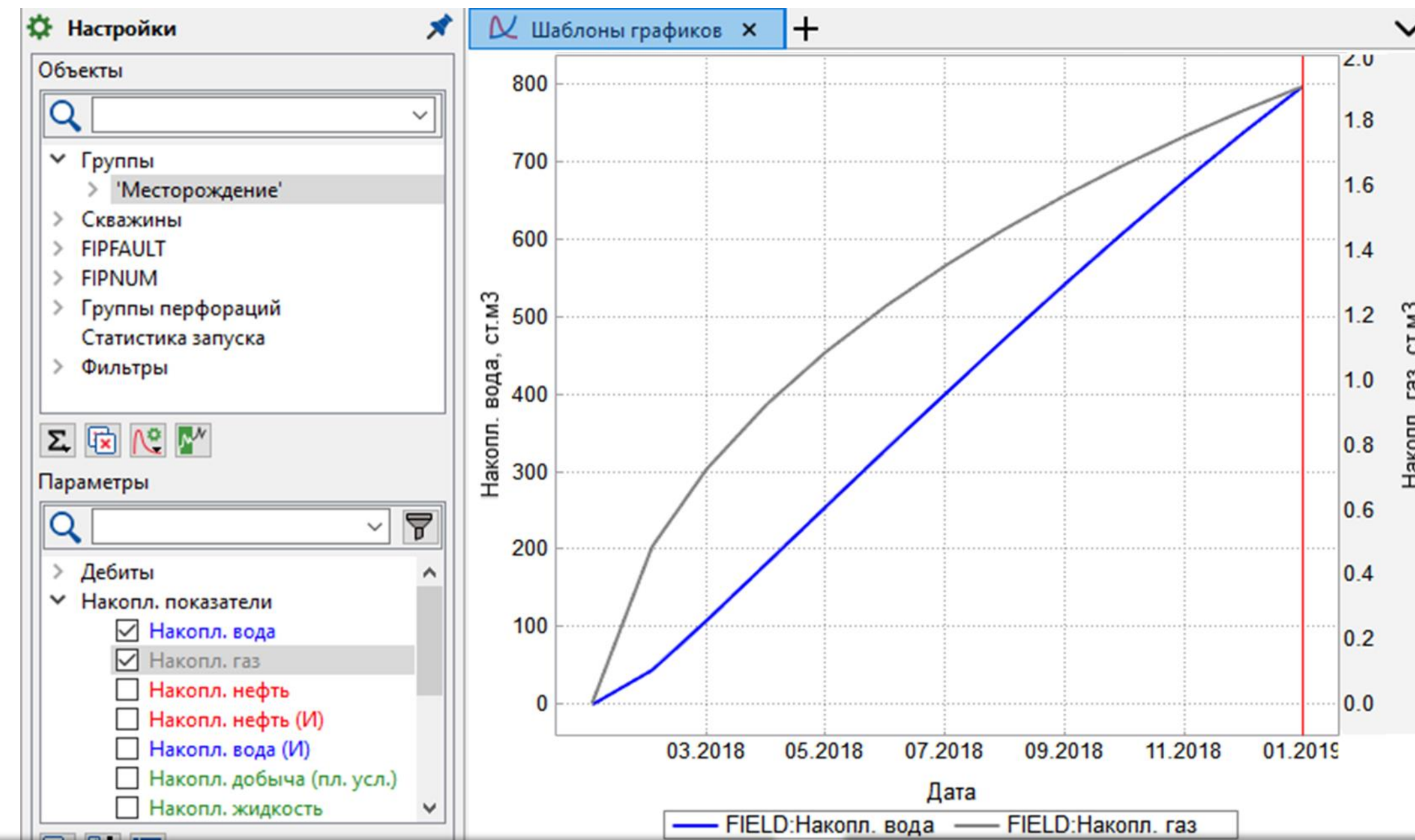
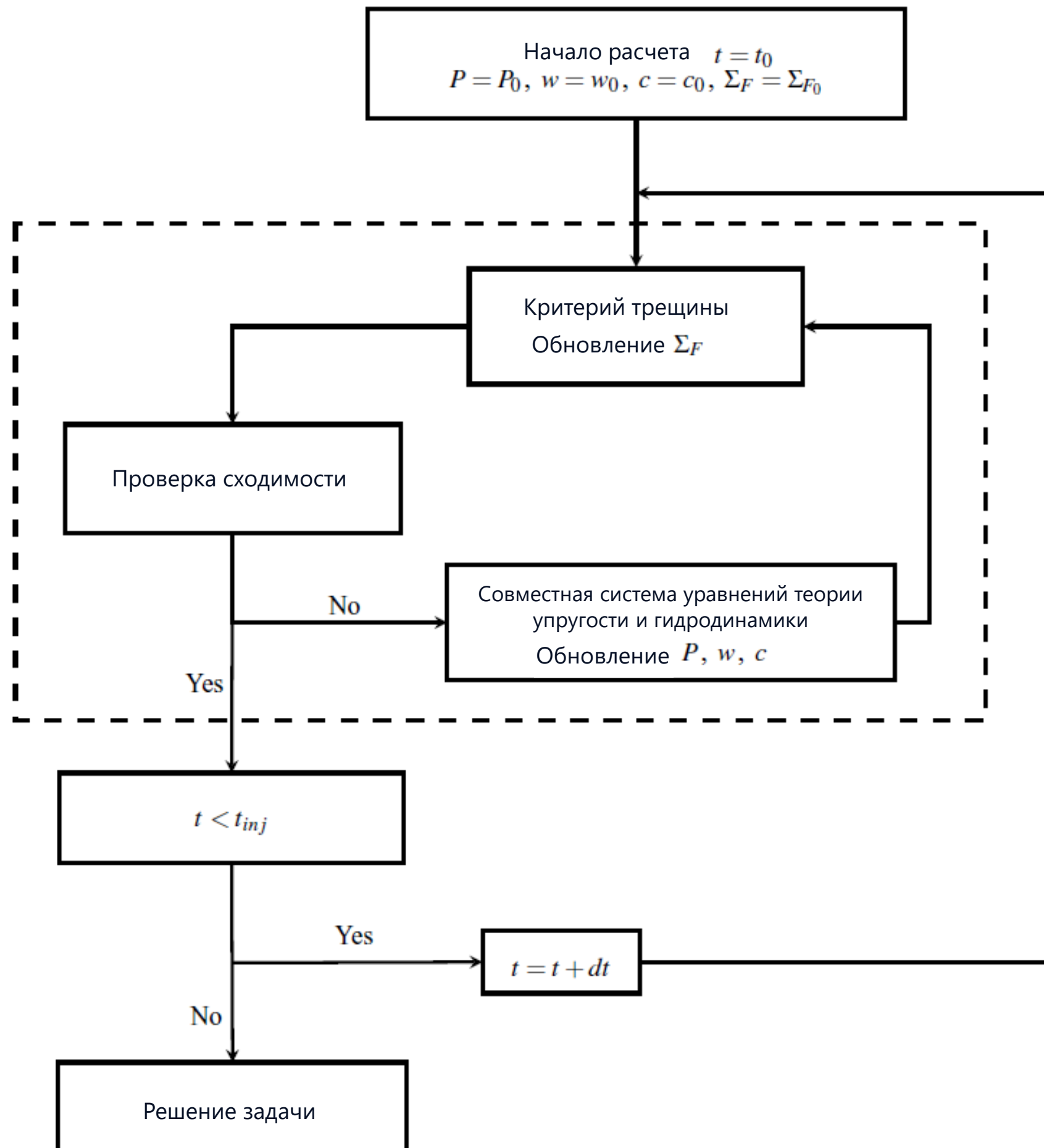
$$\frac{\partial w}{\partial t} - K_P \sum_k \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\frac{w^3}{12\mu_f} \left(\frac{\partial p}{\partial x_k} - \rho_f g \frac{\partial h}{\partial x_k} \right) \right) + q_{LK} - q_{IN} = 0$$

$$\frac{\partial(cw)}{\partial t} + \text{div}(cw \vec{v}^b) - cq_{IN} = 0$$

$$\vec{V}_{front} = \mathcal{K} \left(P|_{\Lambda_F}, w|_{\Sigma_F} \right)$$

Общая схема расчета распространения трещины

- P – давление, w – ширина трещины, c – объемная доля пропанта в смеси, Σ_F – односвязанная область трещины, t_{inj} – время закачки жидкости ГРП, указанное в настройках режима закачки скважины, dt – временной шаг



