

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина  
Факультет разработки нефтяных и газовых месторождений  
Кафедра разработки и эксплуатации нефтяных месторождений

# Анализ работы скважины и скважинного оборудования с учетом неопределенности в исходных данных для условий месторождений Западной Сибири

Студент группы РНМ-19-05

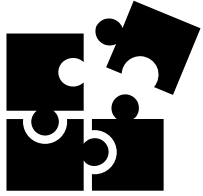
Кобзарь О.С.

Научный руководитель

к.т.н., доцент, Хабибуллин Р.А.

# Постановка задачи

---



**Проблема:** недостаточное количество качественной информации и большие неопределенности при принятии решений



**Цель:** повышение эффективности эксплуатации скважин с УЭЦН в условиях неопределенности

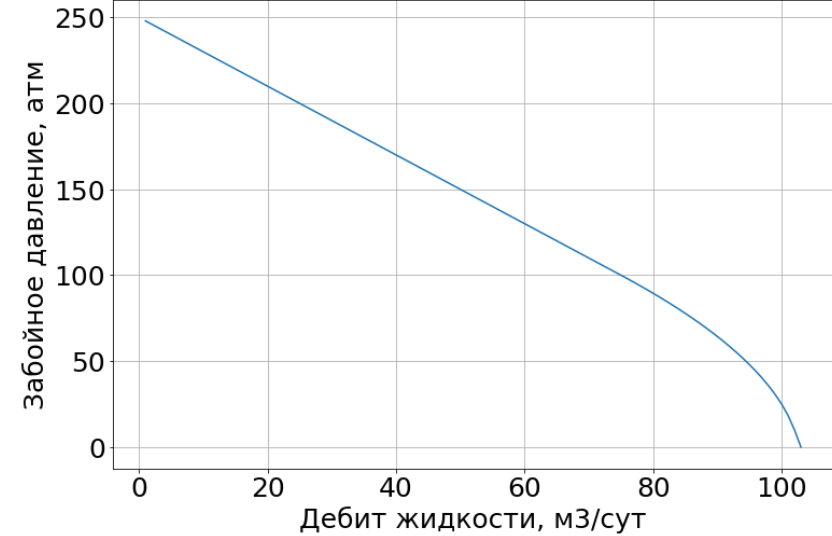


**Задача:** создание новой методики по подбору ЭЦН к скважине в условиях неопределенности работы пласта



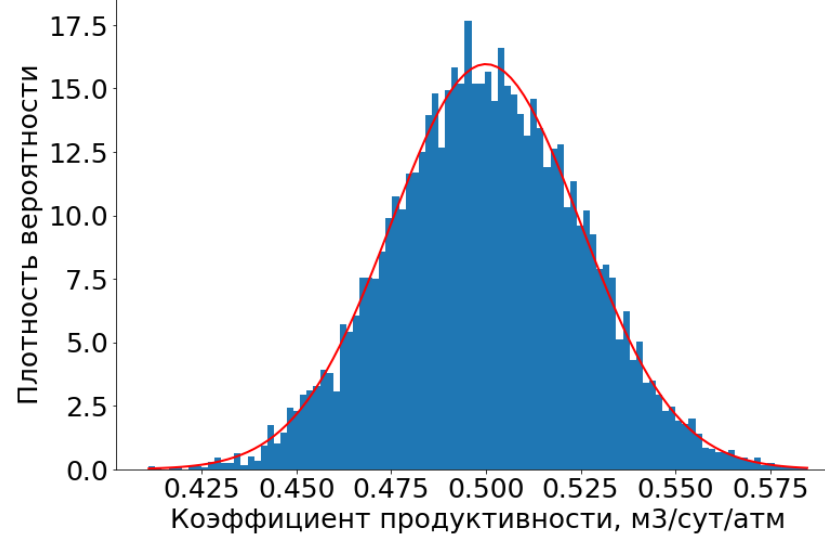
# Метод Монте-Карло

Индикаторная кривая с поправкой Вогеля



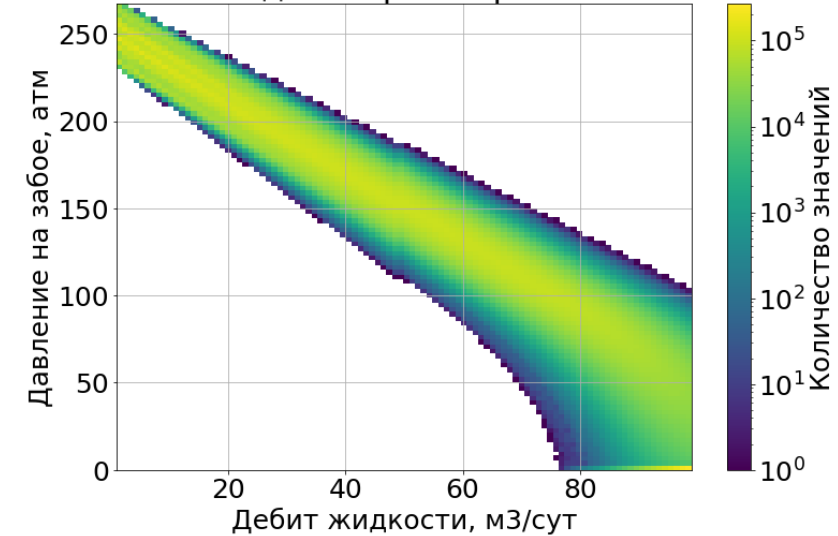
Определение  
детерминированной модели  
притока с поправкой Вогеля

