Примеры использования встроенного интерпретатора языка Python

Дмитрий Клийменко

Rock Flow Dynamics

30 ноября 2018

Python в tNavigator

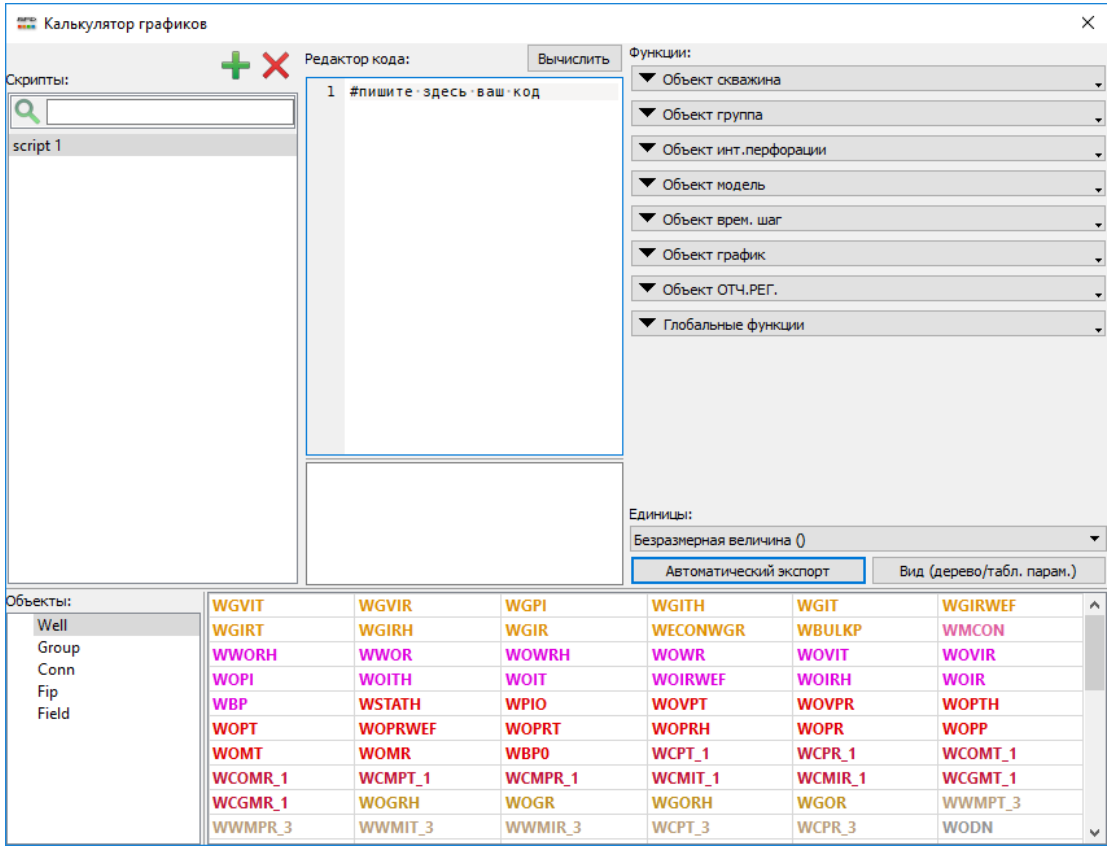
Python – высокоуровневый, интерпретируемый язык программирования, ориентированный на повышение производительности разработчика и читаемости кода

Python – язык программирования, который позволяет работать быстро и осуществлять интеграцию систем более эффективно

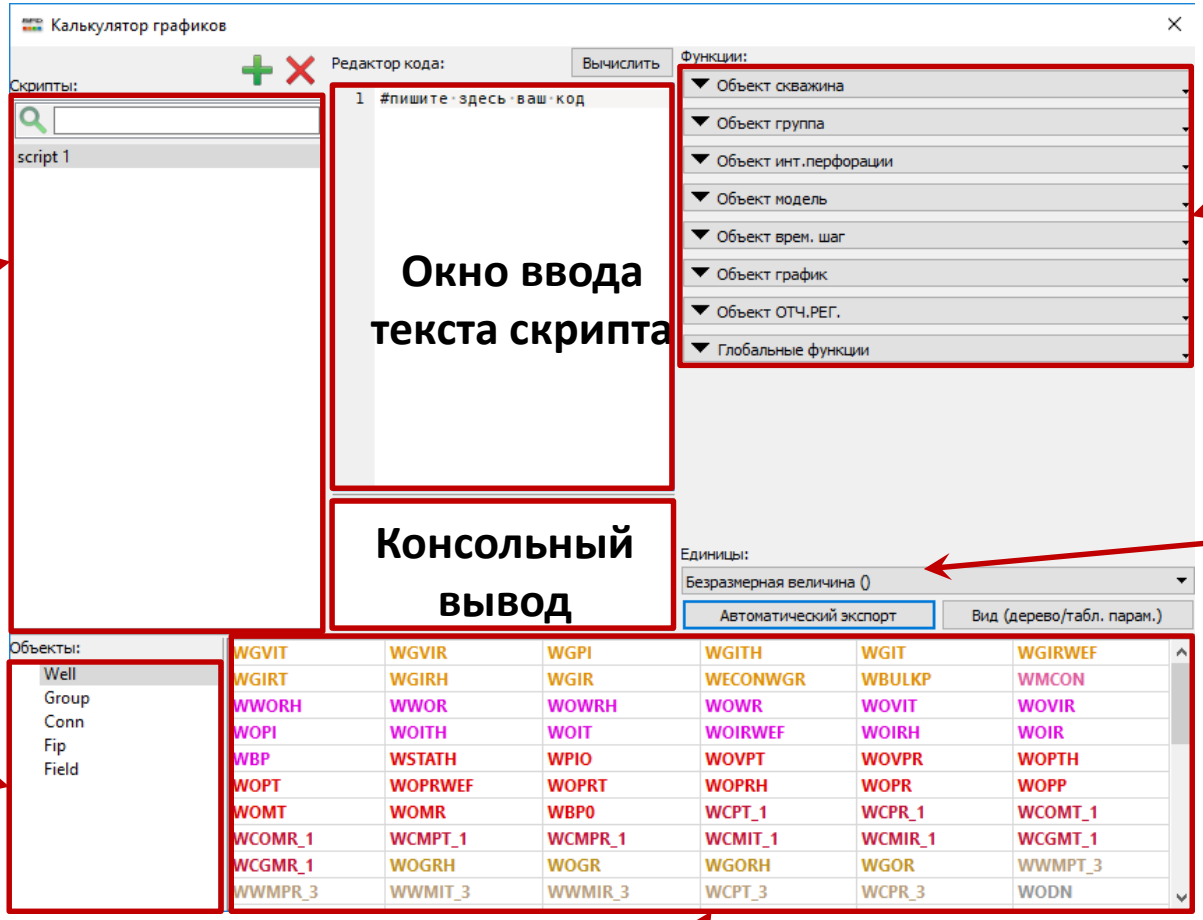
- **В tNavigator Python лежит в основе инструментов:**
  - **Калькулятор графиков**
  - **Workflow Дизайнера Геологии / Дизайнера Моделей**