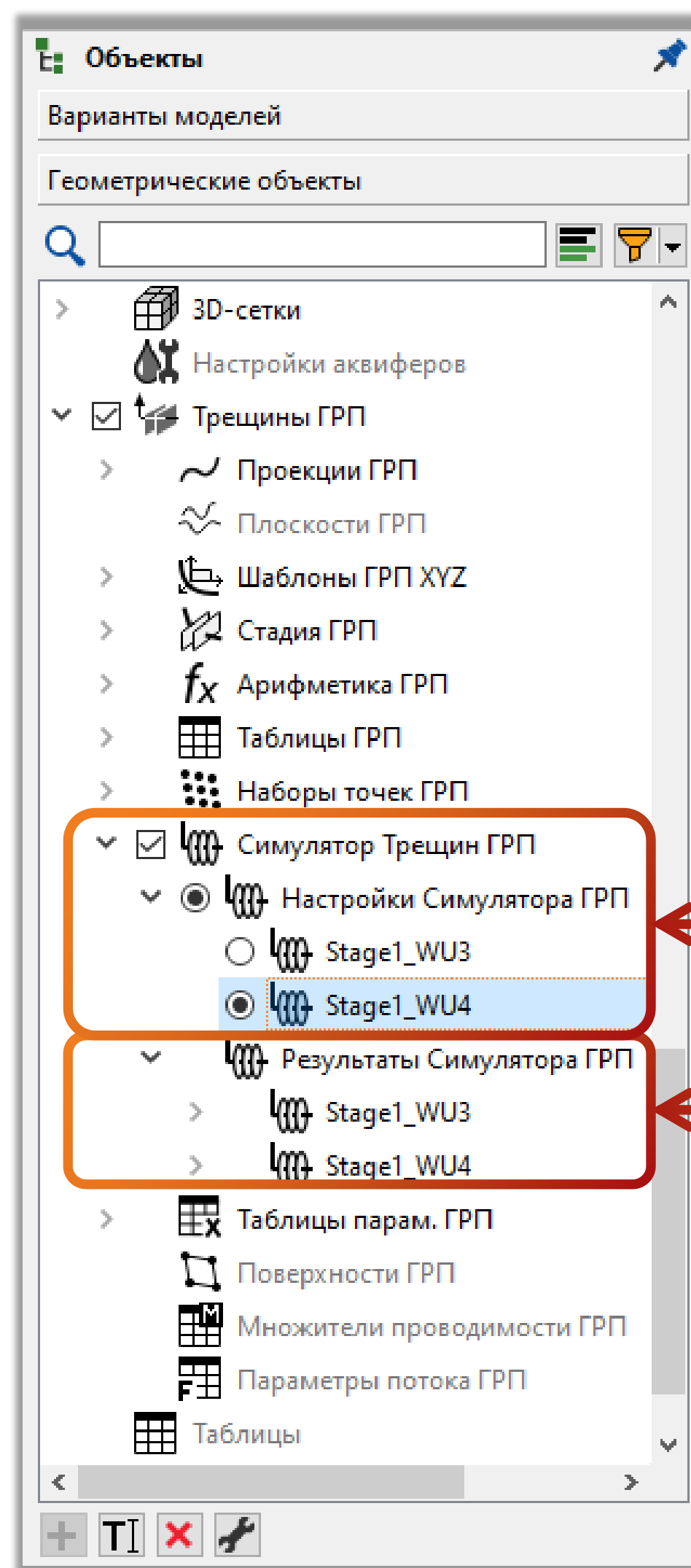
Основные особенности Симулятора Трещин ГРП

Содержание:

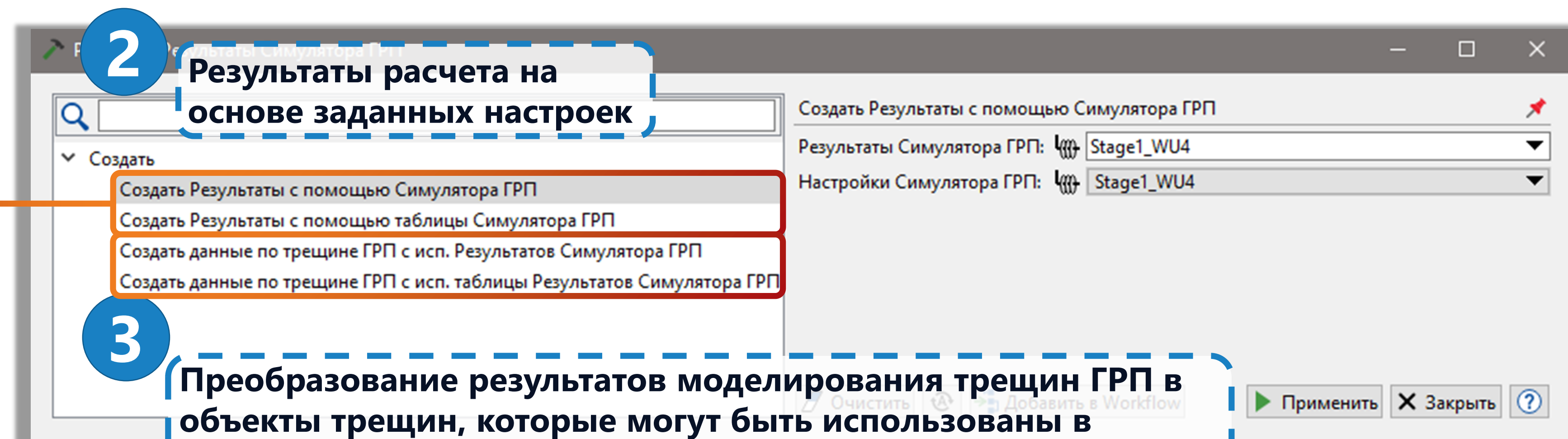
- **Общая структура**
- **Свойства породы**
- **Параметры напряжения**
- **Пластовые условия**
- **Дизайнер Скважин**
- **Интеграция с Дизайнером Скважин**
- **Жидкости для ГРП и график закачки**



Общая структура



1 Единый набор настроек Симулятора. Он включает в себя данные сетки, свойства жидкости ГРП, график и параметры расчета

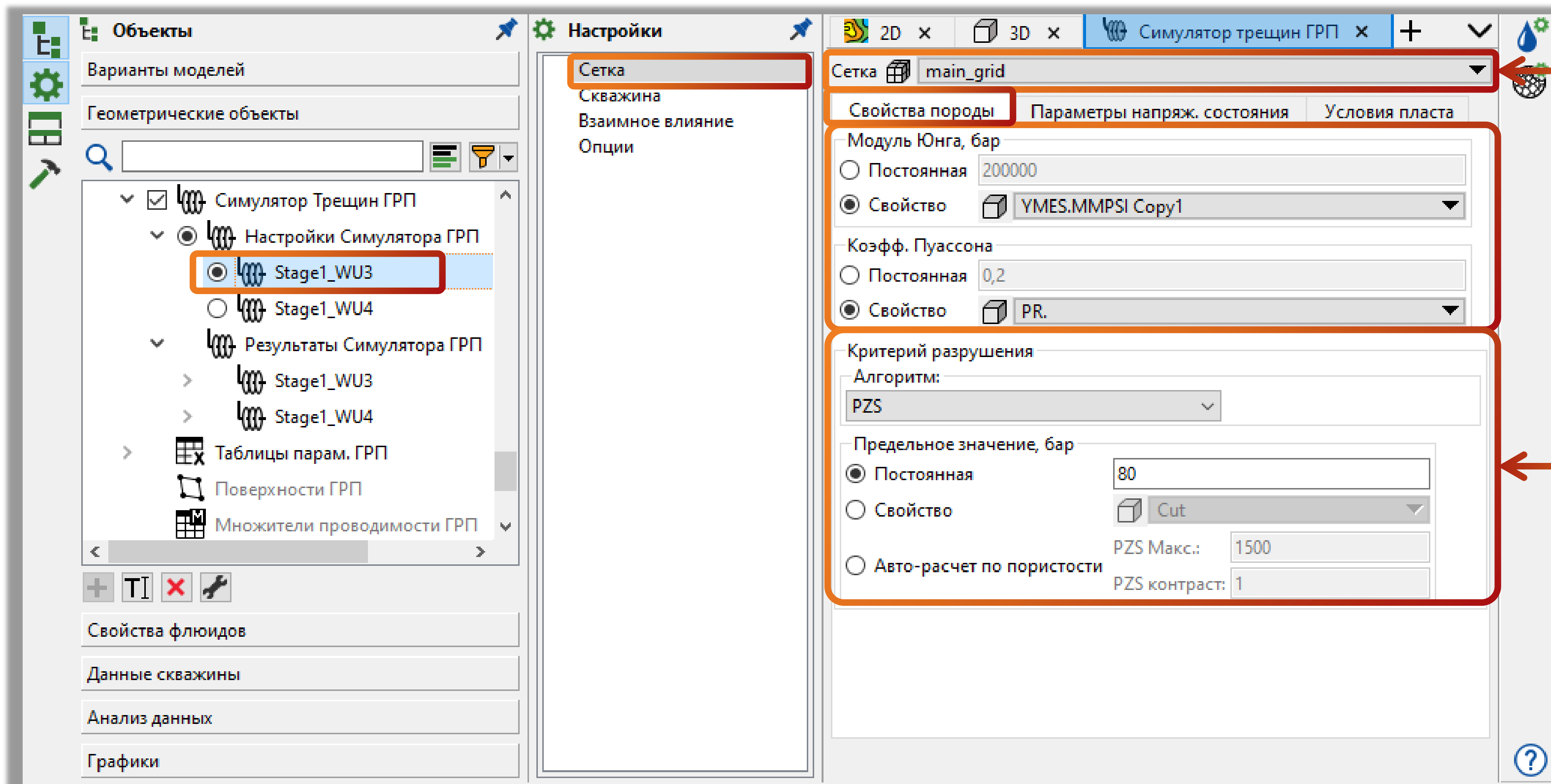


2 Результаты расчета на основе заданных настроек

3 Преобразование результатов моделирования трещин ГРП в объекты трещин, которые могут быть использованы в стратегии разработки для определения дизайна трещины

Свойства породы

- Свойства сетки могут быть заданы как константы или непосредственно из 3D сетки модели. Отсутствующие значения интерполируются на 2D-плоскости



Выбор сетки модели

Выбор критерия разрушения

$$\vec{V}_{front} = \mathcal{K} \left(P|_{\Lambda_F}, w|_{\Sigma_F} \right)$$

Критерий разрушения
(Process Zone Stress)
 $\hat{P}(P, x_1, x_2) > PZS$
Зависит от настроек сетки