Распределение коэффициента продуктивности



Задание распределений входных  
параметров с учетом наличия  
информации

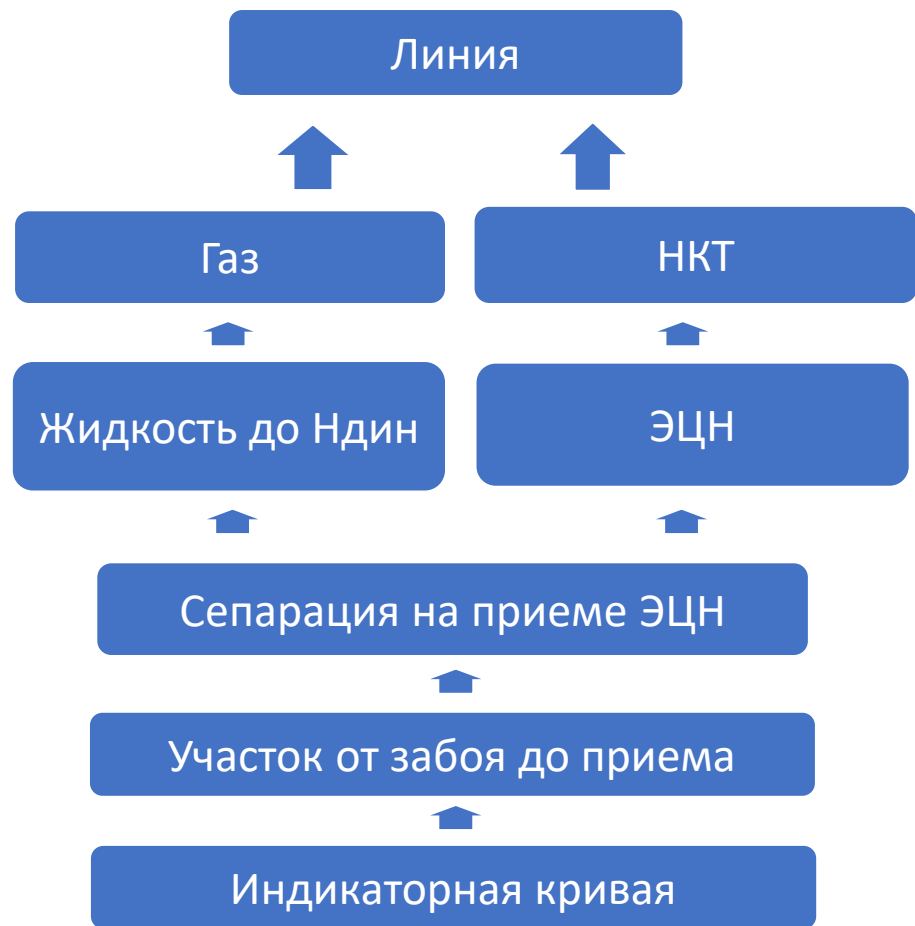
Индикаторная кривая



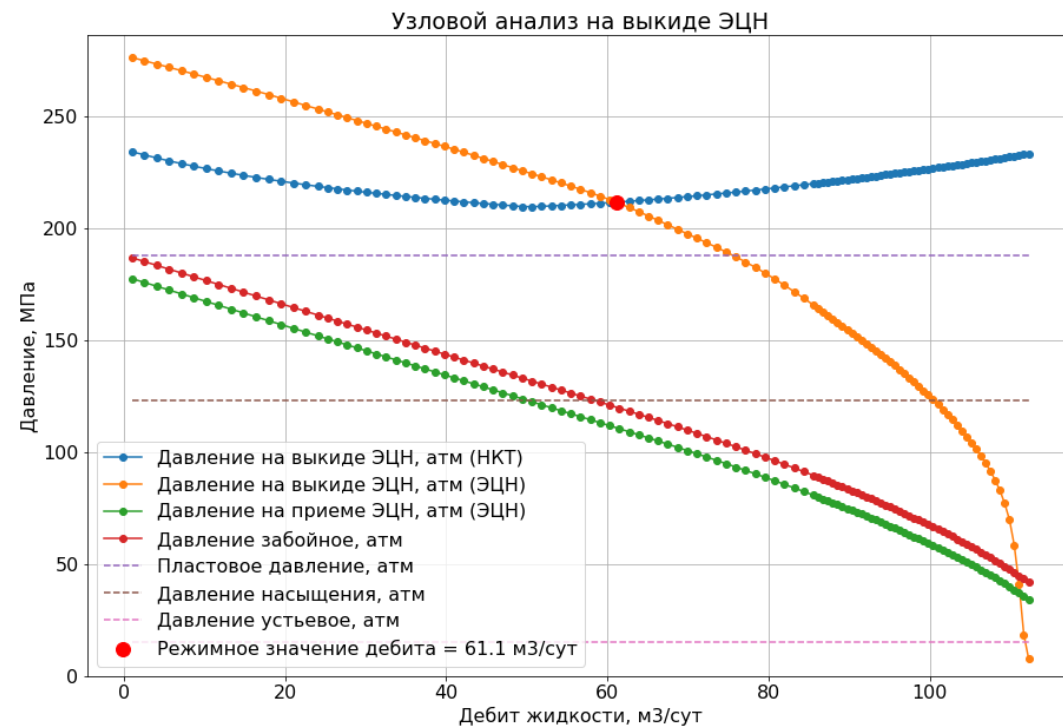
Получение оценки работы  
пласта с учетом  
неопределенности



# Модель скважины и скважинного оборудования



Гидравлическая схема скважины



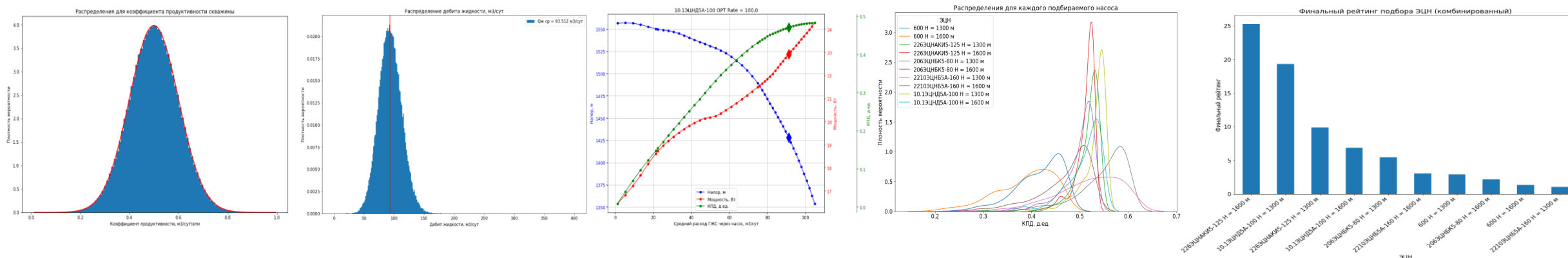
Открытый модуль инженерных расчетов Unifloc

- РVT корреляции: Стендинг
- Многофазный поток: Ансари
- Модель ЭЦН: поправка на вязкость, газосодержание, плотность ГЖС