Калькулятор графиков

- Предназначен для создания дополнительных графиков
- Дополнительный инструмент анализа моделей
- Синтаксис и логика языка Python
- Собственные функции для работы с элементами моделей
- Импорт библиотек
- Доступен в:
  - GUI симулятора
  - AHM
  - Дизайнер моделей



Окно калькулятора



Список скриптов

Окно ввода текста скрипта

Консольный вывод

Выбор функций

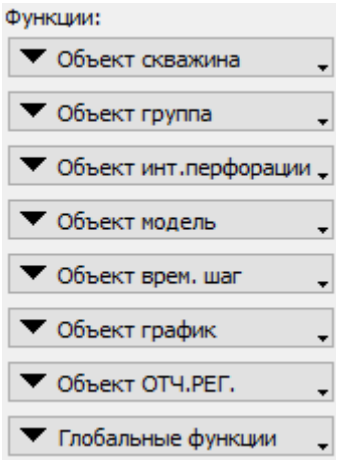
Список доступных единиц измерения

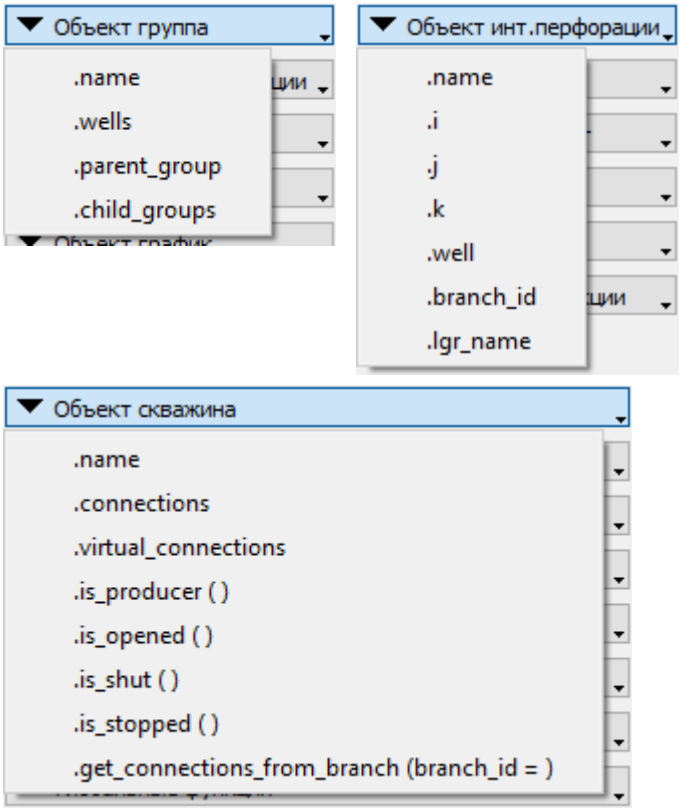
Выбор типа объекта для доступа к векторам

Список доступных векторов для выбранного типа объекта

Объекты в калькуляторе

- **Типы объектов**
  - **График**
  - **Модель**
  - **Временной шаг**
  - **Скважина**
  - **Группа**
  - **Ячейка перфорации**
  - **Отчетный регион**
  - **Месторождение**





- **Каждый объект имеет определенный набор свойств**
- **Функции для работы с объектами и получения доступа к свойствам объектов**

Доступ к векторам и графикам

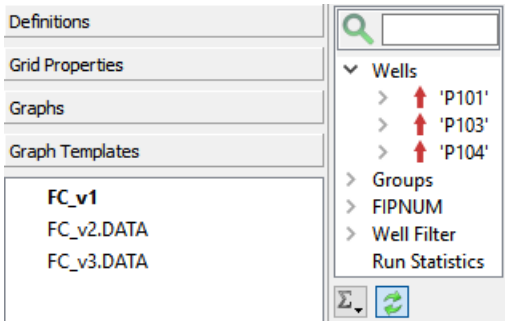
- Вектора - многомерные массивы
- Массивы индексируются объектами в зависимости от типа вектора:
  - Скважины – модель, временной шаг, скважина
  - Группа – модель, временной шаг, группа
  - Ячейка перфорации – модель, временной шаг, ячейка перфорации
  - Отчетный регион – модель, временной шаг, отчетный регион
  - Месторождение – модель, временной шаг

- Пример:
  wopr[m,w,t] – значение дебита нефти по скважине w в модели m в момент времени t.

- Порядок задания объектов не важен. wopr[m,w,t] аналогично wopr[w,m,t]

- Если не задать один из объектов, то получается соответствующее подмножество:
  wopr[m,w] возвращает график дебита нефти по скважине w в модели m по всем временным шагам.