Критерий разрушения КИН
(коэффициент
интенсивности
напряжения)

$$K_I > K_{Ic}$$

$$K_I = \frac{w(P, x_1, x_2)E(x_1, x_2)}{8(1 - \nu^2)} \sqrt{\frac{2\pi}{r}}$$

Параметры напряжения

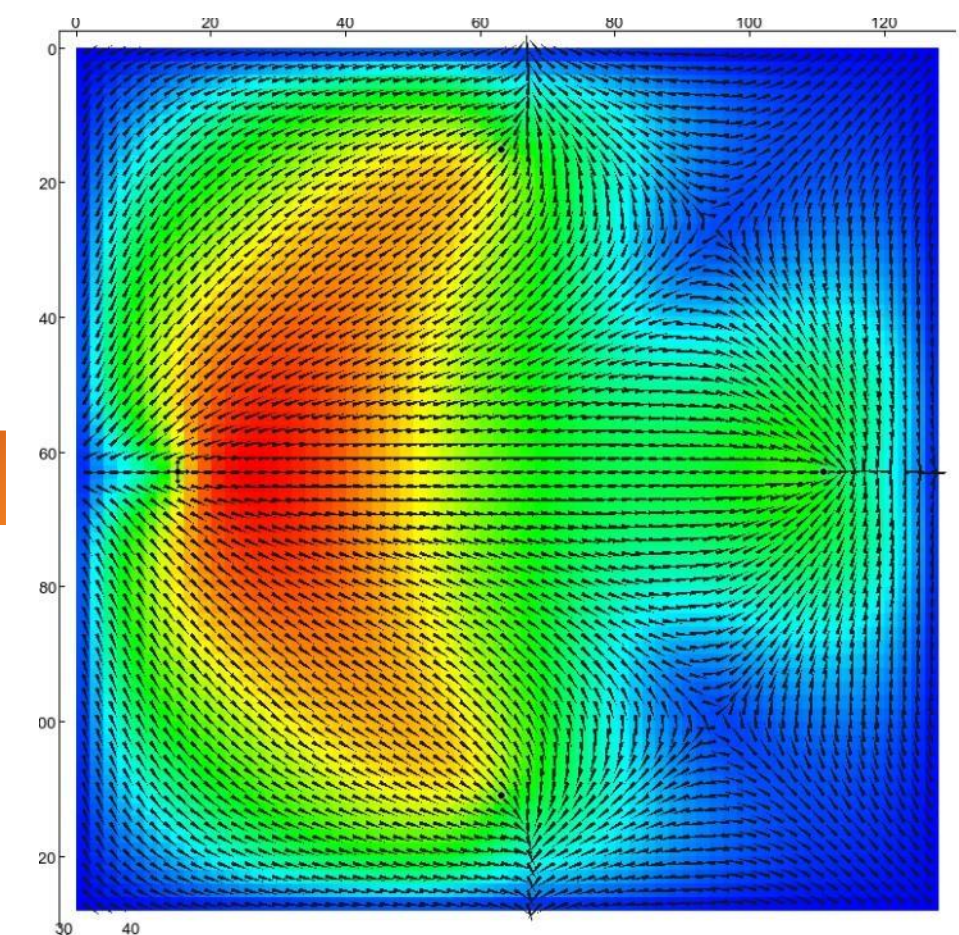
- Свойства напряжения необходимы для расчета угла и ширины трещины ГРП

The screenshot shows the 'Настройки' (Settings) window for the 'Симулятор трещин ГРП' (Fracture Simulator). The 'Параметры напряж. состояния' (Stress state parameters) tab is active. The settings are as follows:

- Углы трещин ГРП, град** (Fracture angles, degrees):
 - Константы: Азимут по отношению к скважине: 90; Зенитный угол, град: 0
 - Исп. направление мин. главного напряже
 - Исп. азимут мин. главного напряжения
 - Исп. азимут макс. главного напряжения
- Мин. главное напряжение, бар** (Min. principal stress, bar):
 - Постоянная: 140
 - Свойство: PORE_P.PSI
- Направление мин. главного напряжения** (Direction of min. principal stress):

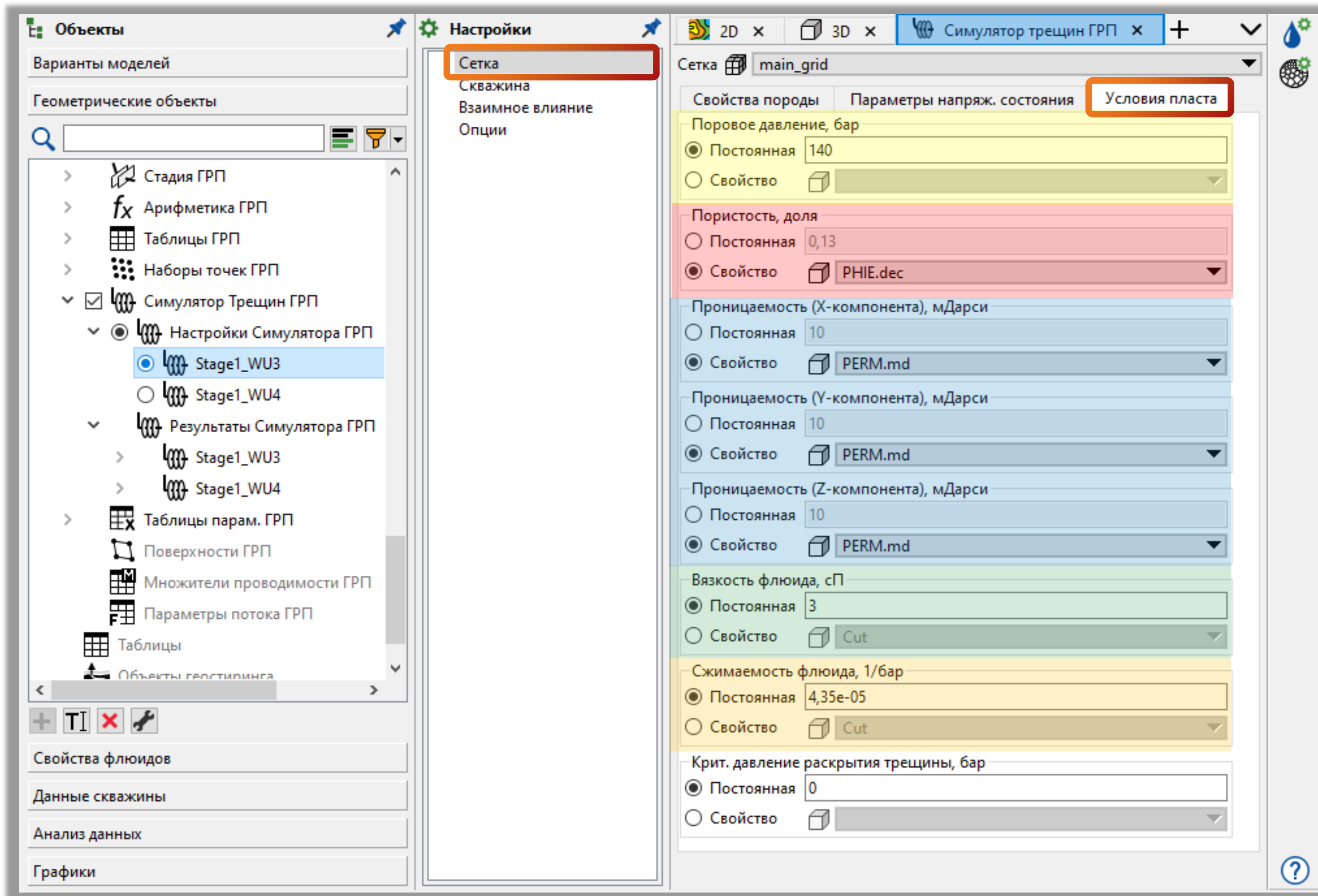
	X	Y	Z
<input checked="" type="radio"/> Постоянная	1	0	0
<input type="radio"/> Свойство	Cut	Cut	Cut
- Азимут мин. главного напряжения, град** (Azimuth of min. principal stress, degrees):
 - Постоянная: 0
 - Свойство: Cut
- Азимут макс. главного напряжения, град** (Azimuth of max. principal stress, degrees):
 - Постоянная: 0
 - Свойство: Cut

Главный вектор напряжения может быть определен как константа или импортирован из результатов геомеханических расчетов в симуляторе



Пластовые условия

- Свойства пласта, такие как **давление, пористость, проницаемость, вязкость флюида и сжимаемость** необходимы для моделирования утечки жидкости



$$C_{vc} = \frac{2C_v C_c}{C_v + \sqrt{C_v^2 + 4C_c^2}},$$
$$C_v = \sqrt{\frac{k_v \phi (p - P_r)}{2\mu_f}}, \quad C_c = \sqrt{\frac{k_r \phi s_r}{\pi \mu_r}} (p - P_r),$$

Дизайн скважины

- **Интервалы** определяют расположение трещин вдоль ствола скважины, диаметр перфорации и количество перфораций

Настройки

Имя ствола скважины: WU1_3

Положения трещин ГРП

Импорт конструкции скважины из проекта Дизайнера Скважин

Разрешенный интервал, MD 0 - 789.976

Интервалы	Параметры колонны НКТ	Точки измерений				
	MD начала (м)	MD конца (м)	Количество перфораций	Шаг перфораций (м)	Диаметр перф. (м)	Козфф. потерь давления
1	665	665	1	0	0,1	0,788
2	670	670	1	0	0,1	0,788
3	680	680	1	0	0,1	0,788
4	700	700	1	0	0,1	0,788
5	720	720	1	0	0,1	0,788
6	740	740	1	0	0,1	0,788
7	770	770	1	0	0,1	0,788

Начальный флюид скважины: Режим закачки жидкости ГРП: Кривая DFIT

Начало закачки: 06.07.2023 21:00:00

	Статус скважины	Описание	Пропант	Жидкость	Контроль зака...	Объём жидкос...	Дебит жидкост...	Устьевое ДАВ...	Концентрация ...
1	Открыть		Stage1 Proppant	Stage1 Liquid	Дебит	1,666667	300		20
2	Открыть		Stage1 Proppant	Stage1 Liquid	Дебит	2,361111	800		15
3	Открыть		Stage1 Proppant	Stage1 Liquid	Дебит	0,648148	700		20
4	Остановить		Stage1 Proppant	Stage1 Liquid	Дебит	0	200		20

Исп. массовую концентрацию для объема пропанта

Исп. объем закачки в мин

Исп. объем жидкости-носителя, дебит жидкости ГРП и концентрацию пропанта

Настройки временных шагов Симулятора ГРП

Всего отчетных шагов: 30

Мин. шаг, секунды: 1e-10

Параметры колонны НКТ определяет параметр трубы НКТ, используемой во время ГРП

Точки измерений устанавливает глубины вдоль траектории скважины, на которых будут выводиться результаты моделирования трещин (т. е. на устье скважины)

Интеграция с Дизайнером Скважин

- В проекте Дизайнера Скважин можно определить конструкцию скважины для ГРП (интервалы трещин, характеристики НКТ)
- Данная конструкция скважины может быть синхронизирована для использования в настройках Симулятора Трещин ГРП

The image displays two overlapping software windows. The top window, titled 'Симулятор трещин ГРП', shows settings for well WU1_3. It includes a table for fracture intervals and a checkbox for importing the well design from the Designer project.