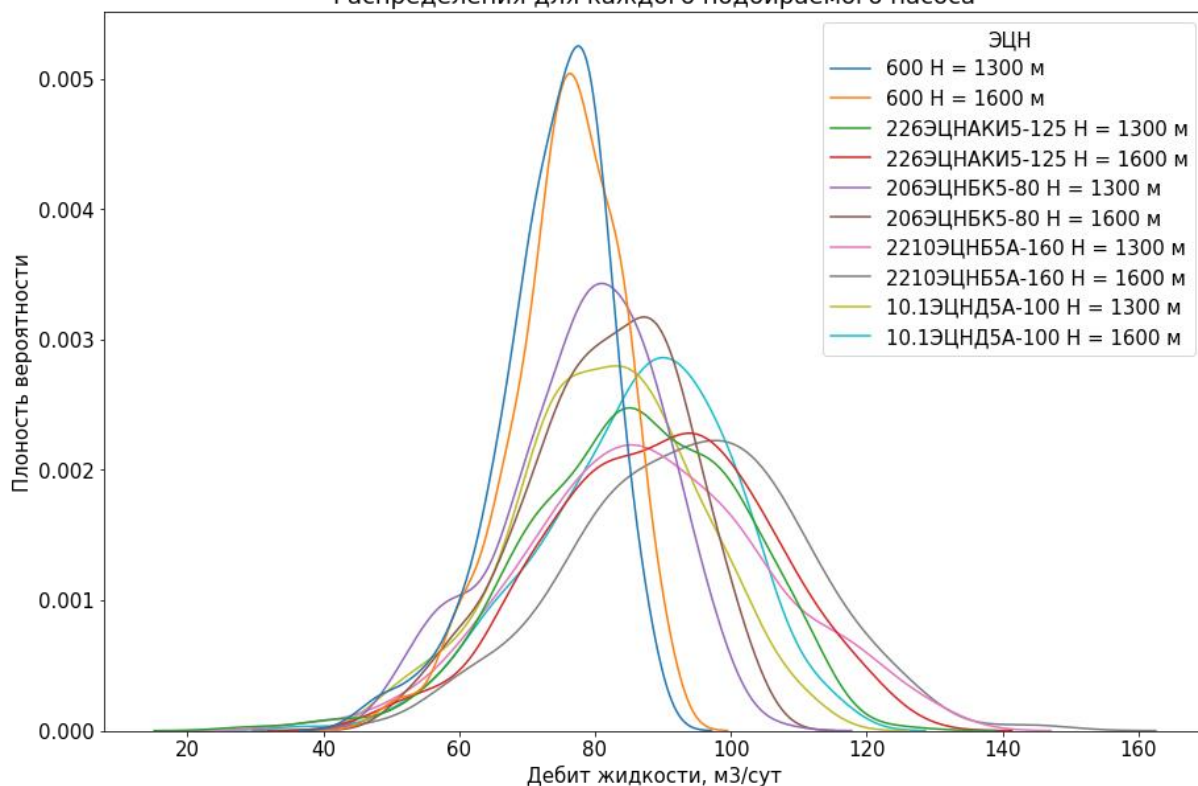
# Методика подбора ЭЦН с учетом неопределенности

1. Определение неопределенности в пластовом давлении  $P_{пл}$  и коэффициенте продуктивности  $K_{прод}$  с помощью нормального распределения  $\mathcal{N}(\mu, \sigma^2)$
2. Расчет распределения дебита, определяемого возможностями пласта по методу Монте-Карло ( $N=10^5$ )
3. Подбор нескольких типоразмеров ЭЦН из БД (Количество ЭЦН: 3500) по распределению дебита ( $K=9$ )
4. Определение нескольких напоров ( $L=3$ ) для каждого выбранного ЭЦН
5. Расчет модели скважины с каждым ЭЦН ( $N=10^3$ ) и определение распределений дебита и прочих параметров
6. Агрегирование распределений по средним значениям и дисперсии для формирования рейтинга на основе комбинирования коэффициента эффективности
7. Составление сводного рейтинга и выбор наиболее оптимальной компоновки с учетом неопределенности