Доступ к векторам и графикам



Модель	Скважина	Отчетные шаги					
		01.08.2018	01.01.2019	01.01.2020	01.01.2021	01.01.2022	01.01.2023
FC_v1	P101	0.00	3638.63	9342.79	13009.09	15436.22	17075.52
	P103	0.00	2308.29	5854.74	8060.11	9494.40	10450.70
	P104	0.00	486.28	1088.51	1410.33	1609.24	1740.39
FC_v2.DATA	P101	0.00	3304.40	8312.86	11310.21	13161.12	14328.44
	P103	0.00	2635.50	6586.91	8918.24	10347.68	11243.56
	P104	0.00	1359.49	3276.61	4359.74	5008.73	5411.30
FC_v3.DATA	P101	0.00	3015.50	7588.70	10320.34	12007.80	13073.29
	P103	0.00	1831.86	4468.16	5984.49	6903.13	7476.74
	P104	0.00	2453.47	6047.06	8185.98	9505.09	10336.08

Выражение:

m=FC_v2.DATA, w=P104, t=01.01.2023
wopt[m,w,t]

Результат:

5411.30

---

m=FC_v1, w=P101
wopt[m,w]

01.08.2018	01.01.2019	01.01.2020	01.01.2021	01.01.2022	01.01.2023
0.00	3638.63	9342.79	13009.09	15436.22	17075.52

---

w=P103
wopt[w]

Модель	Отчетные шаги					
	01.08.2018	01.01.2019	01.01.2020	01.01.2021	01.01.2022	01.01.2023
FC_v1	0.00	2308.29	5854.74	8060.11	9494.40	10450.70
FC_v2	0.00	2635.50	6586.91	8918.24	10347.68	11243.56
FC_v3	0.00	1831.86	4468.16	5984.49	6903.13	7476.74

Примеры использования

Rock Flow Dynamics

Пример 1

Модель многопластовой залежи с совместным фондом скважин.
Необходимо разделить добычу по пластам и вывести соответствующие графики.

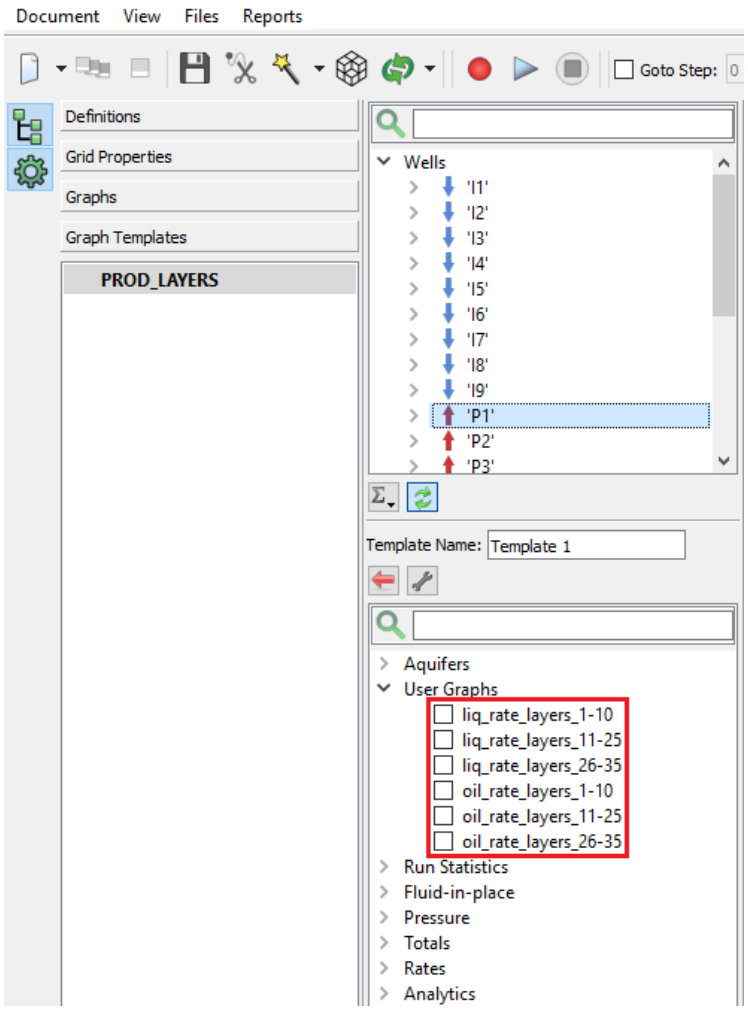
В модели 3 пласта. Диапазоны слоев:

- **1 пласт – [1;10]**
- **2 пласт – [11;25]**
- **3 пласт – [26;35]**

Необходимо создать графики добычи нефти и жидкости по каждому

Пример 1

```
#Задание диапазона слоев
zones=[10,25,35]

#Цикл по всем зонам
for i in range(len(zones)):

#Создание графиков
layer_liq_rate=graph (type = 'well', default_value =0)
layer_oil_rate=graph (type = 'well', default_value =0)

 if i==0:
  k1=1
  k2=zones[i]
 else:
  k1=zones[i-1]+1
  k2=zones[i]

#Расчет векторов
 for w in get_all_wells ( ):
  for c in w.connections:
   if (c.k>=k1) and (c.k<=k2):
    layer_liq_rate[w]+=clpr[c]
    layer_oil_rate[w]+=copr[c]

#Экспорт векторов
 export(layer_liq_rate,name='liq_rate_layers_'+str(k1)+'-'+str(k2),units="liquid_surface_rate")
 export(layer_oil_rate,name='oil_rate_layers_'+str(k1)+'-'+str(k2),units="liquid_surface_rate")
```



Пример 2

Необходимо получить список скважин, которые находятся в работе на заданный момент времени.

```
c1=0
c2=0
#Выбор временного шага
for t in get_all_timesteps ( ):
  if t.name=="01.07.2011":
    c1=1
#Цикл по всем моделям и скважинам
    for m in get_all_models ( ):
      for w in get_all_wells ( ):
#Проверка статуса. Если скважина доб. или нагн.
        if wstat[m,w,t]==1 or wstat[m,w,t]==2:
#Печать имени скважины
          print(w.name)
          c2+=1
#Проверка заданной даты
if c1==0:
  print("No such date in the model")
#Проверка наличия скважин на заданную дату
elif c2==0:
  print("No open wells on date "+str(t.name))
```

Редактор кода: Вычислить

```
c1=0
c2=0
for t in get_all_timesteps ( ):
  if t.name=="01.07.2011":
    c1=1
    for m in get_all_models ( ):
      for w in get_all_wells ( ):
        if wstat[m,w,t]==1 or wstat[m,w,t]==2:
          print(w.name)
          c2+=1
if c1==0:
  print("No such date in the model")
elif c2==0:
  print("No open wells on date "+str(t.name))
```

```
P1
P2
I1
P3
P4
I2

Complete!
```

Пример 3

Модель медленно считается. Есть подозрения, что проблемы со скоростью счета происходят из-за слишком высоких значений продуктивности скважин. В SCHEDULE последовательно заданы ключевые слова WPIMULT. При последовательном задании множители перемножаются, что может привести к слишком высоким значениям множителя сообщаемости и, как следствие, продуктивности. Требуется определить ячейки перфорации, по которым наблюдаются очень высокие значения сообщаемости

