



Стоимостная оптимизация разработки с использованием емкостно-резистивной модели

ООО «Газпромнефть НТЦ»
Наугольнов Михаил Валерьевич
Руководитель направления по разработке
Naugolnov.MV@gazpromneft-ntc.ru



Цели и задачи работы

Цель:

- Оптимизация операционных затрат добывающих Компаний
 - Идентификация и снижение числа нерентабельных скважин
 - Идентификация скважин с непроизводительной закачкой и нецелевыми отборами

Задача:

- Создание нового подхода к оперативному обеспечению специалистов по геологии и разработки нефтяных месторождений аналитической поддержкой принятия управленческих решений в части оптимизации фонда скважин, в т. ч. поиска скважин с нецелевым отбором и закачкой, прогнозированием добычи нефти при оптимизации работы фонда скважин.

Иерархия инструментов управления разработкой

Аналитические модели и инструменты (матбаланс, БФА)

- Человеческий фактор / «экспертное» участие
- Низкое качество прогноза
- ✓ Быстрота в использовании

Гидродинамические 3D модели:

- Продолжительность создания, настройки, постоянной поддержки
- Человеческий фактор / «экспертное» участие
- Отсутствие качественной входной информации
- ✓ Достаточное качество прогноза

Очень простые инструменты

Очень сложные инструменты



Необходим новый обобщающий инструмент быстрый и удобный для настройки, основанный на физических законах, когнитивной аналитике и подходах машинного обучения.

Необходимые данные

Необходимые данные для традиционного подхода:

- Аналитические инструменты

- ✓ История добычи и закачки
- История замеров давлений по скважинам и блоку
- Величина запасов
- Геолого-физические характеристики пласта
- PVT-свойства

- Настроенная геолого-гидродинамическая модель

Необходимые данные для «упрощенного» подхода:

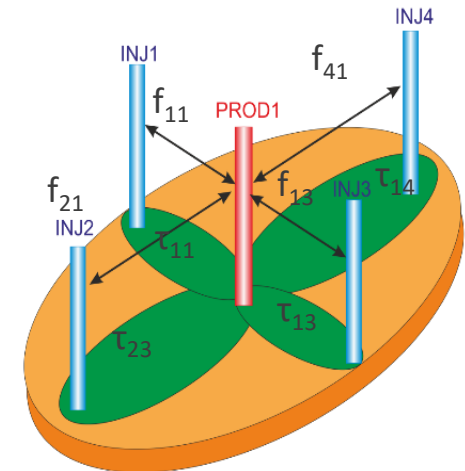
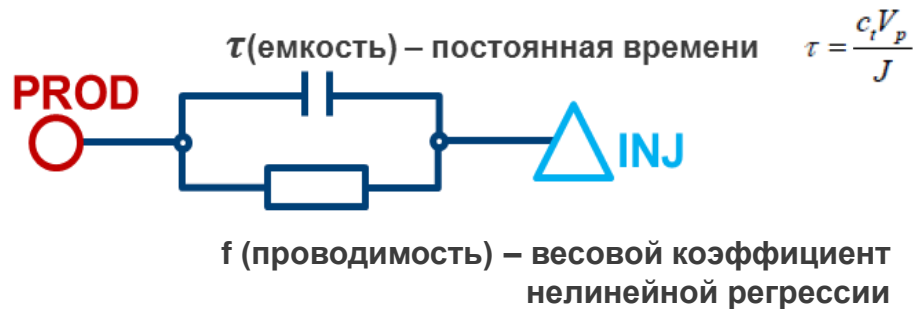
- ✓ История добычи
- Опционально: история замеров давлений

Модели на основе емкостно-резистивной аналогии

$$q_j(t_n) = q_j(t_0)e^{-\frac{(t_n-t_0)}{\tau_j}} + \sum_{i=1}^{N_i} \left[f_{ij} \left(i_i(t_n) - e^{-\frac{(t_n-t_0)}{\tau_j}} i_i(t_0) \right) \right]$$

$$- \sum_{k=1}^n \left\{ \tau_j e^{-\frac{(t_n-t_k)}{\tau_j}} \left(1 - e^{-\frac{(\Delta t_k)}{\tau_j}} \right) \left[\sum_{i=1}^{N_i} f_{ij} \frac{\Delta i_i^k}{\Delta t_k} + J_j \frac{\Delta p_{wf,j}^k}{\Delta t_k} \right] \right\}$$

$(j = 1, 2, \dots, N_p)$



SPE 110081

The Use of Capacitance-Resistive Models for Rapid Estimation of Waterflood Performance and Optimization

M. Sayarpour, SPE, University of Texas at Austin; E. Zuluaga, SPE, and C.S. Kabir, SPE, Chevron ETC; and Larry W. Lake, SPE, University of Texas at Austin