Интервалы	Параметры колонны НКТ		Точки измерений			
	MD начала (м)	MD конца (м)	Количество перфораций	Шаг перфораций (м)	Диаметр перф. (м)	Коефф. потерь давления
1	665	665	1	0	0,1	0,788
2	670	670	1	0	0,1	0,788
3	680	680	1	0	0,1	0,788
4	700	700	1	0	0,1	0,788
5	720	720	1	0	0,1	0,788

The bottom window, titled 'Конструкция скважины', shows a 3D wellbore model with various components like tubing, casing, packers, and fracture stages. A table on the right lists these stages with their top and bottom MD values.

Имя	Кровля (MD), м	Подшва (MD), м
1 Hydraulic Fracture Stage 1	665	665
2 Hydraulic Fracture Stage 2	670	670
3 Hydraulic Fracture Stage 3	680	680
4 Hydraulic Fracture Stage 4	700	700
5 Hydraulic Fracture Stage 5	720	720
6 Hydraulic Fracture Stage 6	740	740
7 Hydraulic Fracture Stage 7	770	770

Жидкости ГРП и график закачки

- Режим закачки жидкости ГРП* содержит график ГРП

Начальный флюид скважины* определяет флюиды в стволе скважины перед проведением ГРП

Начало ГРП Расходы/давления и концентрация пропанта определяют закачиваемую жидкость

Стадия ГРП дает возможность определить множители проницаемости для каждой трещины

* - свойства жидкости и пропанта могут быть выбраны из встроенной библиотеки

Имя ствола скважины: WU1_3

Положения трещин ГРП

Импорт конструкции скважины из проекта Дизайнера Скважин

Разрешенный интервал, MD 0 - 789.976

Интервалы	Параметры колонны НКТ	Точки измерений				
MD начала (м)	MD конца (м)	Количество перфораций	Шаг перфораций (м)	Диаметр перф. (м)	Кэфф. потерь давления	
1	665	665	1	0	0,1	0,788
2	670	670	1	0	0,1	0,788
3	680	680	1	0	0,1	0,788
4	700	700	1	0	0,1	0,788
5	720	720	1	0	0,1	0,788
6	740	740	1	0	0,1	0,788
7	770	770	1	0	0,1	0,788

Начальный флюид скважины | Режим закачки жидкости ГРП | Кривая DFIT

Начало закачки: 06.07.2023 21:00:00

Статус скважины	Описание	Пропант	Жидкость	Контроль закачки	Объем жидкости-носителя (м3)	Стадия ГРП	Интерполяци.
1	Открыть	Stage1 Proppant	Stage1 Liquid	Дебит	1,666667	{...}	Нет
2	Открыть	Stage1 Proppant	Stage1 Liquid	Дебит	2,361111	{...}	Нет
3	Открыть	Stage1 Proppant	Stage1 Liquid	Дебит	0,648148	{...}	Нет
4	Остановить	Stage1 Proppant	Stage1 Liquid	Дебит	0	{...}	Нет

Текущий вариант: Stage1 Proppant

Диаметр, м: 0,0003

Плотность, кг/м3: 2000

Лаб. данные проводимости пропанта:

Ширина (1 фунт), м: 0,003048

Ширина А: 3e-06

Ширина В: 1e-07

Кмин, мДарси: 100

К0, мДарси: 6356,42

STrans, бар: 384,5896

Exp: 2,01329

Sharp: 2,03387

Текущий вариант: Stage1 Liquid

Плотность, кг/м3: 998

Вязкость:

Начальные свойства	Нулевая сдвиговая вязкость, сП	Показатель консистенции ж
Окончательное	3	фунт-сила* с"/н/фу

Время индукции, минуты: 30

Показатель степени времени: 0

Параметры утечки

Соотн. прониц. для зоны проникновения: 2

Опорное dP, бар: 80

Сжимаемость фильт. корки: 0,5

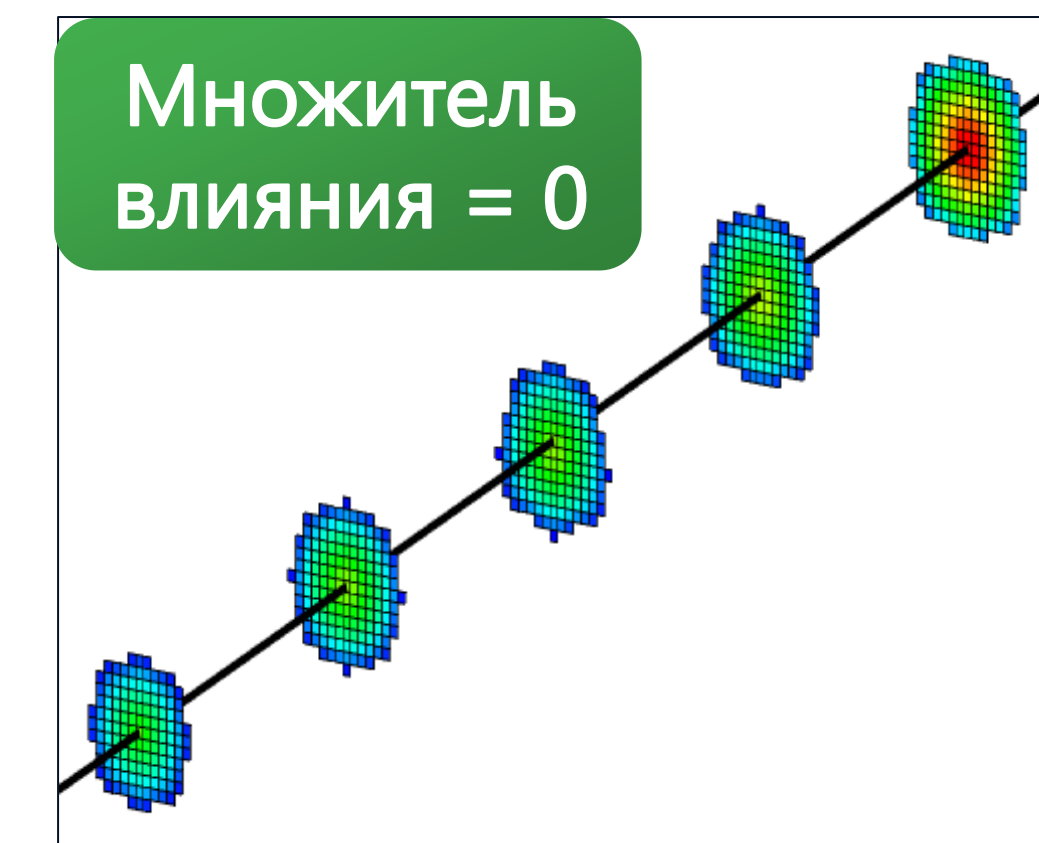
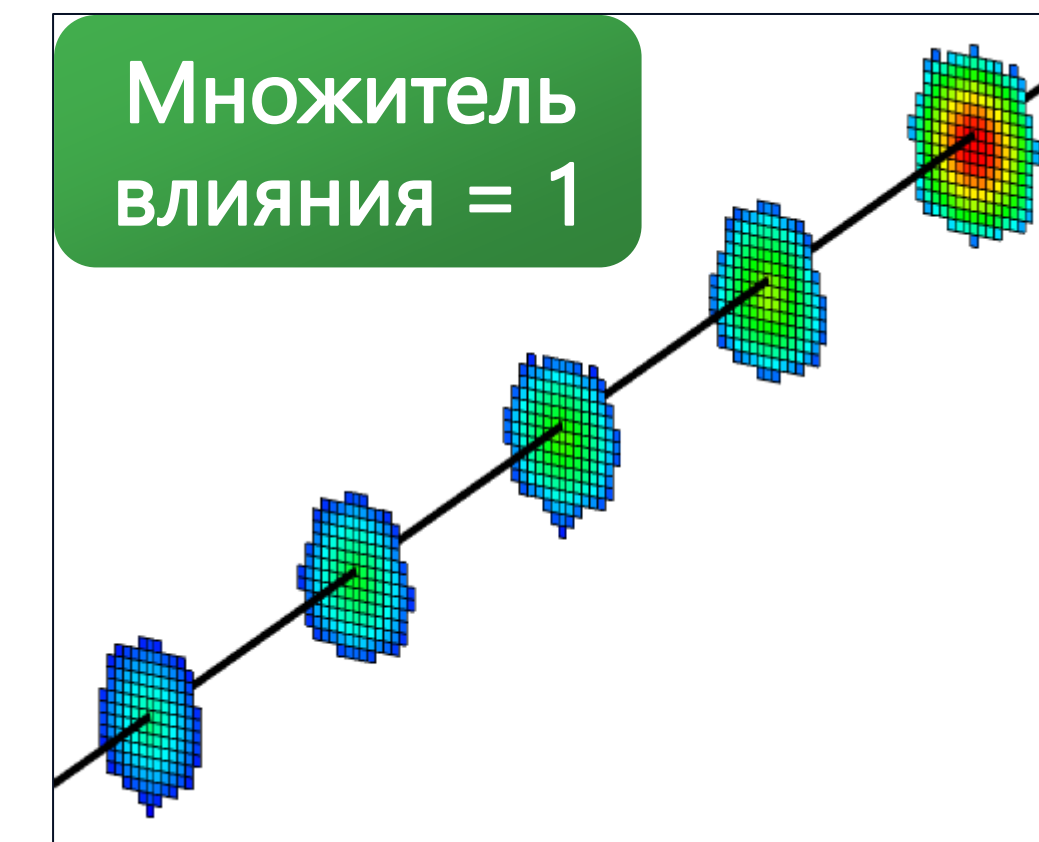
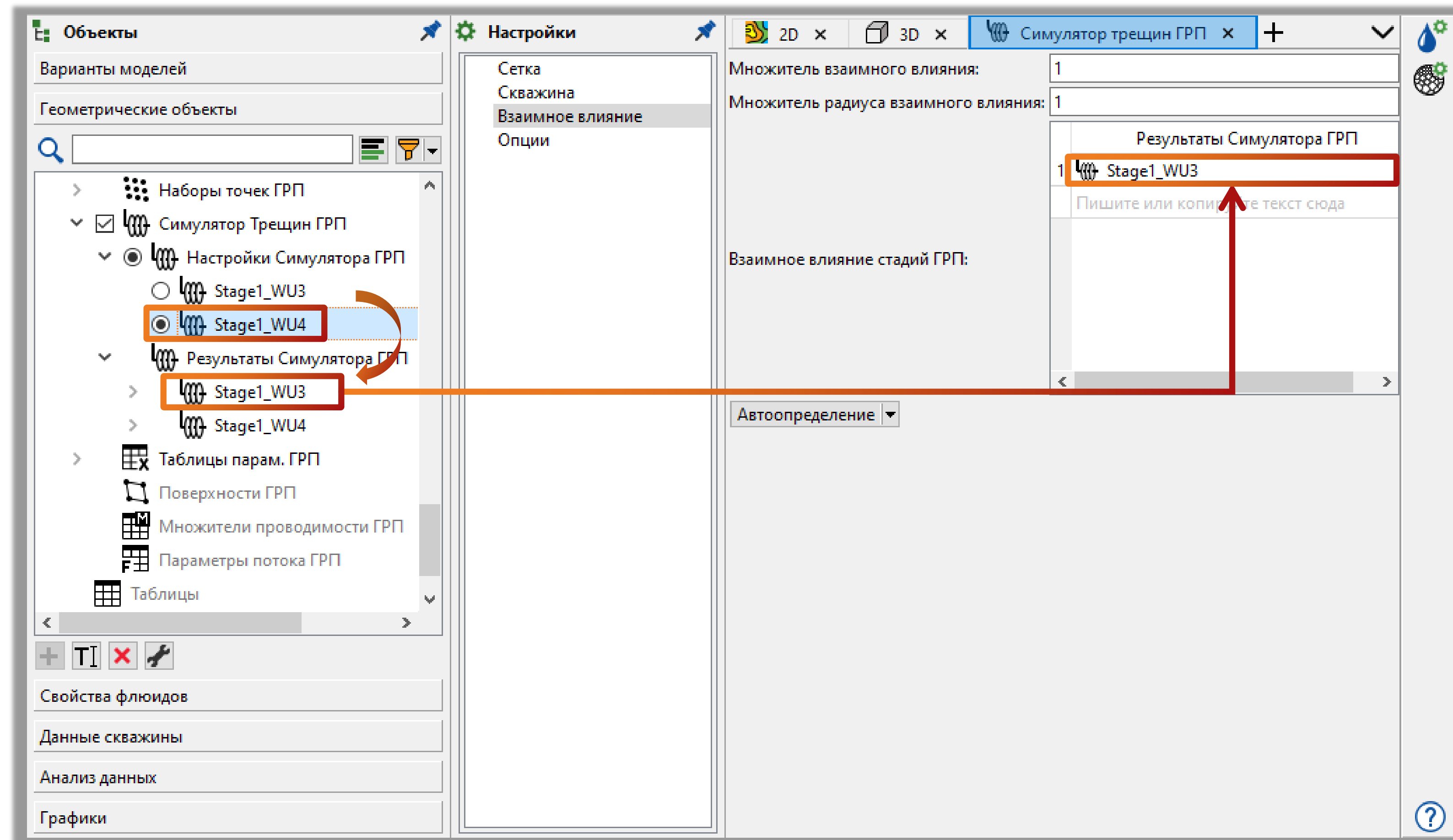
Кэффициент PDL, 1/бар: 0