Пример 3

```
max_ctfac=graph (type = 'well', default_value = 0)
for m in get_all_models ():
  for w in get_all_wells ():
    for c in w.connections:
      max_conn_f = 0
      for t in get_all_timesteps ():
        max_conn_f = max (max_conn_f, float (ctfac[c,m,t]))
      if max_conn_f > 50000:
        max_ctfac[c.well, m]+=ctfac[c, m]
        print(w.name+" "+c.name+" "+str(max_conn_f))
export (max_ctfac, name = 'SUM_ctfac', units = "no")
```

Редактор кода: Вычислить

```
max_ctfac=graph (type = 'well', default_value = 0)
for m in get_all_models ():
  for w in get_all_wells ():
    for c in w.connections:
      max_conn_f = 0
      for t in get_all_timesteps ():
        max_conn_f = max (max_conn_f, float (ctfac[c,m,t]))
      if max_conn_f > 50000:
        max_ctfac[c.well, m]+=ctfac[c, m]
        print(w.name+" "+c.name+" "+str(max_conn_f))
export (max_ctfac, name = 'SUM_ctfac', units = "")
```

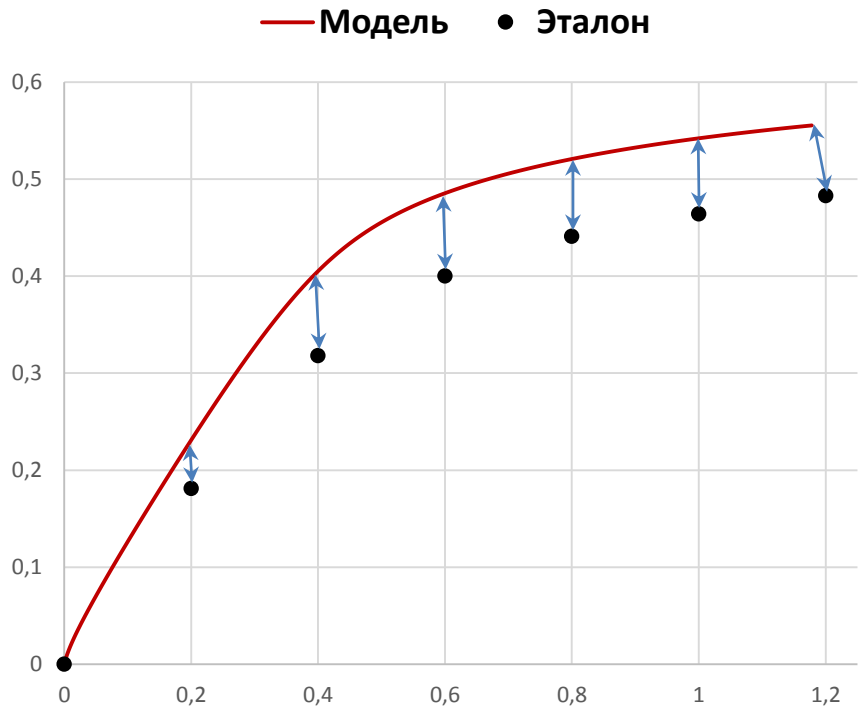
```
S076 [410,348, 26] 1477328.5725251073
S097 [381,439, 20] 100661.36609365164
S097 [381,439, 21] 76257.1548016174
S209 [387,139, 16] 81161.65809943544
S209 [387,140, 16] 82629.14173674188
S209 [387,141, 16] 81502.18135830745
S209 [386,141, 16] 84929.75628947215
S209 [386,142, 16] 85393.77488961074
S209 [386,143, 16] 83162.73238960584
S209 [386,144, 16] 86587.9883106515
S209 [385,144, 16] 81785.28966595676
```

Пример 4

Необходимо настроить модель по результатам испытаний разведочных скважин и характеристике вытеснения объекта-аналога.

Для настройки модели на характеристику вытеснения ЦФ должна рассчитываться как сумма квадратов отклонений характеристики «КИН-прокачка» от заданной по объекту-аналогу.

Характеристика задана в виде таблицы. Отклонения нужно рассчитывать между ближайшими точками (КИН, прокачка) объекта аналога и (КИН, прокачка) модели, т.к. значения прокачки в таблице могут не совпадать с расчетными.



Расчет ЦФ

```
#Задаемся значением запасов и порового объема
oip = 3371236
pv = 5425100
#Расчет векторов КИН и прокачка
kin = FOPT / oip
prok = FWIT / pv

#Имеющуюся эталонную таблицу необходимо представить в виде двух массивов
ethalon_kin = [0.181, 0.318, 0.4, 0.441, 0.464, 0.483]
ethalon_prok = [0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2]

#Создается график objective, который по сути и будет являться итоговой целевой функцией
objective = graph (type = 'field', default_value = 0)

#Цикл по всем моделям проекта
for m in get_all_models ():
#Цикл по всем элементам эталонной характеристики
  for i in range (len (ethalon_kin)):
    et_kin = ethalon_kin[i]
    et_prok = ethalon_prok[i]
    min_diff = None
    min_t = None
#Цикл по всем временным шагам. Производится поиск ближайшей точки к i-ой эталонной по значению прокачки
    for t in get_all_timesteps ():
      curr_prok = float (prok[m, t])
      curr_diff = abs (curr_prok - et_prok)
      if min_diff == None or curr_diff < min_diff:
        min_diff = curr_diff
        min_t = t
#Добавляем квадрат отклонения для текущей точки к значению целевой функции
    objective[m] += (float (kin[m, min_t]) - et_kin) ** 2 + (float (prok[m, min_t]) - et_prok) ** 2

#Для первого шага задаем значение 0
first_step=[*get_all_timesteps ()][0]
objective[first_step] = 0
#Экспорт графика
export (objective, name = 'Objective function', units = "no")
```