Модели на основе емкостно-резистивной аналогии

$$q_j(t_n) = q_j(t_0)e^{-\frac{(t_n-t_0)}{\tau_j}} + \sum_{i=1}^{N_i} \left[f_{ij} \left(i_i(t_n) - e^{-\frac{(t_n-t_0)}{\tau_j}} i_i(t_0) \right) \right]$$

$$- \sum_{k=1}^n \left[\tau_j e^{-\frac{(t_n-t_k)}{\tau_j}} \left(1 - e^{-\frac{(\Delta t_k)}{\tau_j}} \right) \left[\sum_{i=1}^{N_i} f_{ij} \frac{\Delta i_i^k}{\Delta t_k} + J_j \frac{\Delta p_{wf,j}^k}{\Delta t_k} \right] \right]$$

($j = 1, 2, \dots, N_p$)

Необходимо найти параметры τ_j , f_{ij} и J_j для каждой добывающей скважины.

1. Отборы жидкости за предыдущие периоды.
2. Закачка воды.
3. Динамика забойного давления.

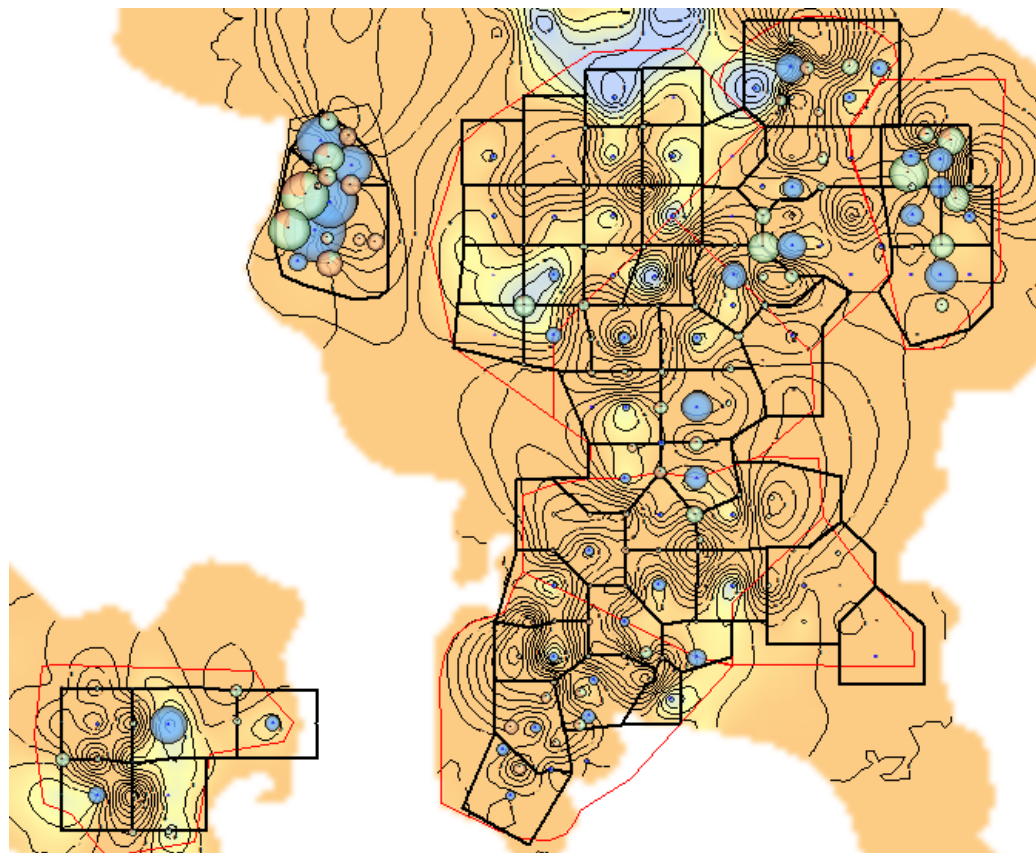
$$\min \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (q_j - q'_j)^2$$

Где:

q_j – фактическое значение дебита жидкости скважины

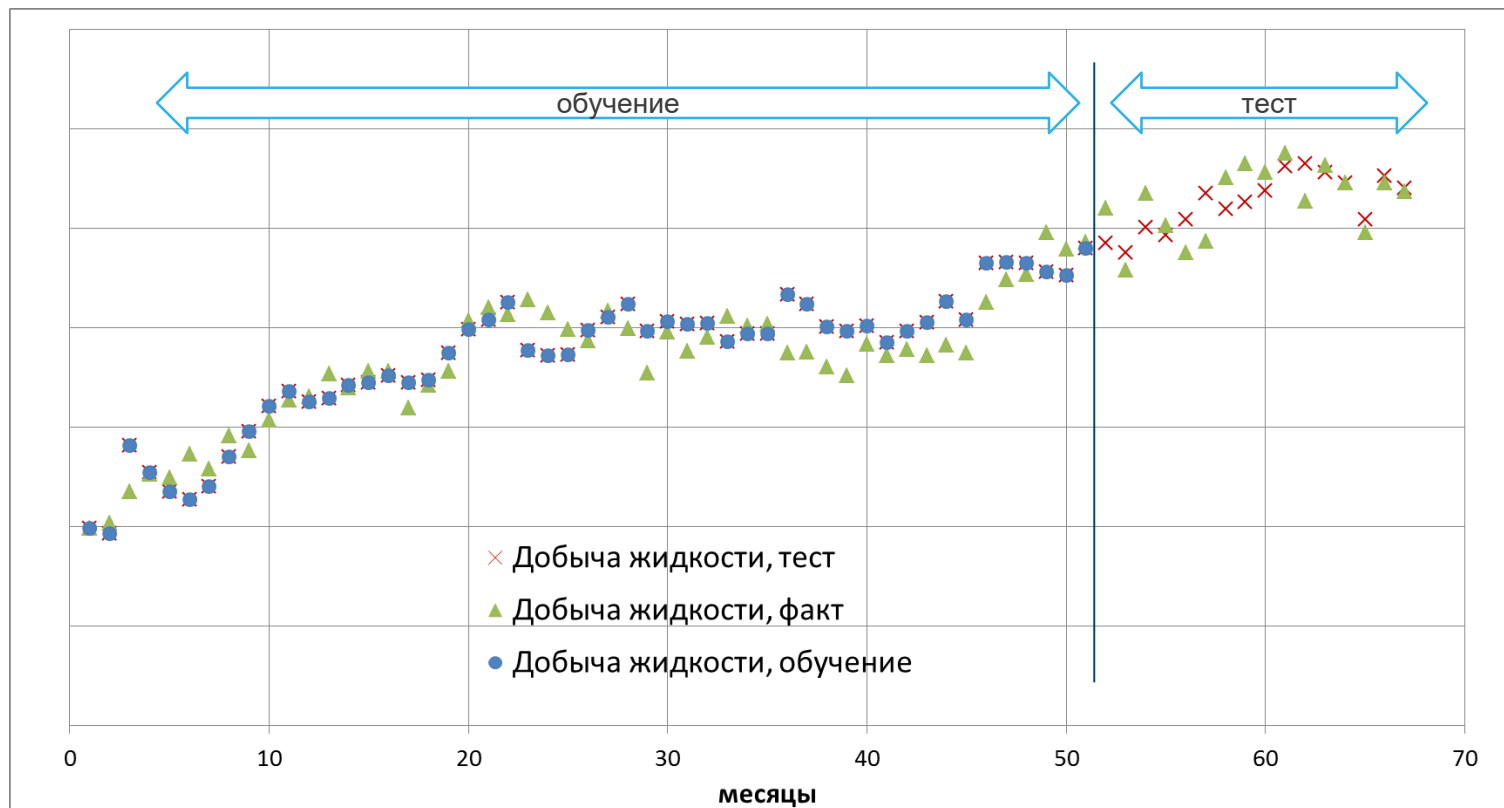
q'_j – рассчитанное значение дебита жидкости скважины

Пример использования на реальном месторождении



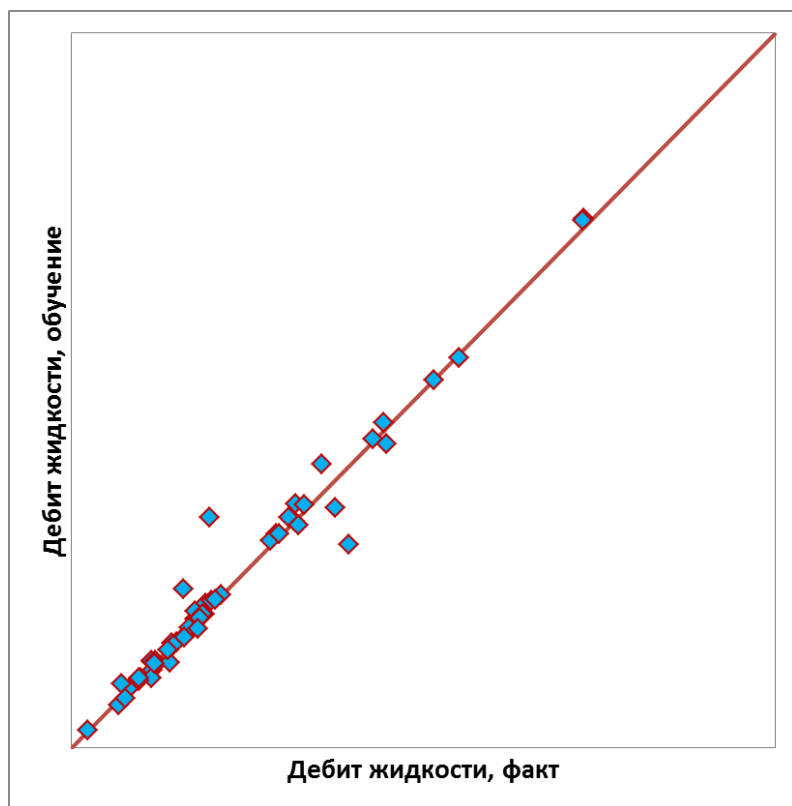
Всего скважин	173
Добывающие скважины в модели	114
Нагнетательные скважины в модели	59
Добывающие скважины, исключенные из модели	26
Нагнетательные скважины, исключенные из модели	18
Радиус влияния нагнетательных скважин	1200