Значения, зависящ. от проницаемости:

Проницаемость (мДарси)	Cd (м/с...)	Cw (м/сут.*0.5)	Переходный объем на
1 10	0	3,048e-05	0,0118872
2 1000	0	3,048e-05	0,0118872

Взаимное влияние

- Учет эффекта (изменения напряжения, давления и т. д.) ранее созданных трещин на текущей стадии разрушения



Опции расчета

- Вкладка Опции расчета содержит стандартный набор параметров

Свойства сетки Симулятора Трещин ГРП – количество блоков сетки по каждому направлению/размеру сетки

Количество отчетных шагов

Солвер и настройки Ньютона

Начало моделирования

● Лог Симулятора Трещин ГРП

Объекты
Варианты моделей
Геометрические объекты

- 3D-сетки
- Настройки аквиферов
- Трещины ГРП
 - Проекции ГРП
 - Плоскости ГРП
 - Шаблоны ГРП XYZ
 - Стадия ГРП
 - Арифметика ГРП
 - Таблицы ГРП
 - Наборы точек ГРП
- Симулятор Трещин ГРП
 - Настройки Симулятора ГРП
 - Stage1_WU3
 - Stage1_WU4
 - Результаты Симулятора ГРП
 - Stage1_WU3
 - Stage1_WU4
- Таблицы парам. ГРП
- Поверхности ГРП
- Множители проводимости ГРП
- Параметры потока ГРП
- Таблицы

Расчёты - Результаты Симулятора ГРП

Создать Результаты с помощью Симулятора ГРП

Результаты Симулятора ГРП: Stage1_WU4

Настройки Симулятора ГРП: Stage1_WU4

Один вариант настроек Симулятора Трещин ГРП запускается за один раз

Очистить | Добавить в Workflow | Применить | Закрыть

Расчёты - Результаты Симулятора ГРП

Создать Результаты с помощью таблицы Симулятора ГРП

	Настройки Симулятора ГРП	Результаты Симулятора ГРП
1	Stage1_WU3	Stage1_WU3
2	Stage1_WU4	Stage1_WU4