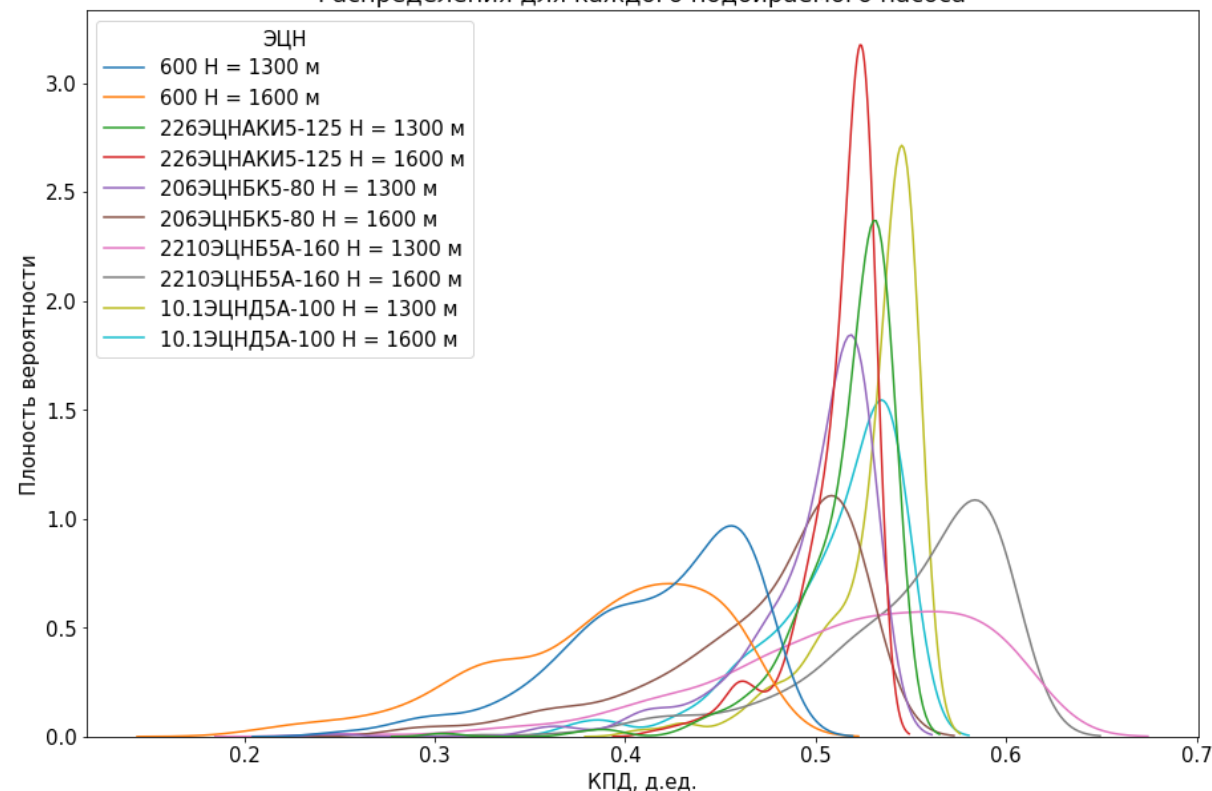


# Методика подбора ЭЦН с учетом неопределенности

Распределения для каждого подбираемого насоса



Распределения для каждого подбираемого насоса



Распределения рабочих параметров дают представление о возможной работе ЭЦН

Дискретное  
распределение входных  
параметров



Случайная выборка  
значений



Расчет



Дискретное  
распределение по  
результатам расчета



Аппроксимация  
распределения  
методом ядерной  
оценки плотности (KDE)



# Метод ранжирования рассматриваемых ЭЦН

$$K_{\Sigma} = K_{\eta}^{\text{норм}} \cdot K_Q^{\text{норм}} \cdot K_{\text{ННО}}^{\text{норм}}$$

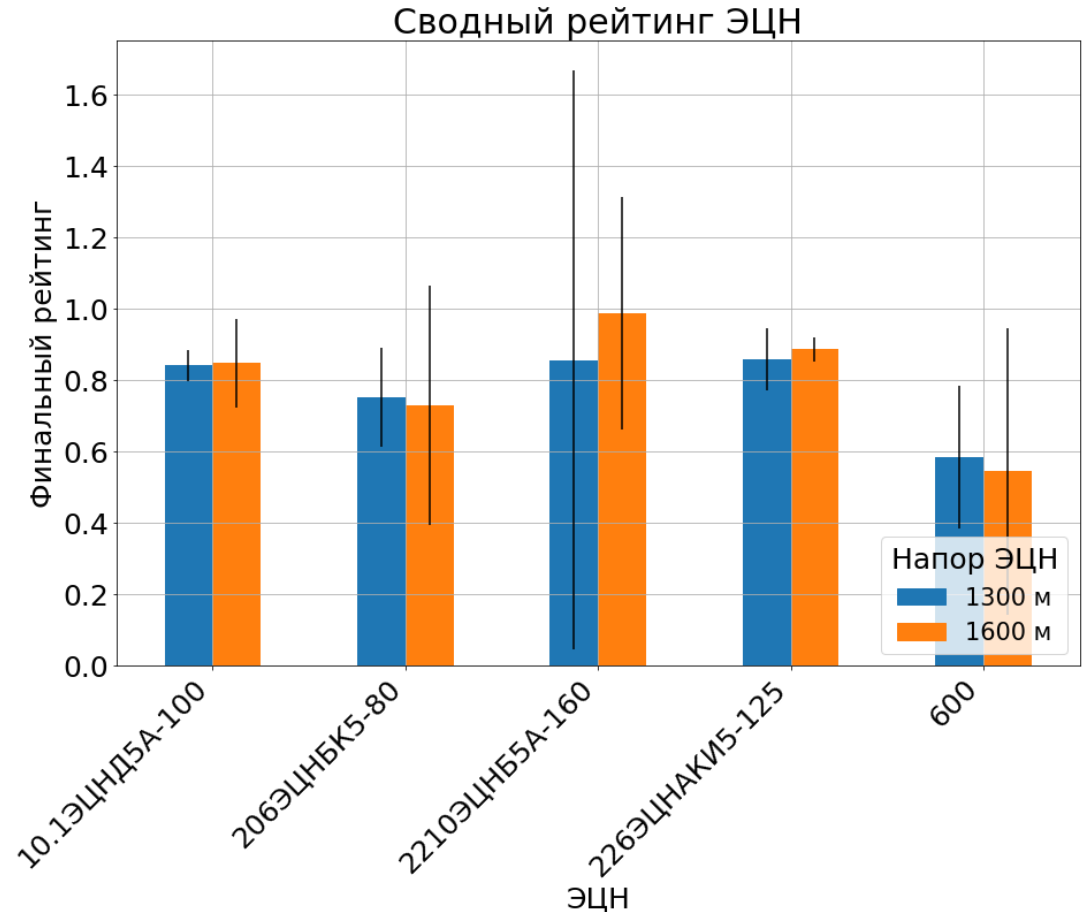
- $K_{\Sigma}$  - общий коэффициент эффективности работы ЭЦН
- $K_{\eta}^{\text{норм}}$  - коэффициент эффективности по КПД, учитывающий энергоэффективность работы каждого насоса
- $K_{\text{ННО}}^{\text{норм}}$  - коэффициент, учитывающего снижение наработки на отказ
- $K_Q^{\text{норм}}$  - коэффициент, учитывающий возможный рабочий режим по дебиту