Пример использования на реальном месторождении

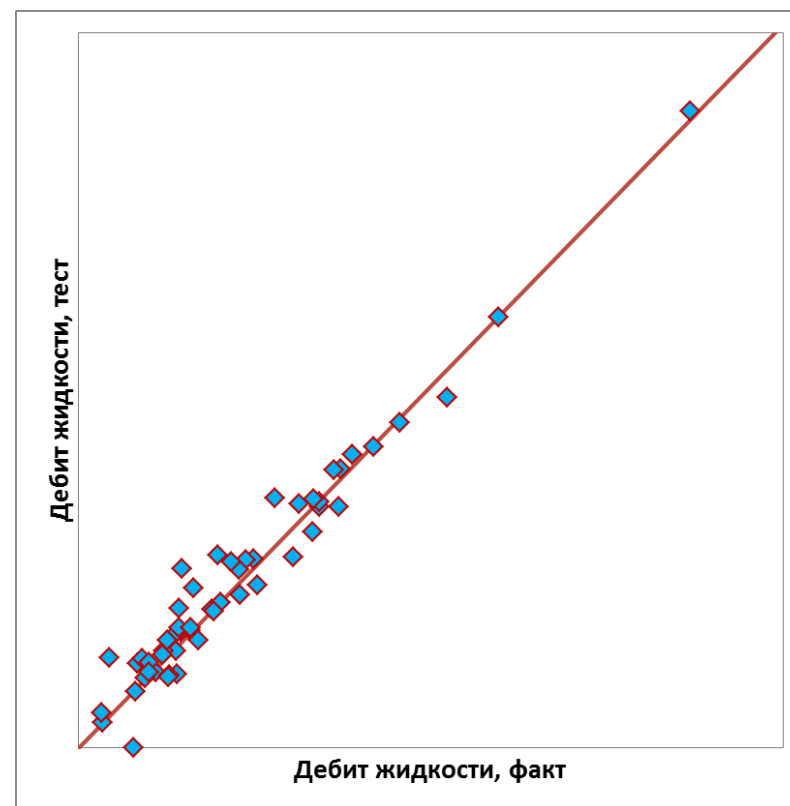


Результаты прогнозирования

Кросс-плот качества обучения

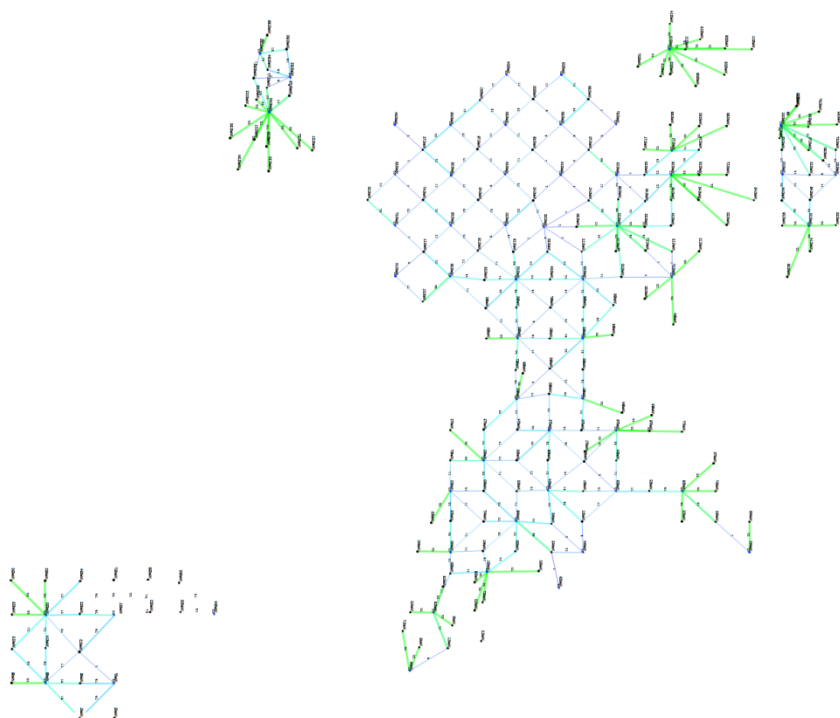


Кросс-плот качества прогноза



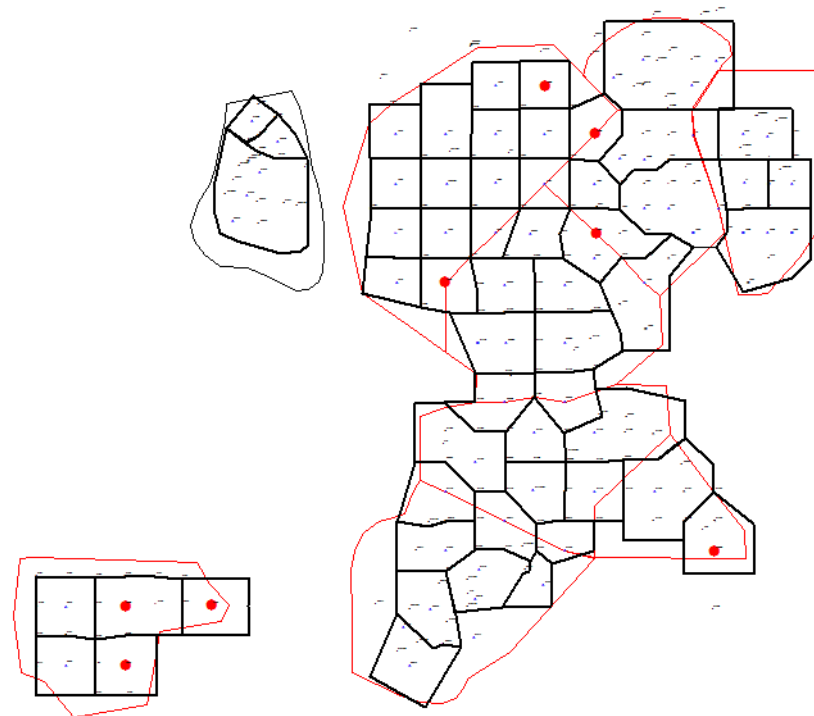
Карта связанности и карта малоэффективной закачки