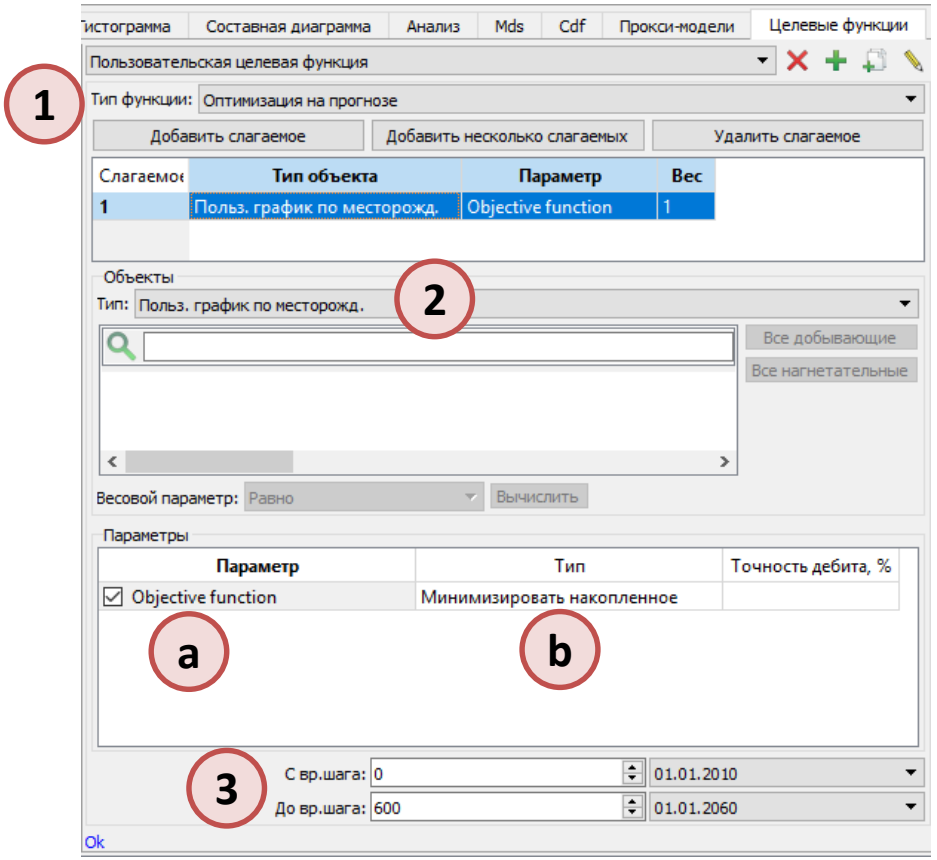
Адаптация модели

- **Задать целевую функцию:**
  1. **Тип функции – оптимизация на прогнозе**
  2. **Объект – пользовательский график**
     a. **Параметр – созданный график Objective function**
     b. **Тип – минимизация**
  3. **Шаги – с нулевого по последний**

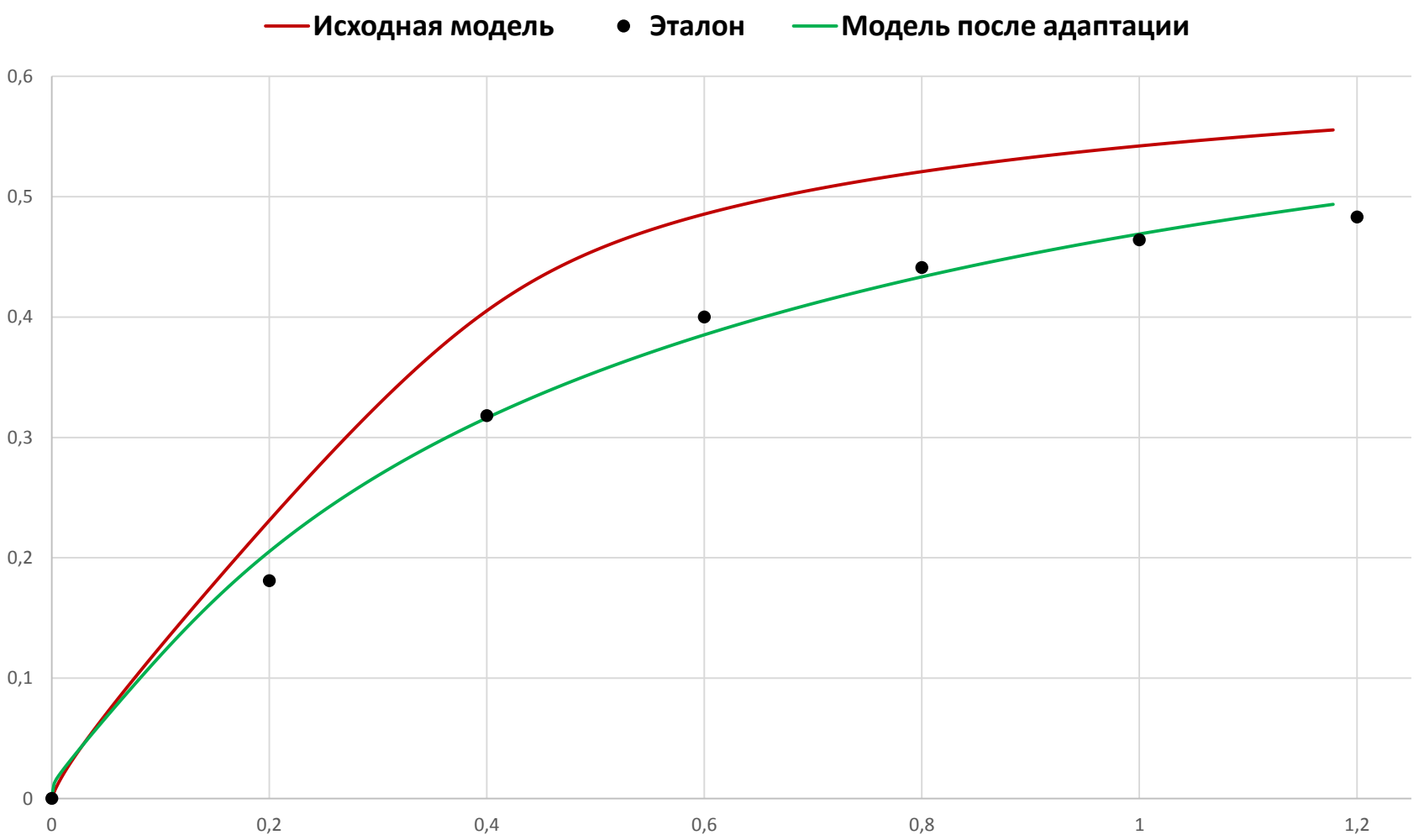
- **Создать эксперимент**

Дифференциальная эволюция

- **Запустить расчеты**



Результат


Исходная модель
Эталон
Модель после адаптации
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
1,2