$$M(\eta) = \sum_i \eta \frac{1}{N}$$

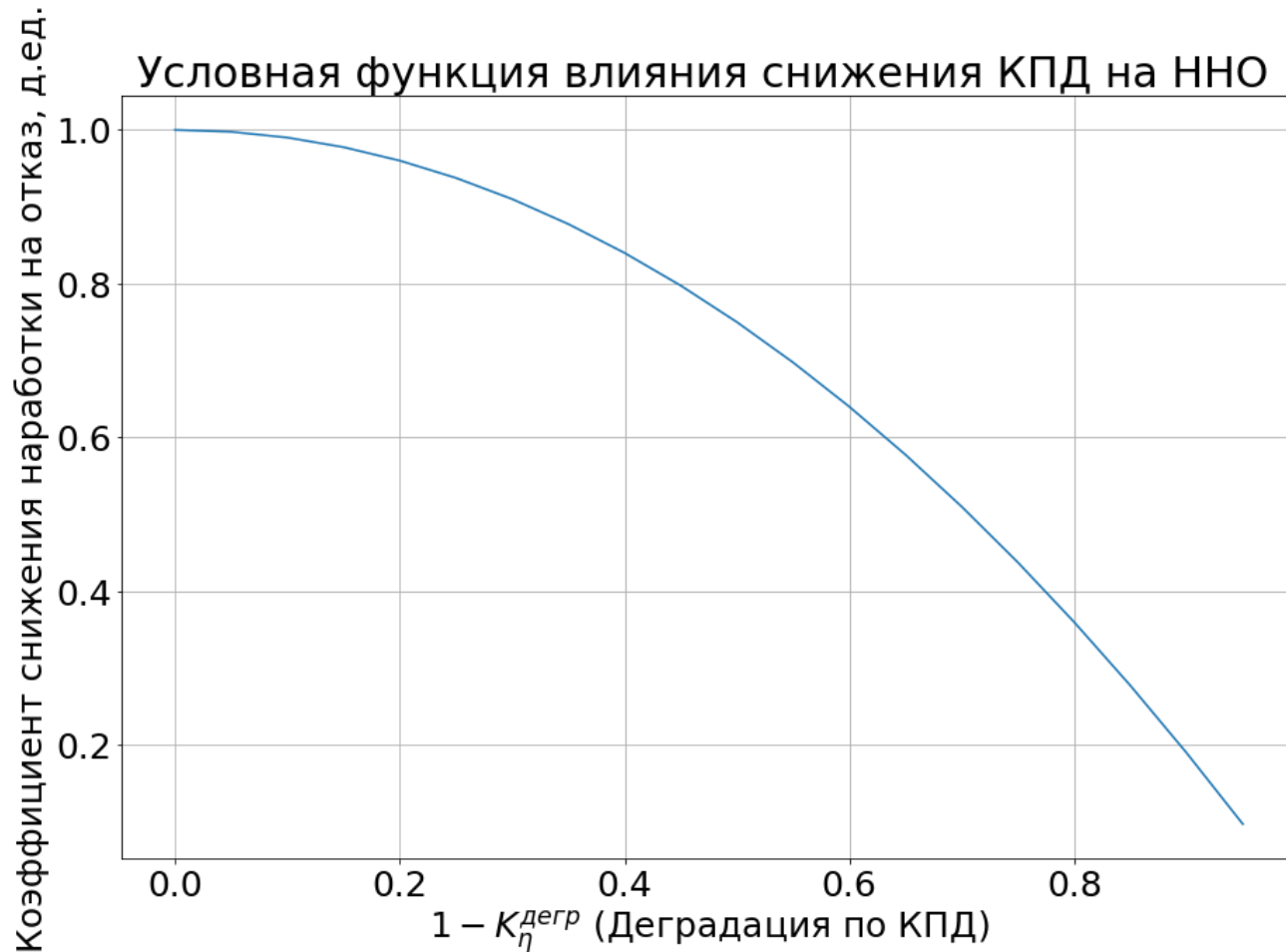
$$K_{\eta_k}^{\text{норм}} = \frac{M(\eta)_{\text{ЭЦН}_k}}{M(\eta)_{\text{ЭЦН}}^{\text{max}}}$$

$$\sigma(\eta) = \sum \frac{(\eta_i - \eta_{\text{ср}})^2}{N}$$

$$\sigma_{\eta_k}^{\text{норм}} = \frac{\sigma(\eta)_{\text{ЭЦН}_k}}{\sigma(\eta)_{\text{ЭЦН}}^{\text{max}}}$$



# Учет снижения наработки на отказ ЭЦН



$$K_{\eta}^{дегр} = \frac{\eta}{\eta_{max}}$$

$\eta$  – КПД ЭЦН на текущем режиме работы с учетом влияние вязкости, газосодержания

$\eta_{max}$  - максимальный КПД ЭЦН для исходной напорно-расходной характеристики