Карта связанности добывающих и нагнетательных скважин



$$f_{ij} > 0.1$$

Нагнетательные скважины с малоэффективной закачкой

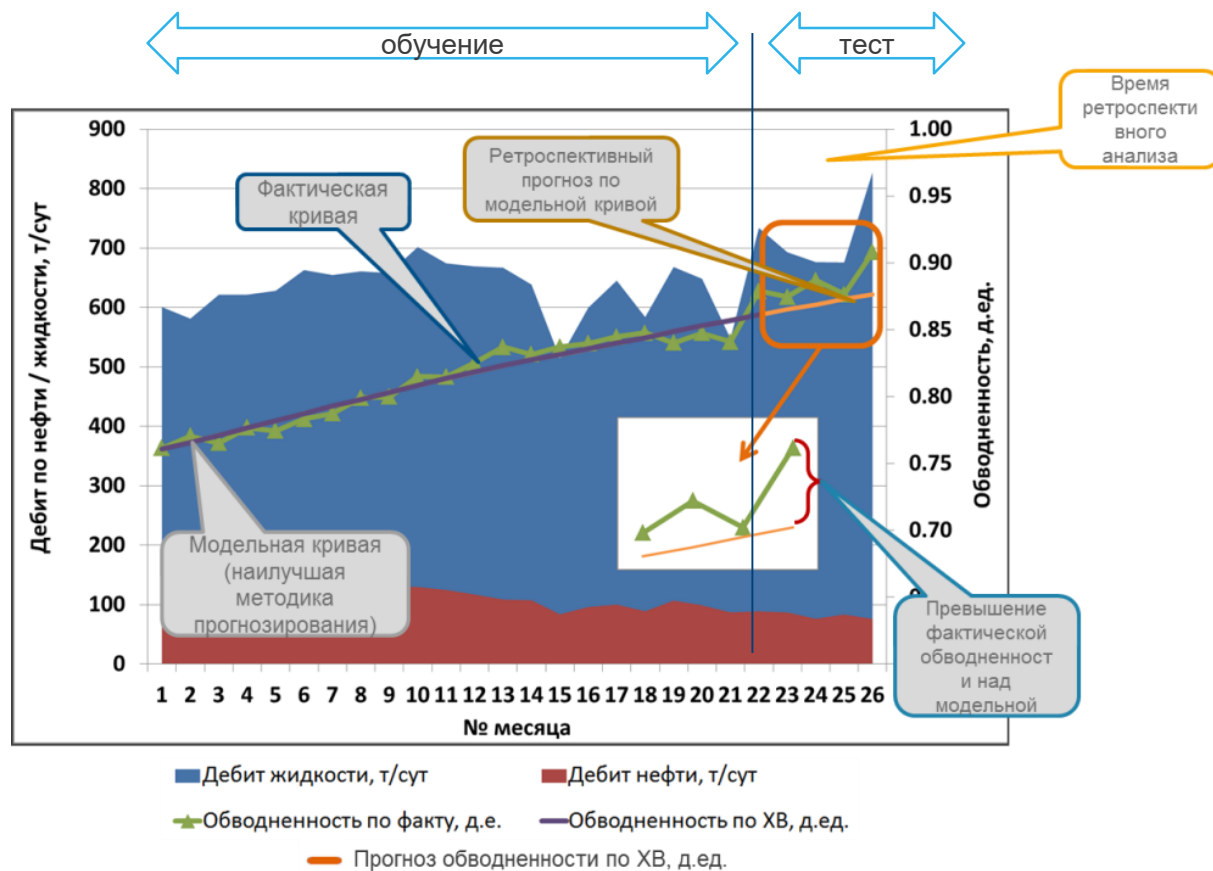