Несколько вариантов настроек Симулятора Трещин ГРП запускаются за один раз

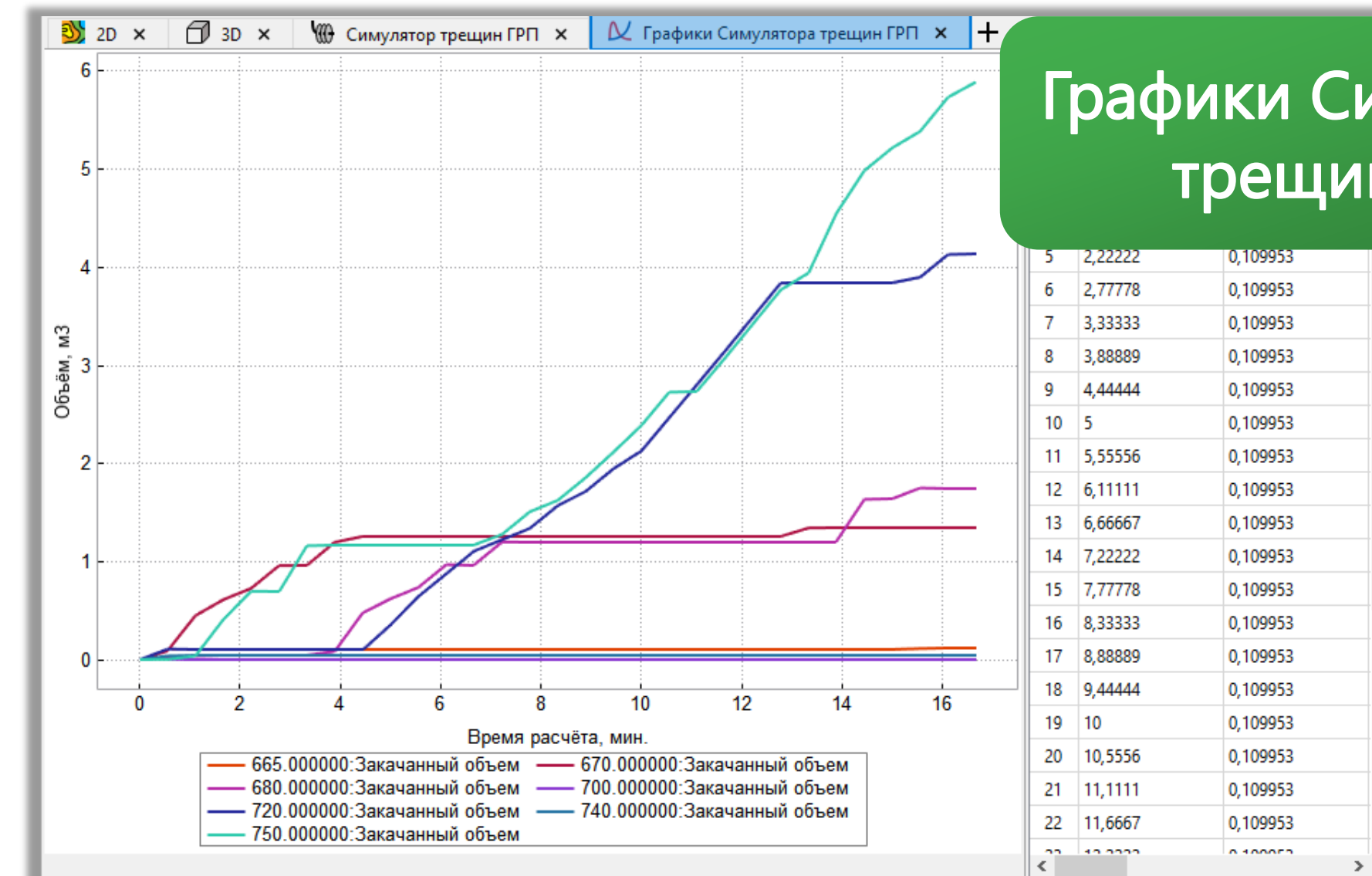
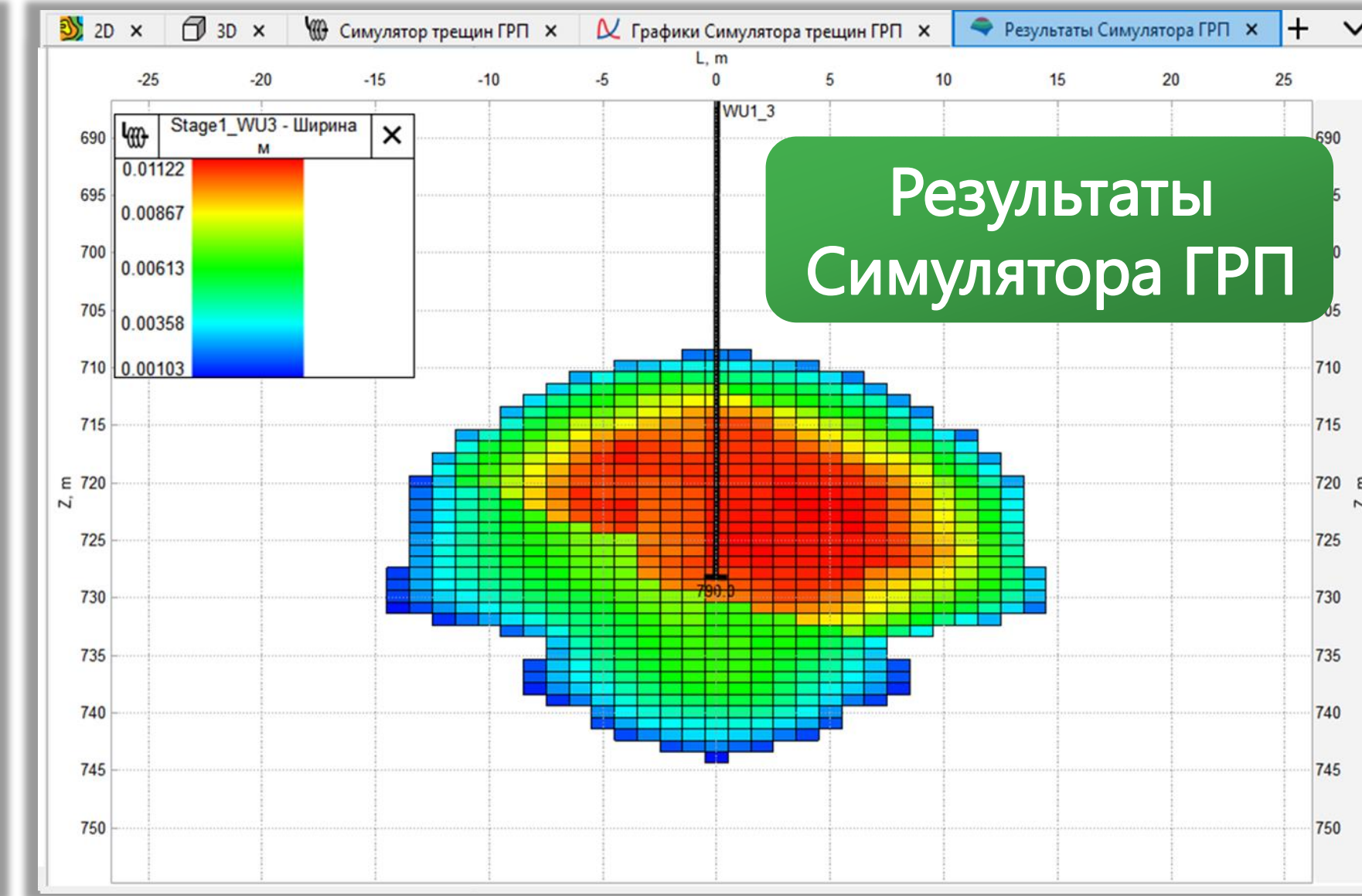
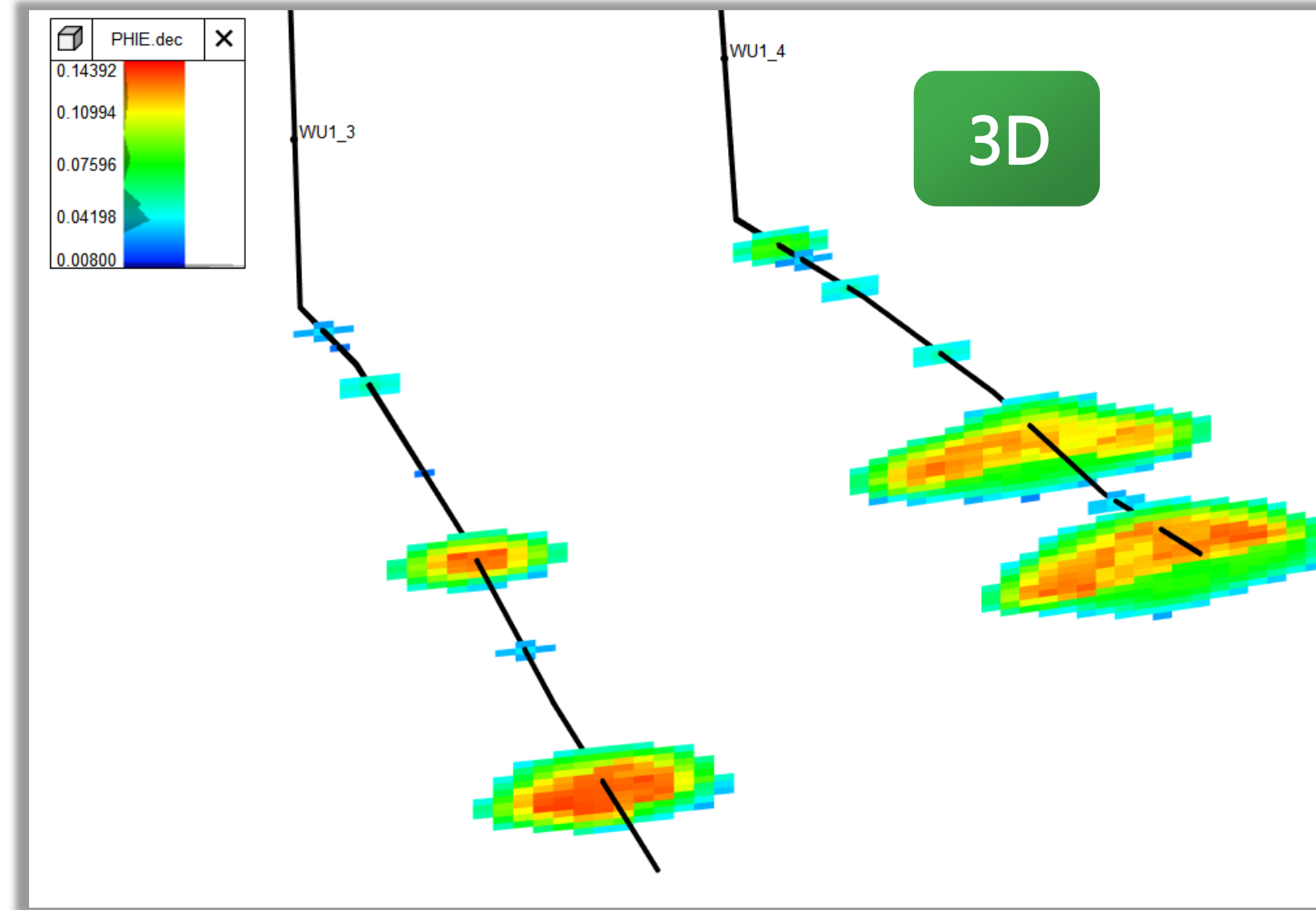
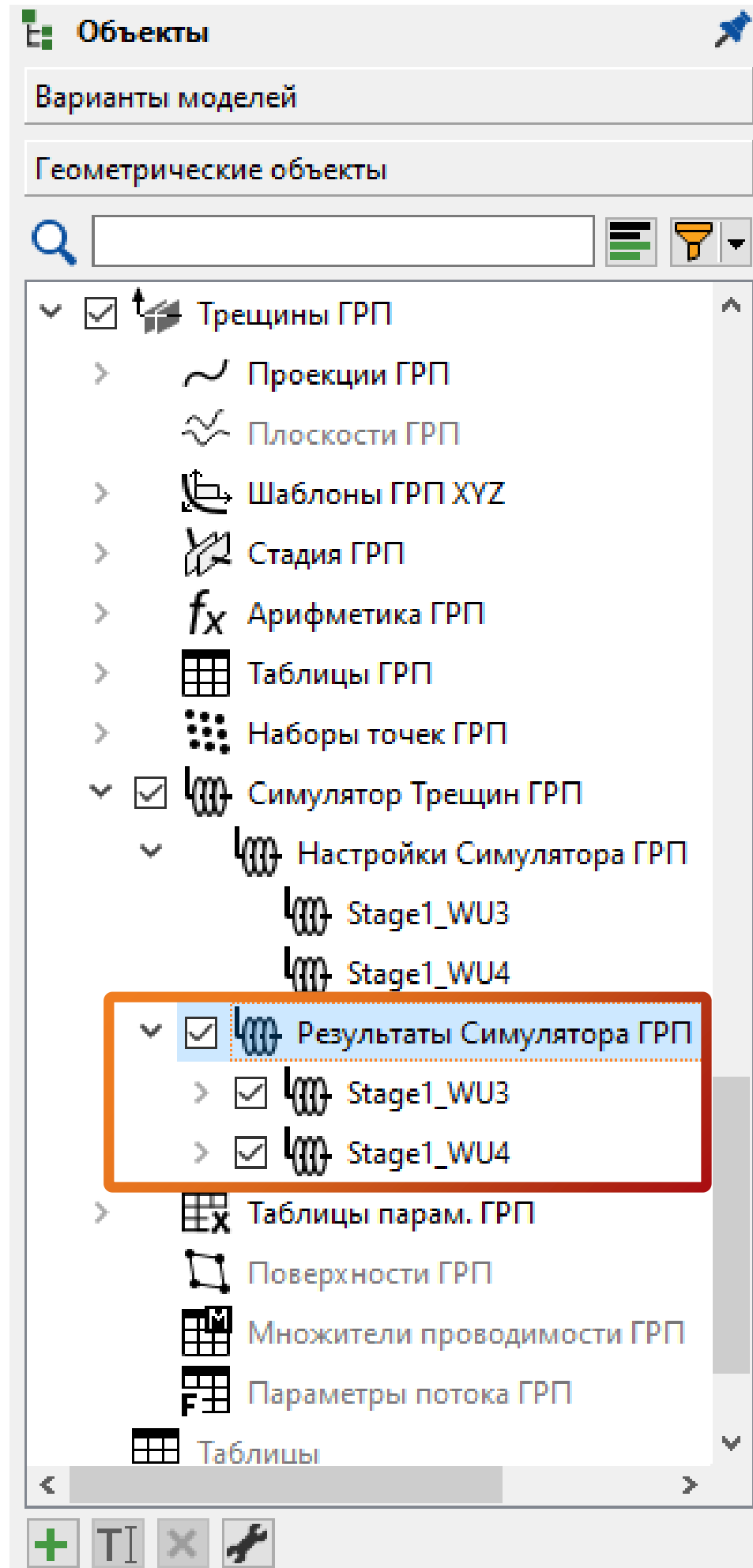
Очистить | Добавить в Workflow | Применить | Закрыть

```
Запуск: Расчет "Создать Результаты с помощью таблицы Симулятора ГРП". GUID: 98A4139F-3267-C7E7-0131-EDDADE8A6FD8.  
Stage1_WU3: Начат расчет Stage1_WU3 с использованием 12 потоков.  
Stage1_WU3: Расчет трещин для следующих MD: 665.000000, 670.000000, 680.000000, 700.000000, 720.000000, 740.000000, 770.000000  
Stage1_WU3: t: 0.000012 [ 1.0s] dt: 1.16e-05 NI: 2 LI: 6 |F|: 1.74e-02  
Stage1_WU3: Рестарт на: 0.000012  
Stage1_WU3: t: 0.000017 [ 1.5s] dt: 5.79e-06 NI: 1 LI: 3 |F|: 3.04e-02  
Stage1_WU3: t: 0.000029 [ 2.5s] dt: 1.16e-05 NI: 1 LI: 3 |F|: 3.75e-02  
Stage1_WU3: Рестарт на: 0.000029  
Stage1_WU3: t: 0.000035 [ 3.0s] dt: 5.79e-06 NI: 1 LI: 4 |F|: 3.46e-02  
Stage1_WU3: t: 0.000046 [ 4.0s] dt: 1.16e-05 NI: 1 LI: 3 |F|: 1.28e-02  
Stage1_WU3: Рестарт на: 0.000046  
Stage1_WU3: t: 0.000052 [ 4.5s] dt: 5.79e-06 NI: 1 LI: 3 |F|: 2.97e-02
```