$$K_{ННО} = f(K_{\eta}^{дегр}) = 1 - (1 - K_{\eta}^{дегр})^2$$

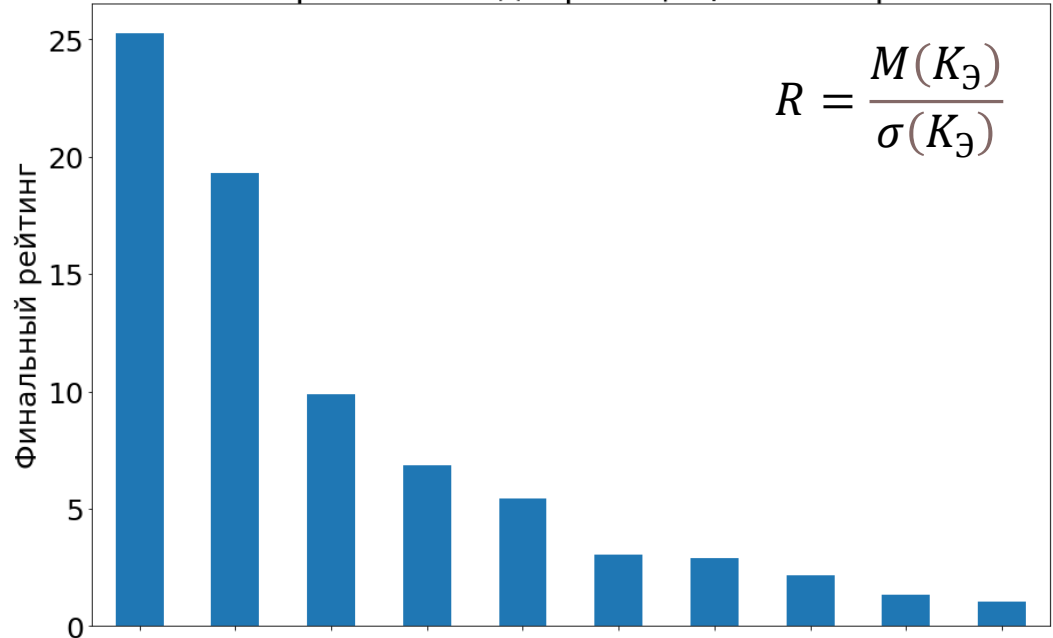




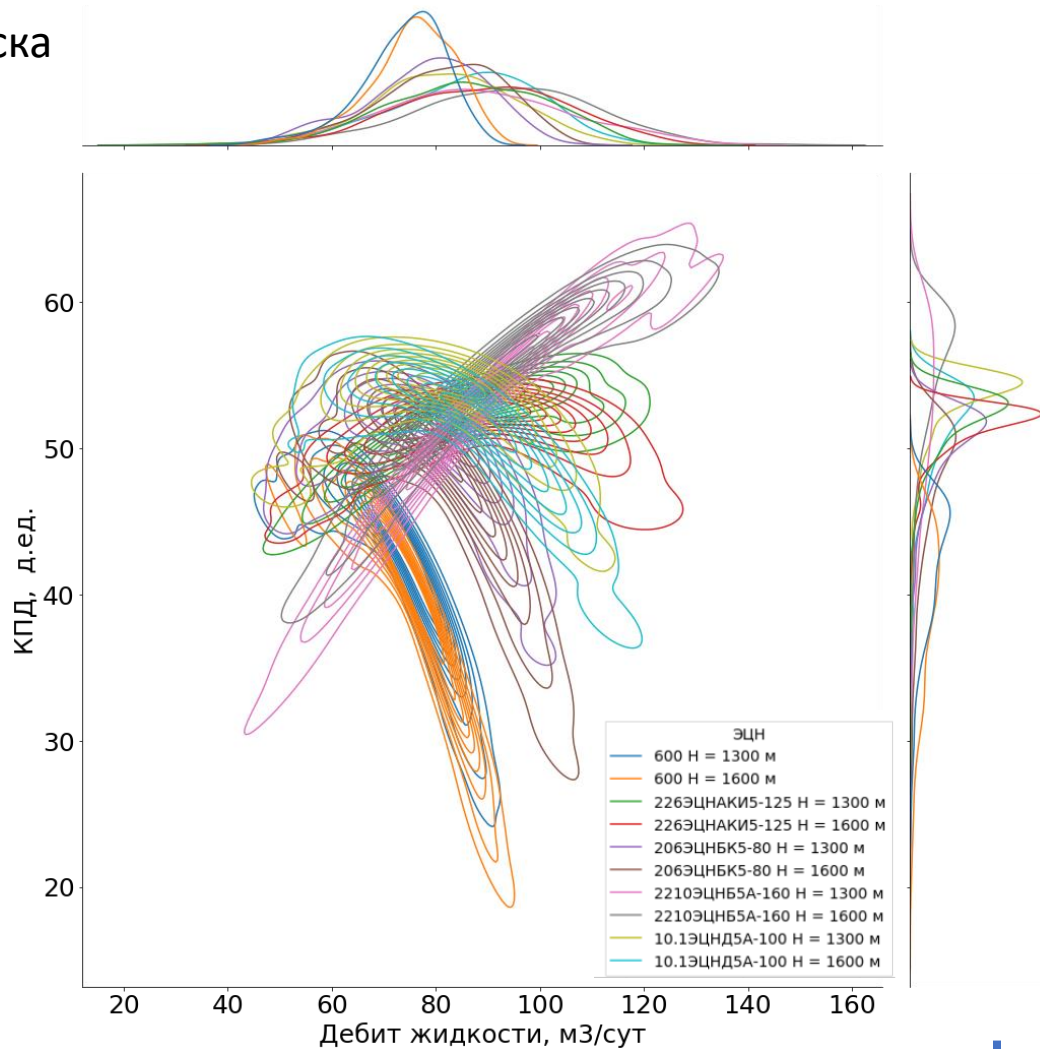
# Метод ранжирования рассматриваемых ЭЦН

Количественная оценка эффективности работы ЭЦН с учетом риска

Финальный рейтинг подбора ЭЦН (комбинированный)



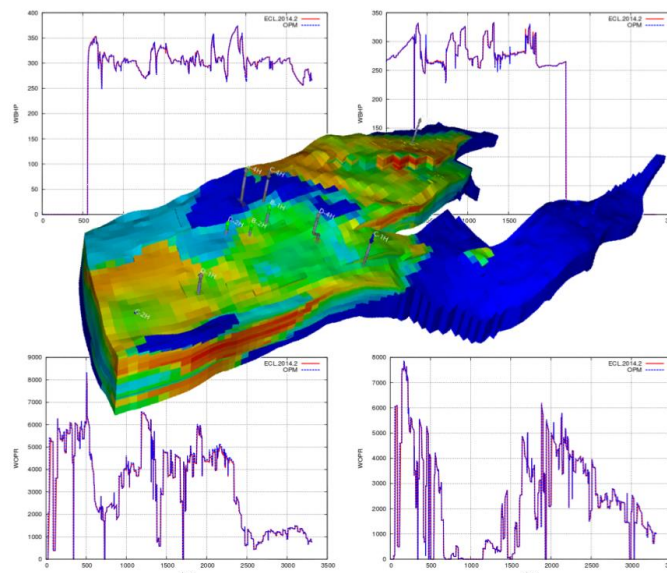
$$R = \frac{M(K_{\text{Э}})}{\sigma(K_{\text{Э}})}$$