$$\sum_i^{num_prod} f_{ij} < 0.15$$

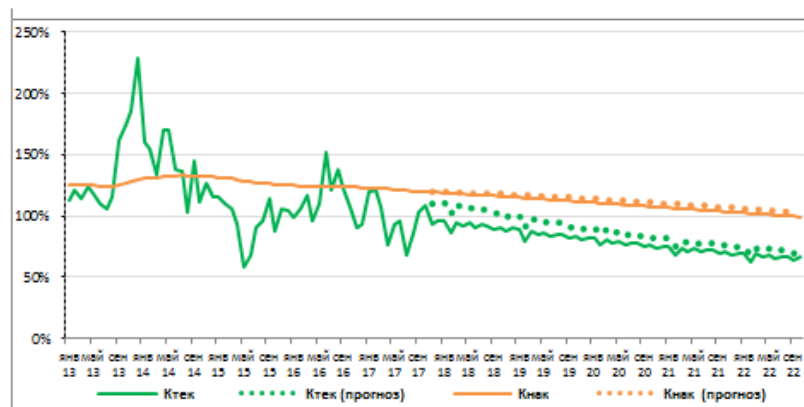
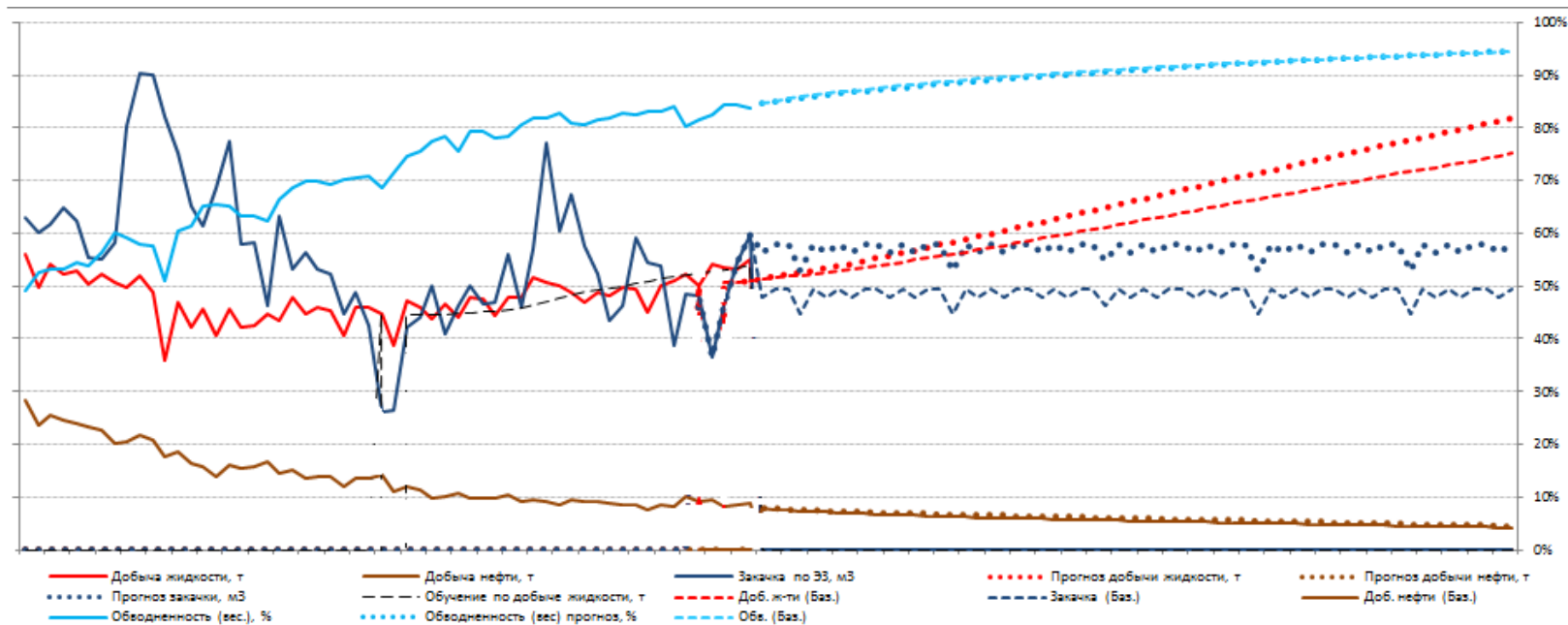
Как вести прогноз добычи нефти?