Пример 5

Необходимо средствами модуля АНМ настроить модель на трассерные исследования

- **Исходные данные:**
  - **Добыча трассера по скважинам на конкретную дату**

- **Пример модели:**
  - **11x11x10 ячеек**
  - **4 добывающих скважины**
  - **1 нагнетательная скважина**
  - **Для настройки на добычу трассера изменяется множитель на проницаемость в точках скважины (для межскважинного пространства множитель интерполируется)**
  - **Для работы с вектором добычи трассера создана UDQ:**

```
UDQ
DEFINE WUTRTOT WTPTTR1 /
/
```

Задание модификаторов

Определение модификаторов: множитель на проницаемость по скважинам

```
DEFINES
'PERMMULT_P1'    1        0.1      10       /
'PERMMULT_P2'    1        0.1      10       /
'PERMMULT_P3'    1        0.1      10       /
'PERMMULT_P4'    1        0.1      10       /
/

...      ...      ...
```

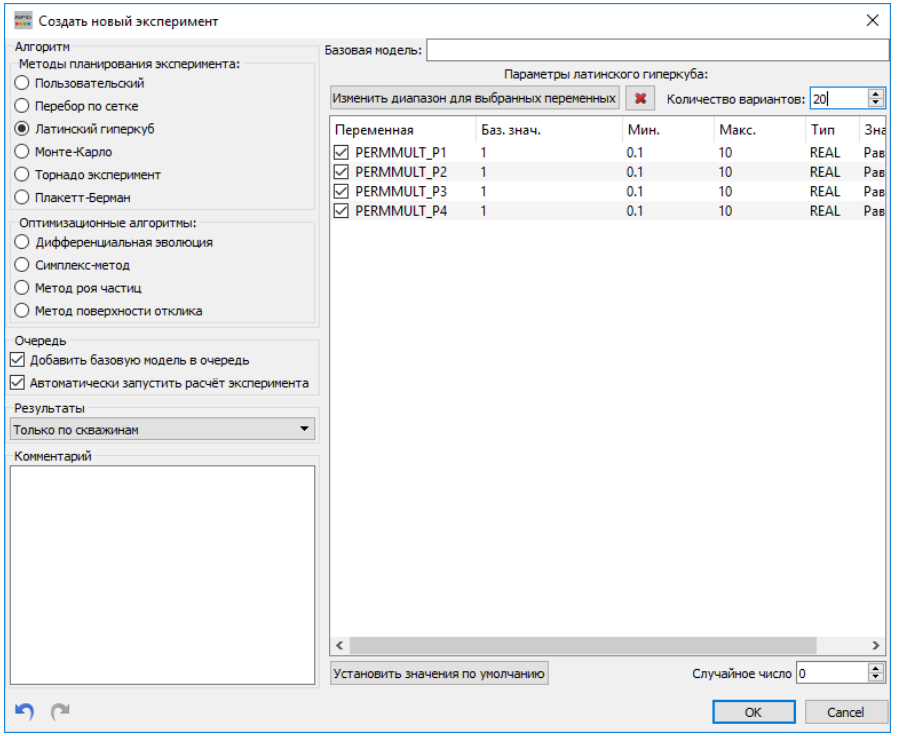
Использование модификаторов в арифметике

```
ARITHMETIC
--Создание куба множителей путем интерполяции
ARRMPERMSRC=-999.25
ARRMPERMSRC=IF(BLOCK(50,50)==1,@PERMMULT_P1@,ARRMPERMSRC)    --WELL P1
ARRMPERMSRC=IF(BLOCK(1050,50)==1,@PERMMULT_P2@,ARRMPERMSRC) --WELL P2
ARRMPERMSRC=IF(BLOCK(1050,1050)==1,@PERMMULT_P3@,ARRMPERMSRC)        --WELL P3
ARRMPERMSRC=IF(BLOCK(50,1050)==1,@PERMMULT_P4@,ARRMPERMSRC) --WELL P4
ARRPERMMULT=interpolate_ml_idw(ARRMPERMSRC,-999.25,1,3)
--Модификация куба проницаемости
PERMX=PERMX*ARRPERMMULT
PERMY=PERMX
PERMZ=PERMX/10
/
```

Создание проекта

- **Открыть файл модели и запустить эксперимент Латинский Гиперкуб**
  - 20 расчетов
  - Диапазон множителей на проницаемость: [0.1;10]

- **Добавить замеры добычи трассера в проект:**
  - Используется калькулятор графиков (см. следующий слайд)
  - Создается график накопленной добычи трассера – расчетные значения + исторические точки
  - Создается целевая функция для адаптации модели



Дата замера	Номер скв.	Добыча трассера, м^3
01.01.2018	P1	78
	P2	193
	P3	812
	P4	1020