# Краткая информация о месторождении X

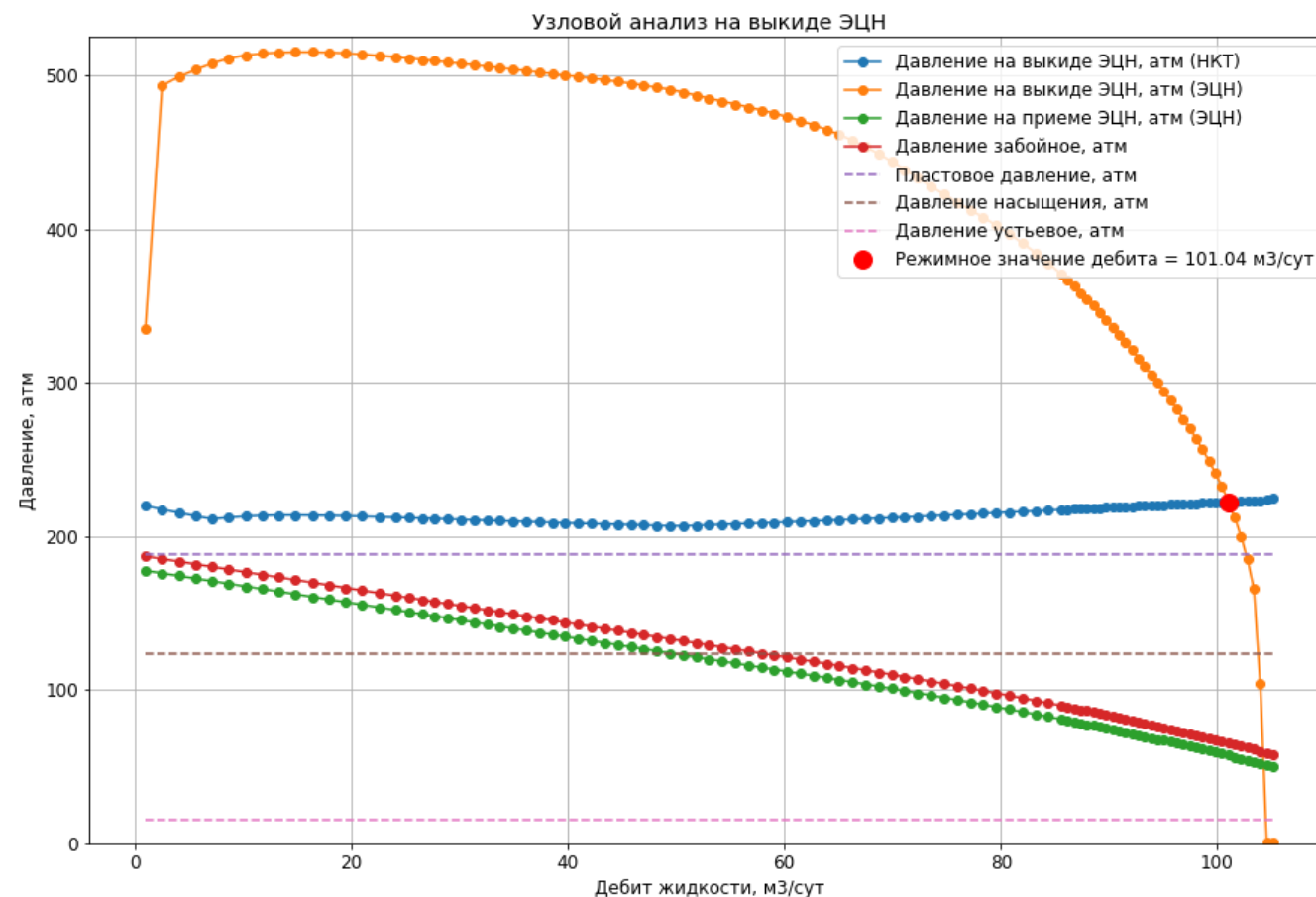
Параметры	Размерность	БС <sub>9</sub>	БС <sub>10</sub> <sup>2</sup>
Относительная плотность газа	д.ед.	0,7	0,71
Плотность нефти	кг/м <sup>3</sup>	844	845
Плотность воды	кг/м <sup>3</sup>	1,014	1,011
Газосодержание	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	85,54	74,52
Давление насыщения	МПа	12,3	10,9
Температура пласта	С	86	84
Объемный коэффициент нефти	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	1,166	1,138
Вязкость нефти	мПа*с	1,01	1,09
Содержание серы в нефти	%	0,46	0,68
Содержание парафина в нефти	%	3,9	2,3
Коэффициент пористости	доли ед.	0,18	0,17
Проницаемость	мкм <sup>2</sup>	0,022	0,013
Начальное пластовое давление	МПа	28,2	27,7

- Расположено в Западной Сибири
- Основные запасы расположены в двух пластах БС<sub>9</sub> и БС<sub>10</sub><sup>2</sup>
- На 3 стадии разработки
- Безводные добывающие скважины отсутствуют
- Применяется система ППД с закачкой воды
- Механизированный способ добычи – ЭЦН
- Применяемые методы интенсификации добычи: ГРП, РИР, бурение горизонтальных скважин, забуривание боковых стволов



# Тестирование алгоритма на скважине Y

Параметр	Размерность	Значение
Относительная плотность газа	д.ед.	0,7
Плотность нефти	кг/м3	844
Плотность воды	кг/м3	1,014
Газосодержание	м3/м3	85,54
Давление насыщения	МПа	12,3
Температура пласта	С	86
Объемный коэффициент нефти	м3/м3	1,166
Вязкость нефти	мПа*с	1,01
Глубина ВДП	м	2776
Глубина спуска ЭЦН	м	2661
Диаметр НКТ	м	0,0678
Диаметр ОК	м	0,159
Дебит жидкости	м3/сут	101,04
Обводненность	%	22
Газовый фактор	м3/м3	85,54
Коэффициент продуктивности	м3/сут/МПа	9
Пластовое давление на ВДП	МПа	18,8
Буферное давление	МПа	1,5
Давление на приеме	МПа	5,7
Забойное давление	МПа	6,5