Библиотека характеристик вытеснения

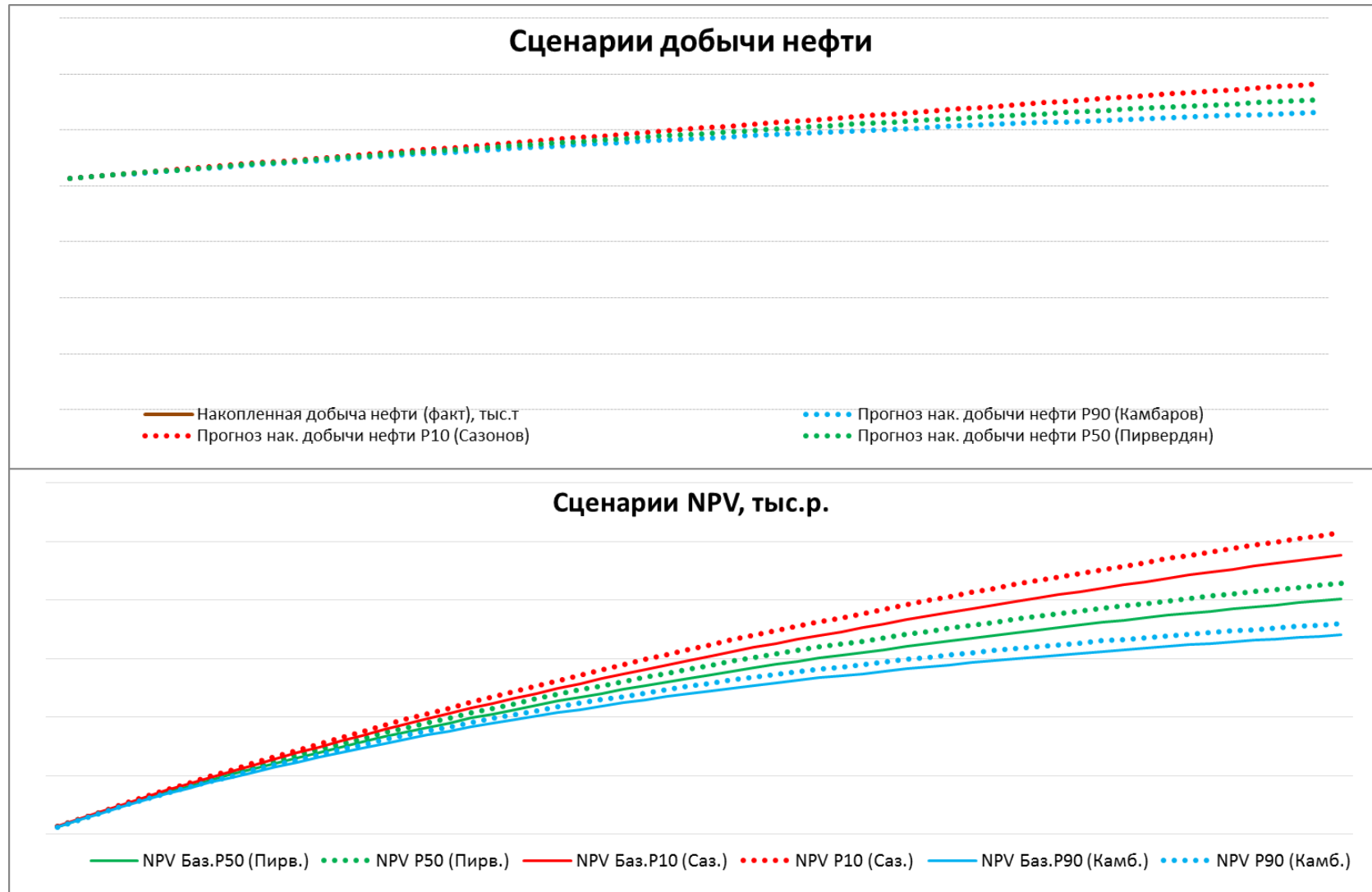
Название метода	Вид характеристики
1. Камбаров (1974)	$Q_H = a - b \cdot Q_K^{-1}$
2. Сазонов (1973)	$Q_H = a + b \cdot \ln Q_K$
3. Пирвердян (1970)	$Q_H = a - b \cdot Q_K^{-\frac{1}{2}}$
4. Метод постоянного нефтесодержания	$Q_H = a + b \cdot Q_K$
5. Арпе (1965)	$\ln f_H = a - b \cdot Q_H$
6. Лп Камбаров	$\ln Q_H = a - b \cdot \ln Q_K^{-1}$
7. Абызбаев (1981)	$\ln Q_H = a + b \cdot \ln Q_K$
8. Назаров-Сипачев (1972)	$\frac{Q_K}{Q_H} = a + b \cdot Q_B$
9. Французский нефтяной институт (1972)	$\frac{Q_B}{Q_H} = a + b \cdot Q_H$
10. Сипачев-Посевич (1980)	$\frac{Q_K}{Q_H} = a + b \cdot Q_K$
11. Гайсин-Тимашов (1985)	$\frac{Q_B}{Q_H} = a' + b' \cdot Q_K$
12. Гайсин (1986)	$\frac{Q_H}{Q_K} = a' + b' \cdot Q_H$
13. Островский-Джапаров (1981)	$\frac{1}{Q_K} = \frac{b'}{Q_H} - a'$
14. Говорова-Рябинина (1957)	$\ln Q_B = a + b \cdot \ln Q_H$
15. Максимов (1959)	$\ln Q_B = a + b \cdot Q_H$
16. Сазонов-Маслянец-Булыгин (1983)	$\ln \frac{Q_B}{Q_H} = a' + b' \cdot \ln Q_H$
17. Модифицированный Назаров-Сипачев	$\ln \frac{Q_B}{Q_H} = a + b \cdot Q_H$
18. Модифицированный Сипачев-Посевич	$\ln \frac{Q_H}{Q_K} = a - b \cdot Q_H$
19. Мовмыга-Черепяхин	$\frac{1 - f_B}{f_B} = a - b \cdot Q_H$
20. Григорьев	$\sqrt{\frac{1 - f_B}{f_B}} = a + b \cdot \frac{1}{Q_H}$
21. Островский-Джапаров (1)	$\ln f_B = a - b \cdot Q_H$
22. Островский-Джапаров (2)	$\ln f_B = a - b \cdot \ln Q_H$