Лог Симулятора Трещин ГРП

Визуализация результатов

- Результаты Симулятора Трещин ГРП могут быть визуализированы на следующих вкладках: **3D**, **Результаты Симулятора ГРП** и **Графики Симулятора трещин ГРП**



Использование результатов Симулятора Трещин ГРП для гидродинамического моделирования

- Параметры трещины (Проекции ГРП, Арифметика ГРП, Стадии ГРП), созданной Симулятором Трещин ГРП, могут быть использованы при задании ГРП для скважин

Создать данные по трещине ГРП с исп. таблицы Результаты Симулятора ГРП

Результаты Си...	Рез...	Директория результатов	Проводимость	Формула	Жидкость	Эффективная ...	Дата
1	Stage1_WU3	WU3	Эффективная проводимость		Жидкость ГРП		25.10.2020 0:0
2	Stage1_WU4	WU4	Эффективная проводимость		Жидкость ГРП		25.01.2021 0:0

Редактор Арифметики ГРП - "Stage1_WU3"

SRV ORIGIN, WELL, SRV BOUNDARY, NEAR-FRACTURE ZONE, FRACTURE ZONE, FRACTURE BOUNDARY, FRACTURE ORIGIN

Числовой режим Режим набора точек

Свойство сетки	Набор точек	Атрибут
1 COND	Stage1_WU3	Stage1_WU3

Арифметика трещины служит для изменения свойств пласта в зоне трещины и зоне влияния трещины.

Редактор Шаблона ГРП - "Stage1_WU3 (665.000000)"

Обязательные параметры

Имя плоскости ГРП / Имя проекции ГРП	Stage1_WU3 (665.000000)
Размер трещины в напр. противоположном Z (Up)	1,5
Размер трещины в напр. по Z (Down)	1,5
Ширина зоны трещины	0,001401
Проницаемость в зоне трещины (FZ)	0
Протяженность зоны SRV слева от точки привязки (Stimulated Width L)	0,0007005
Протяженность зоны SRV справа от точки привязки (Stimulated Width R)	0,0007005

Дополнительные параметры

Эффект. ширина зоны трещины	0,001401
Проницаемость в зоне влияния трещины (NFZ)	-1
Приращение 1 зоны влияния трещины (NFZ) (Stimulated Delta 1)	0
Приращение 2 зоны влияния трещины (NFZ) (Stimulated Delta 1)	0

Схематическая модель трещины ГРП (цилиндр) и зоны влияния трещины (эллипсоид)

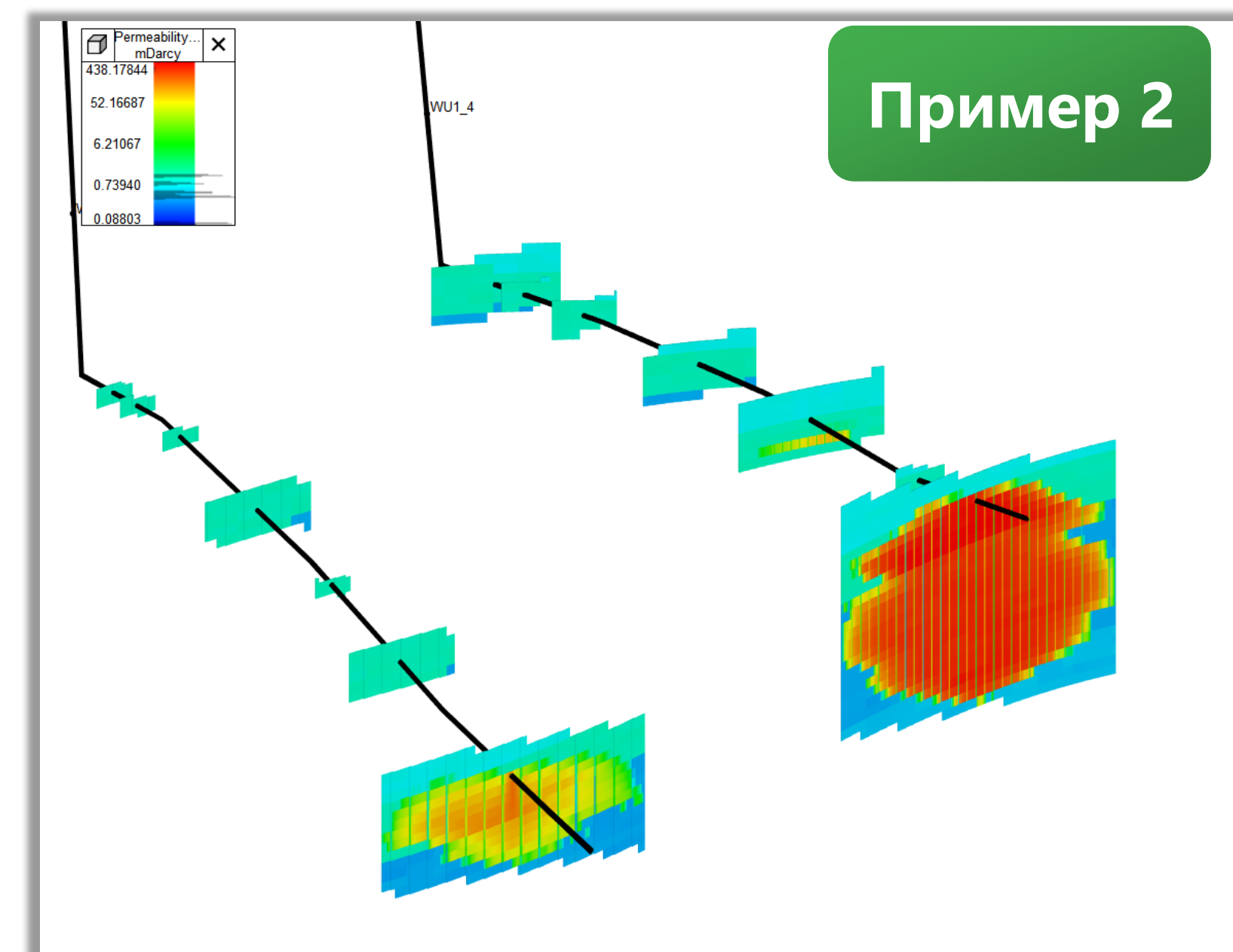
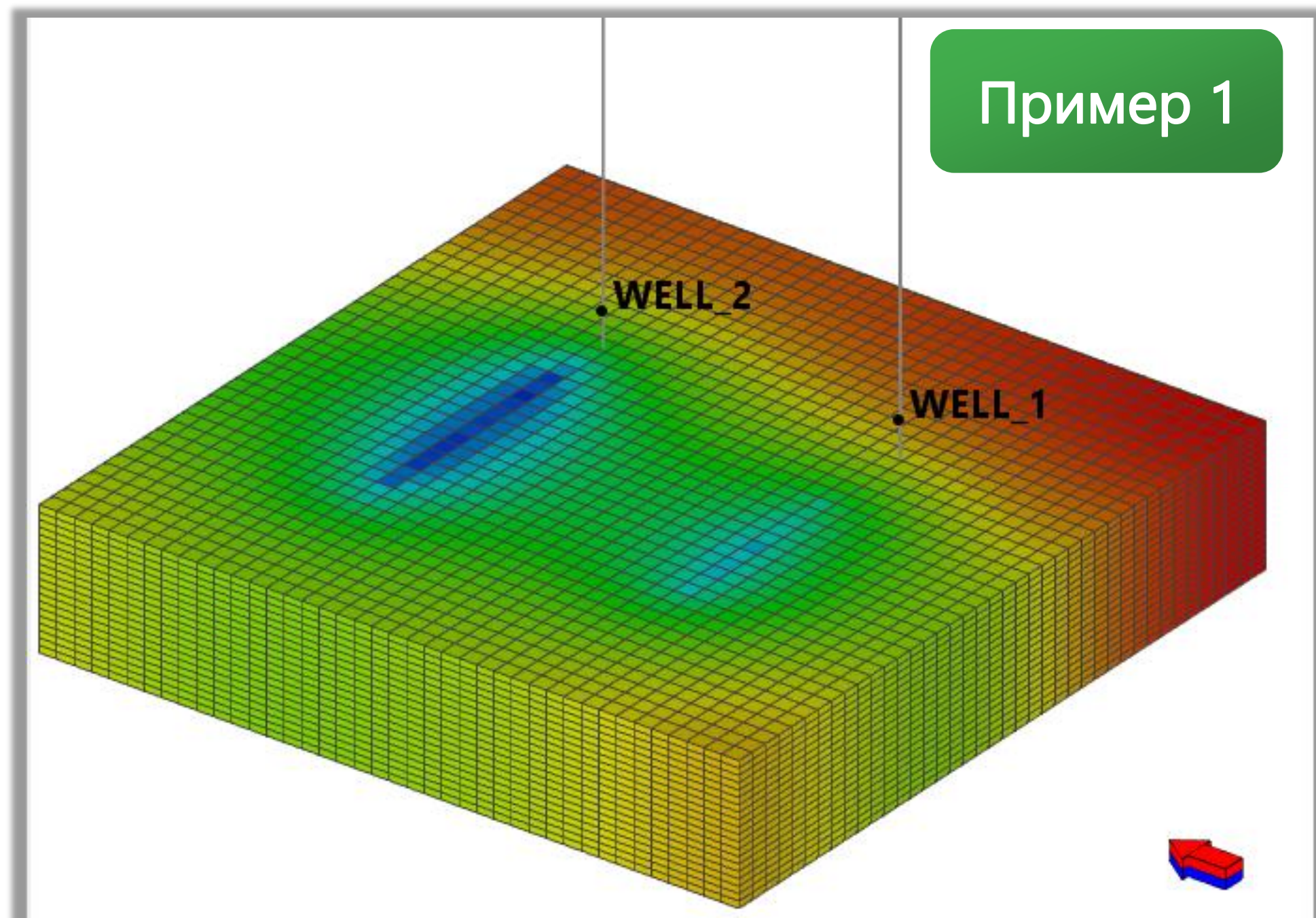
Активировать трещину