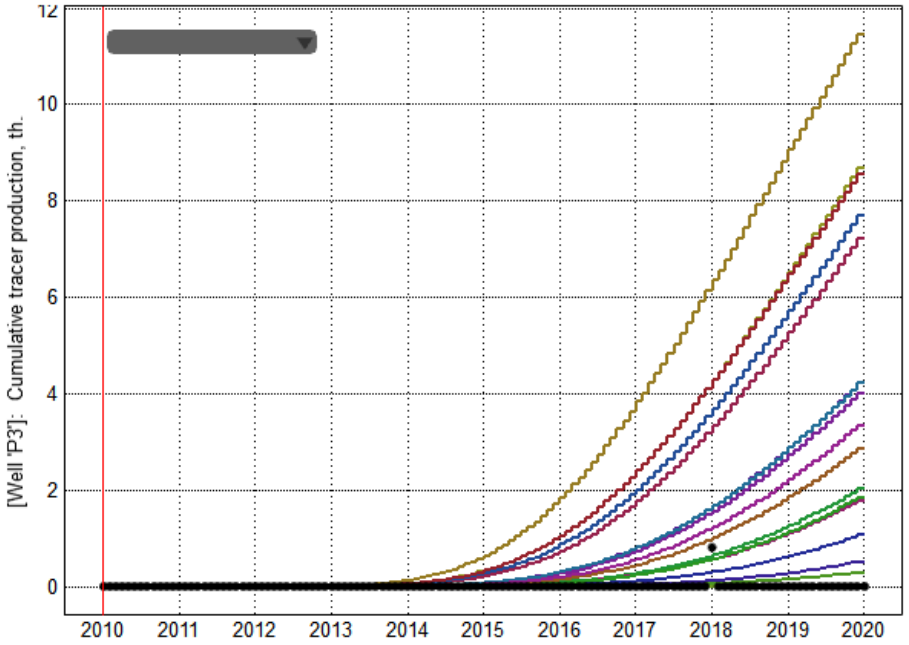
Создание проекта

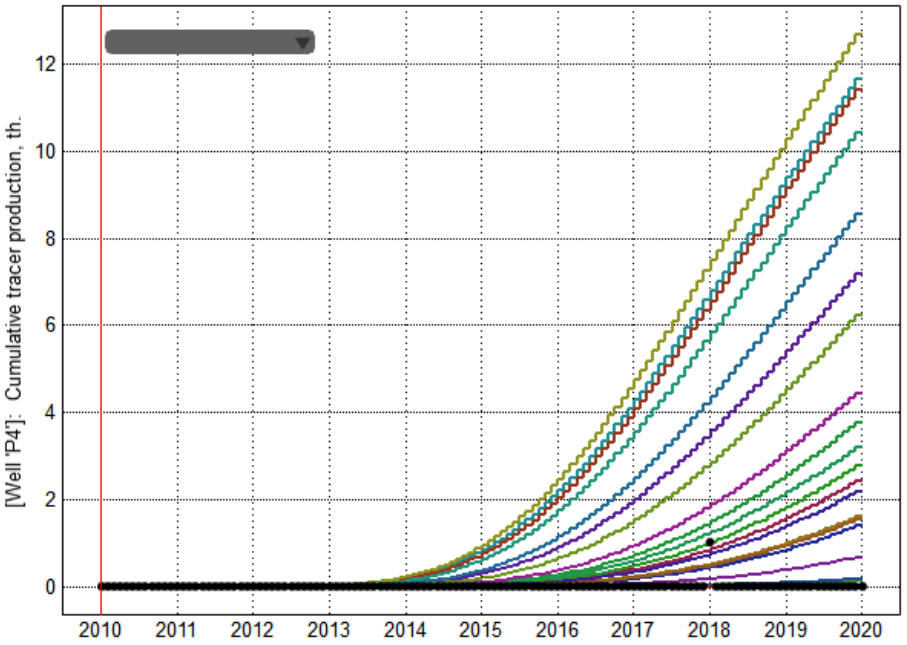
- **Открыть калькулятор графиков и добавить скрипт**

```
import copy
import math
#Замеры добычи трассера вводятся в виде двух массивов одинаковой длины:
#wnam – имя скважины, tracer_totals – накопленная добыча
wnam=['P1','P2','P3','P4']
tracer_totals=[78,193,812,1020]
objective=graph (type = 'field', default_value = 0)
#Определяется историческая модель
history_model = [*get_all_models ()][0]
#Создание вектора TR1TOT – накопленная добыча трассера, где wutrtot - UDQ
TR1TOT=copy.copy (wutrtot)
for m in get_all_models ( ):
 for t in get_all_timesteps ( ):
#На дату 01.01.2018
  if  t.name == "01.01.2018":
#Цикл по всем фактическим замерам
   for i in range (len (wnam)):
    w=get_well_by_name(wnam[i])
#Расчет целевой функции
    objective[m]+=100*math.fabs(tracer_totals[i]-wutrtot[t,w,m])/tracer_totals[i]
#Добавление исторических точек на график TR1TOT
    TR1TOT[history_model,w,t]=tracer_totals[i]

first_step=[*get_all_timesteps ()][0]
objective[first_step] = 0

#Экспорт целевой функции и графика накопленной добычи трассера
export (objective, name = 'OBJFUNC', units = 'no')
export (TR1TOT, name = 'Cumulative tracer production', units = 'liquid_surface_rate')
```

Создание проекта

- **Графики накопленной добычи трассера с историей:**
  - **Расчеты «покрывают» исторические точки**
  - **Можно переходить к автоматической адаптации**





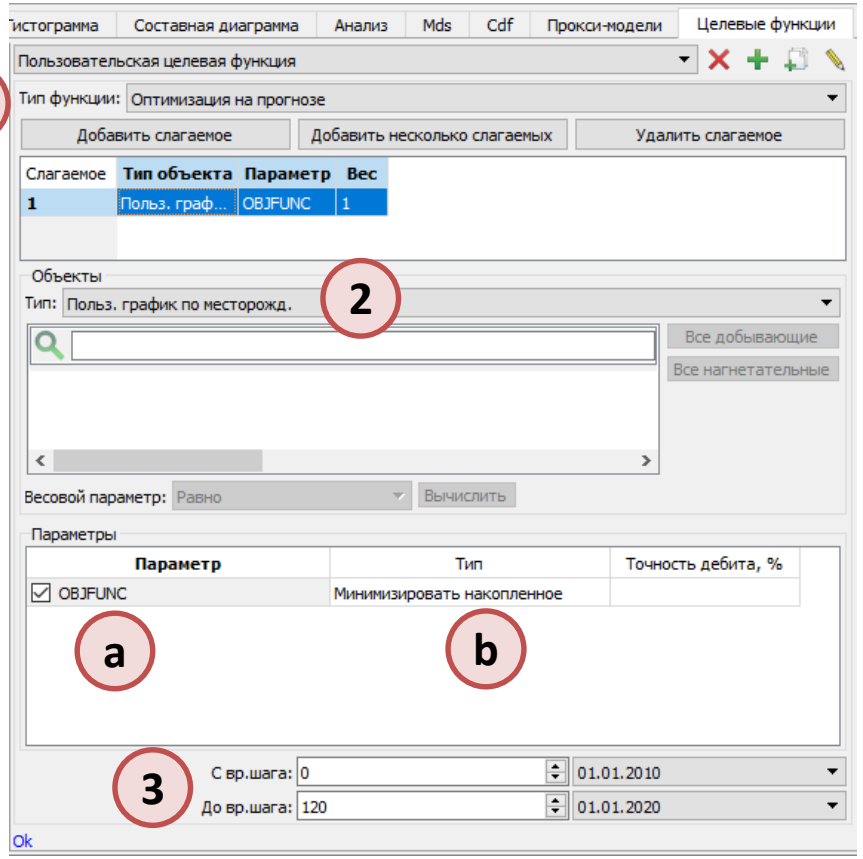
Адаптация модели

- **Задать целевую функцию:**
  1. **Тип функции – оптимизация на прогнозе**
  2. **Объект – пользовательский график**
     a. **Параметр – созданный график OBJFUNC**
     b. **Тип – минимизация**
  3. **Шаги – с нулевого по последний**