Пример реализации прогностического инструмента на одном из элементов заводнения



Пример реализации прогностического инструмента на одном из элементов заводнения



Максимизация NPV, Qнакопл.

4	☒ Использовать промысловые КУ	1		
5	☐ Рассчитывать КУ			
6	Дата начала обучения			
7	01.07.2015	165		
8	Дата окончания обучения			
9	01.10.2017	192		
10	Дата начала прогноза			
11	01.11.2017	193		
12				
13	Невязка добычи	22.2		
14	☐ Считать интегрально	ложь	2.13	1434.45
15				0.00
16	1. Обучить модель			
17	Характеристика вытеснения	Время ХВ, месяцев		
18	ХВ Пирвердян	6		
19	Оптимизировать закачку	Текущая Qпр, м3/сут	Макс Qпр, м3/сут	Опт Qпр, м3/сут
20	6	162.61	180	
21	7	4.55	10	
22	15	164.52	180	
23	0	0		
24	0	0		
25	0	0		
26	0	0		
27	0	0		
28	0	0		
29	2. Максимизировать добычу			
30		3. Максимизировать NPV		

Наименование	Ед.изм.	Значение
Условно-переменные затраты на закачку рабочего агента (b)	руб./м3	X
Условно-переменные затраты на добычу жидкости	руб./тн.	Y
Условно-переменные затраты на подготовку и перекачку нефти	руб./тн.	Z

- Условия: $VR_{min} \leq VR \leq VR_{max}$

$V_n \leq V'$ (ограничение max приемистости для скважины n)

- Задача по минимизации операционных затрат

$$b_1 \cdot V_1 + b_2 \cdot V_2 + \dots + b_n \cdot V_n \rightarrow \min$$

- Задача по максимизации добычи

$$a_1 \cdot V_1 + a_2 \cdot V_2 + \dots + a_n \cdot V_n \rightarrow \max$$

- Задача по максимизации денежного потока

$$c_1 \cdot V_1 + c_2 \cdot V_2 + \dots + c_n \cdot V_n \rightarrow \max$$

Основные выводы

1. Использование емкостно-резистивной модели для управления разработкой возможно с достаточным качеством.
2. Можно использовать для:
 - Оптимизации заводнения
 - Минимизации OPEX
 - Поиска неэффективных нагнетательных скважин
 - Поиск некачественно замеренных данных
3. Предлагается совершенствование инструмента для повышения устойчивости прогноза для случаев с ВНС, ЗБС, ГРП, переводом скважин из добычи в закачку.

Спасибо за внимание!