Имя стадии	Флаг	Арифметика ГРП	Объем пропанта, ст.м3
1 Stage1_WU3 (WU1_3)	Включить	Stage1_WU3	

Development Strategy

- Глобальные правила
- 25.09.2020
- 25.10.2020
- Well Production Limits (Forecast)
- Enable Fracture
- 25.01.2021

Результаты гидродинамического моделирования с помощью Симулятора Трещин ГРП

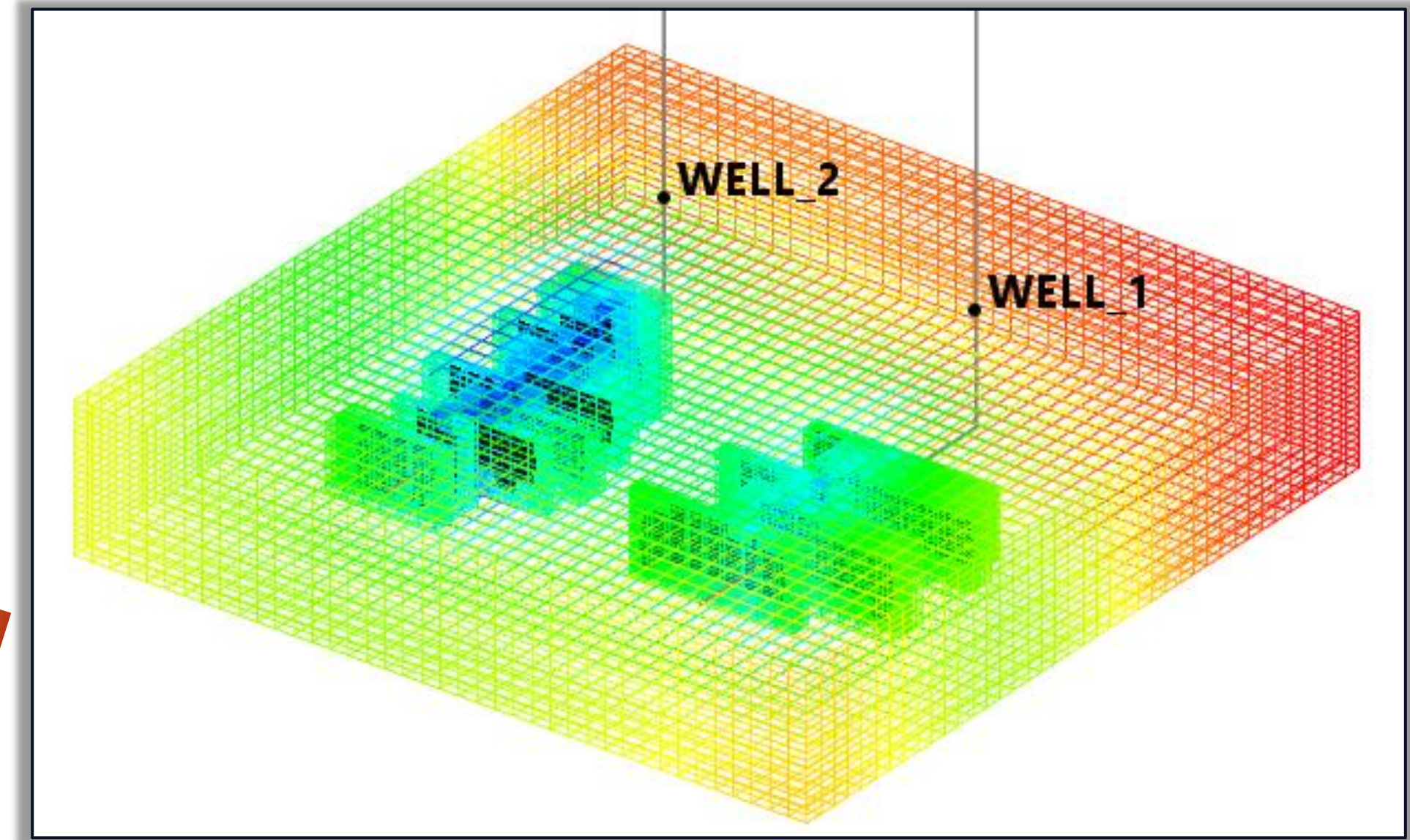


ТНавигатор автоматически создает локальные измельчения сетки (LGRs) в модели во время инициализации для всех трещин, созданных с помощью Симулятора Трещин ГРП

Интеграция Симулятора и Симулятора Трещин ГРП с помощью Workflow

Имя скрипта	Лицензия
<input type="checkbox"/> Automatic_Addition_of_Well_Rules	MD
<input type="checkbox"/> Create_Well_filters_based_on_perforation_data	GD, MD
<input type="checkbox"/> Find_Structures	GD
<input type="checkbox"/> Grid_Cells_Data	MD
<input type="checkbox"/> GRV_by_3D_grid	GD
<input type="checkbox"/> Import_and_sum_maps	MDorGD
<input checked="" type="checkbox"/> Integrated_Fracture_Simulator_Calculation	MD, FS
<input type="checkbox"/> OreLogging	GD
<input type="checkbox"/> Perforation_transmissibility_multipliers_as_variables	MD
<input type="checkbox"/> RP_EndPoints_Variables	MD
<input type="checkbox"/> Simple_Polymer	
<input type="checkbox"/> Statistics_tables_by	
<input type="checkbox"/> Table_stats_for_dyr	
<input type="checkbox"/> Well_closeness_de	

Скрипт сочетает в себе Симулятор, моделирующий поведение системы, с Симулятором Трещин ГРП, который фокусируется на механике разрушения и прогнозировании трещин



Workflow editor for 'Integrated_Fracture_Simulator_Calculation' showing a sequence of steps:

- 1. Import Model - please enable if required to import model
- 2. Задать локальные переменные
- 3. Prepare Dynamic Model
- 4. Инициализировать или пересчитать модель
- 5. Calculate Steps
- 6. Run Dynamic Model
- 7. Цикл for [STEP in STEPS]
- 8. Set Dynamic Data to Stage Settings
- 9. Create Results using Fracture Simulator
- 10. Create Fracture Data
- 11. Create Model Variant
- 12. Инициализировать или пересчитать модель
- 13. Run Dynamic Model

Local variables table:

Имя	Тип	Значение
1 DYNAMIC_MO...	STRING	"MODELGEOMECH_BC" # input ...
2 STAGES	PY_EXPR	["STAGE1", "STAGE2"] # input sta...

SimulFracture - это мощный скрипт, который позволяет параллельный расчет Симулятора и Симулятора Трещин ГРП. Интеграция этих двух симуляторов позволяет исследователям и инженерам более эффективно анализировать сложные системы и получать комплексную информацию

Хотите узнать больше?

Описание функционала, учебные курсы и видеоуроки доступны на сайте:

irmodel.ru

Остались вопросы?

Обратиться в техническую поддержку:

tnavigator@irmodel.ru