- **Создать эксперимент**

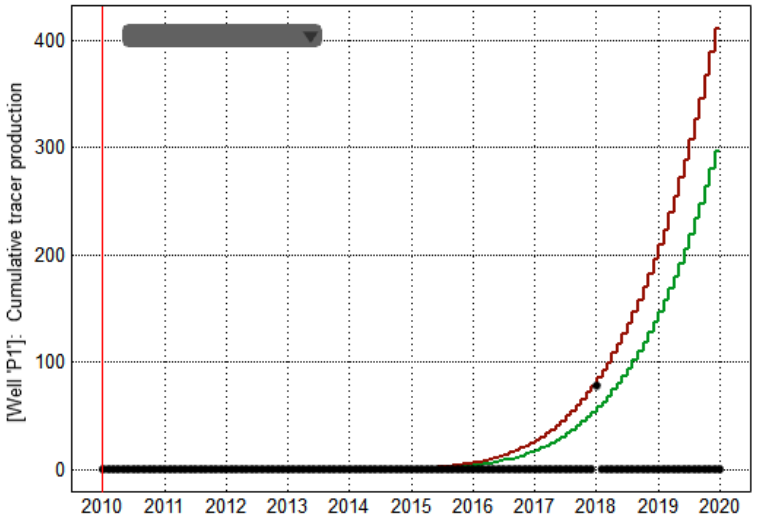
Дифференциальная эволюция

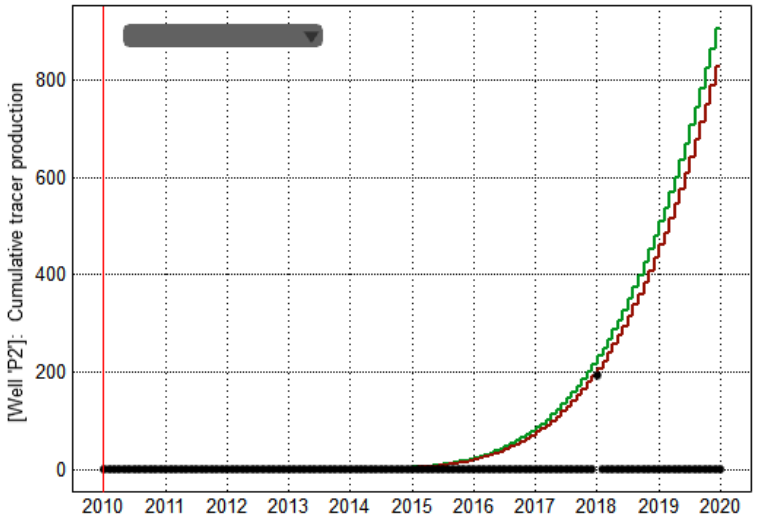
- **Запустить расчеты**

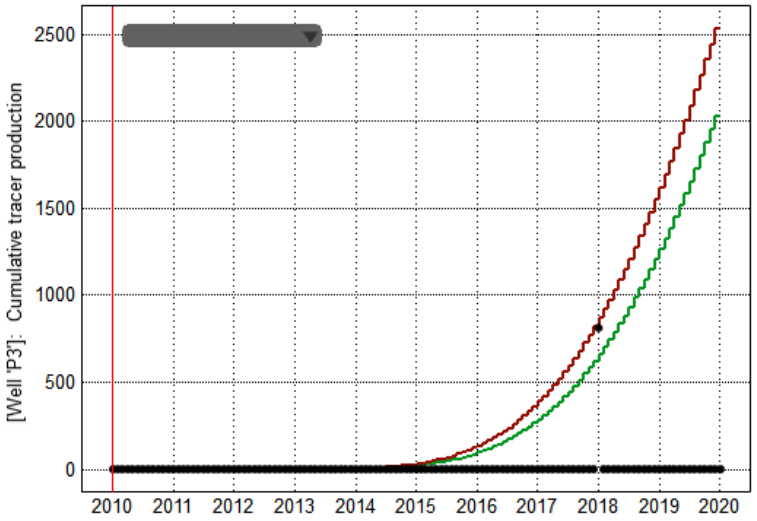


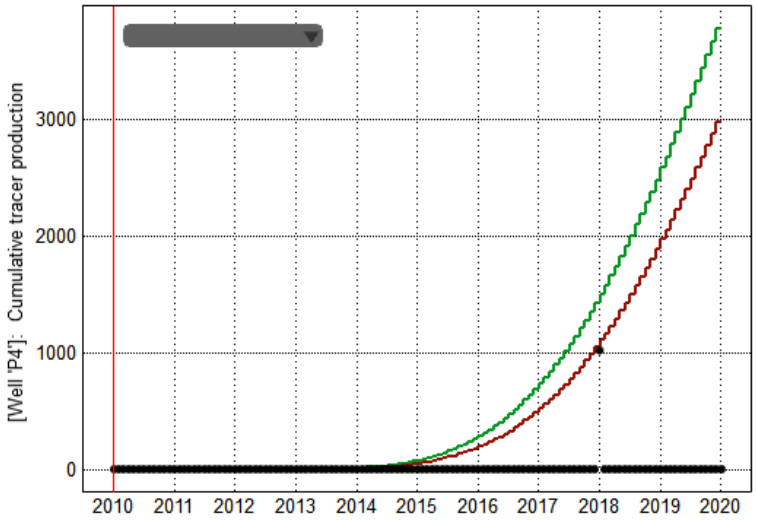
Результат

➢ **Сравнение результатов базового расчета и расчета с наилучшим качеством:**









- Базовый расчет

- Расчет с наилучшим качеством

Пример 6

Расчет экономических параметров:

- **Расчет параметров, необходимых для экспорта в Excel**
  - **Добыча нефти в тоннах**
  - **Добыча жидкости в тоннах**
  - **Фонд скважин (действующие и бездействующие)**
- **Экспорт рассчитанных параметров в Excel**
- **Пересчет экономических параметров в Excel на основе экспортированных данных**
- **Экспорт исходных данных из модели в Excel**
- **Импорт результатов расчета Excel обратно в калькулятор**
- **Создание графиков для визуализации в tNavigator**

Алгоритм можно использовать в задачах оптимизации и оценки рисков

Спасибо за внимание!