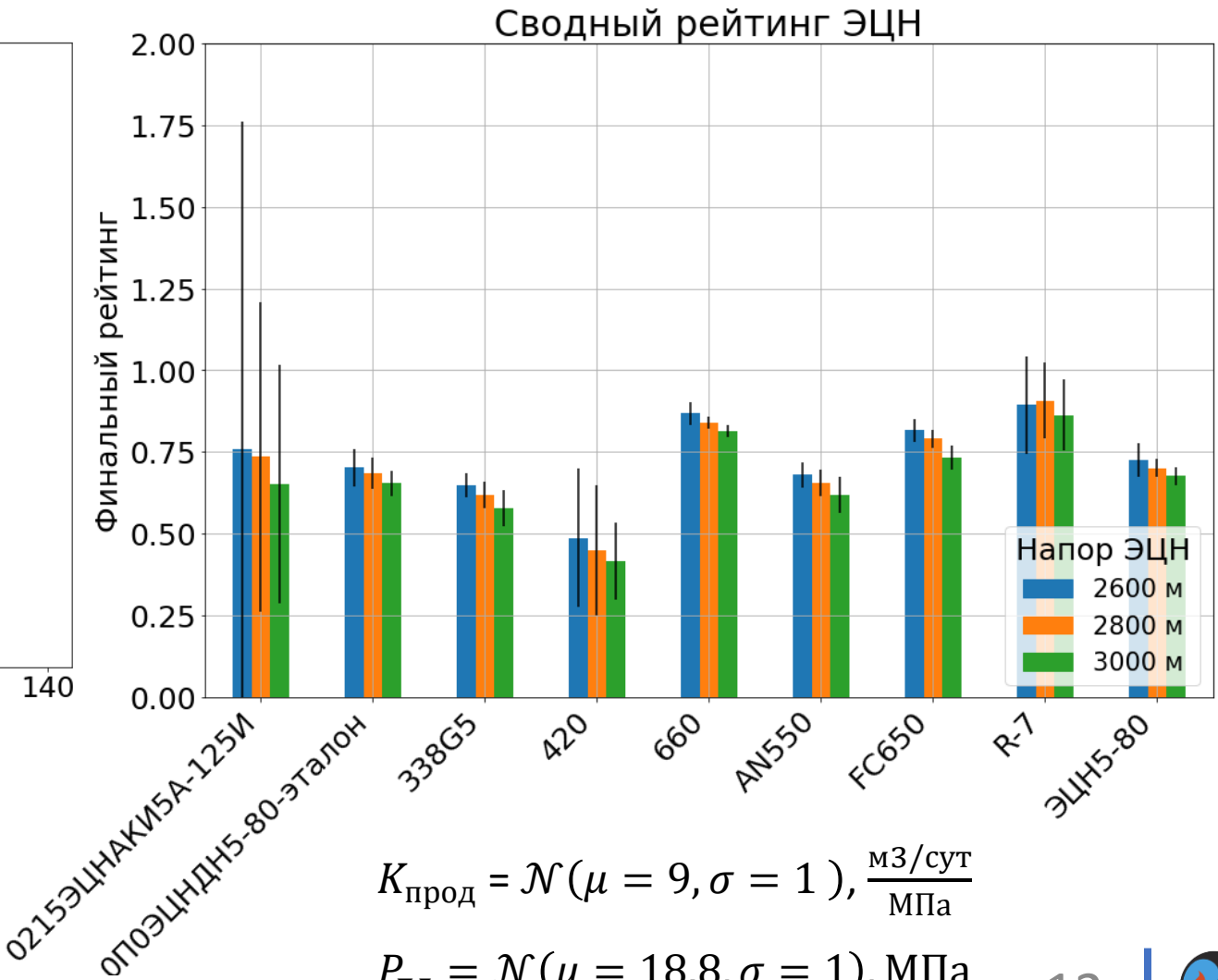
- Наклонно-направленная скважина
- ЭЦН5-80-2800
- Адаптация по давлению на приеме



# Тестирование алгоритма на скважине Y



- На текущем режиме работы ЭЦН5-80-2800 не является оптимальным
- Наиболее оптимальный Weatherford 660 с напором 2600 м

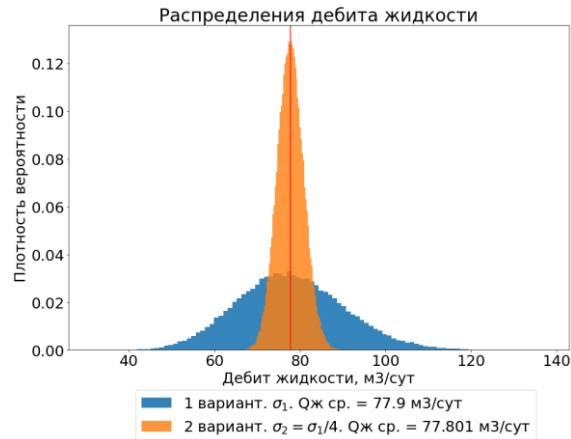


$$K_{\text{прод}} = \mathcal{N}(\mu = 9, \sigma = 1), \frac{\text{м}^3/\text{сут}}{\text{МПа}}$$

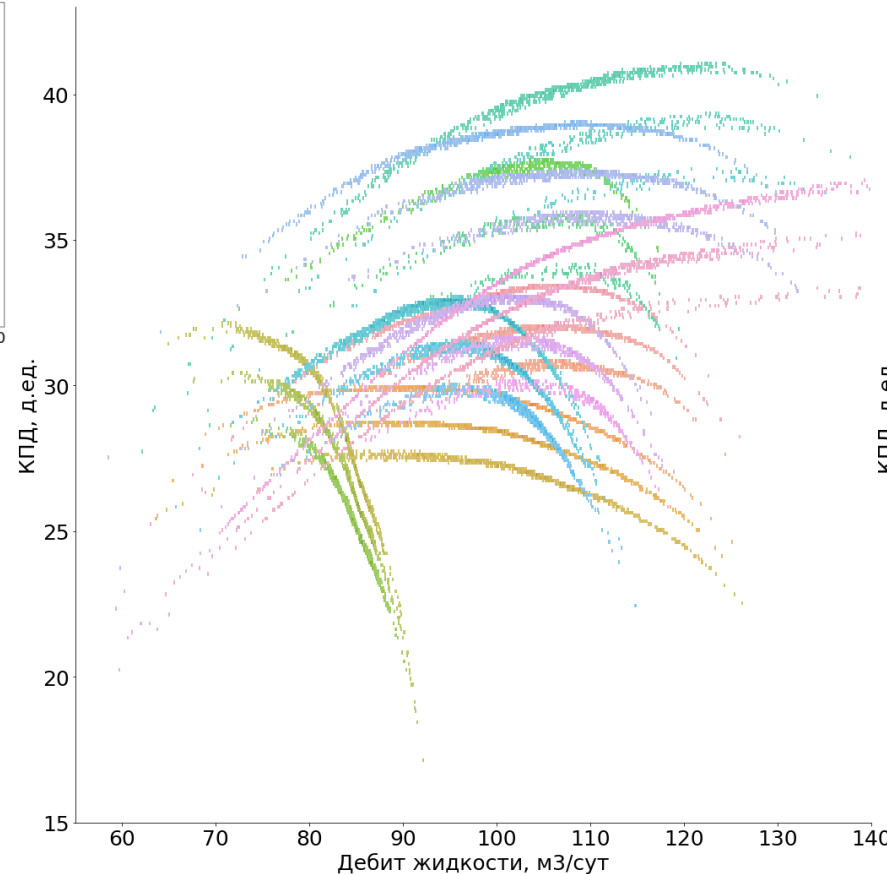
$$P_{\text{пл}} = \mathcal{N}(\mu = 18.8, \sigma = 1), \text{МПа}$$

# Влияние неопределенности на итоговое решение

Вариант №1:  $\sigma_1$

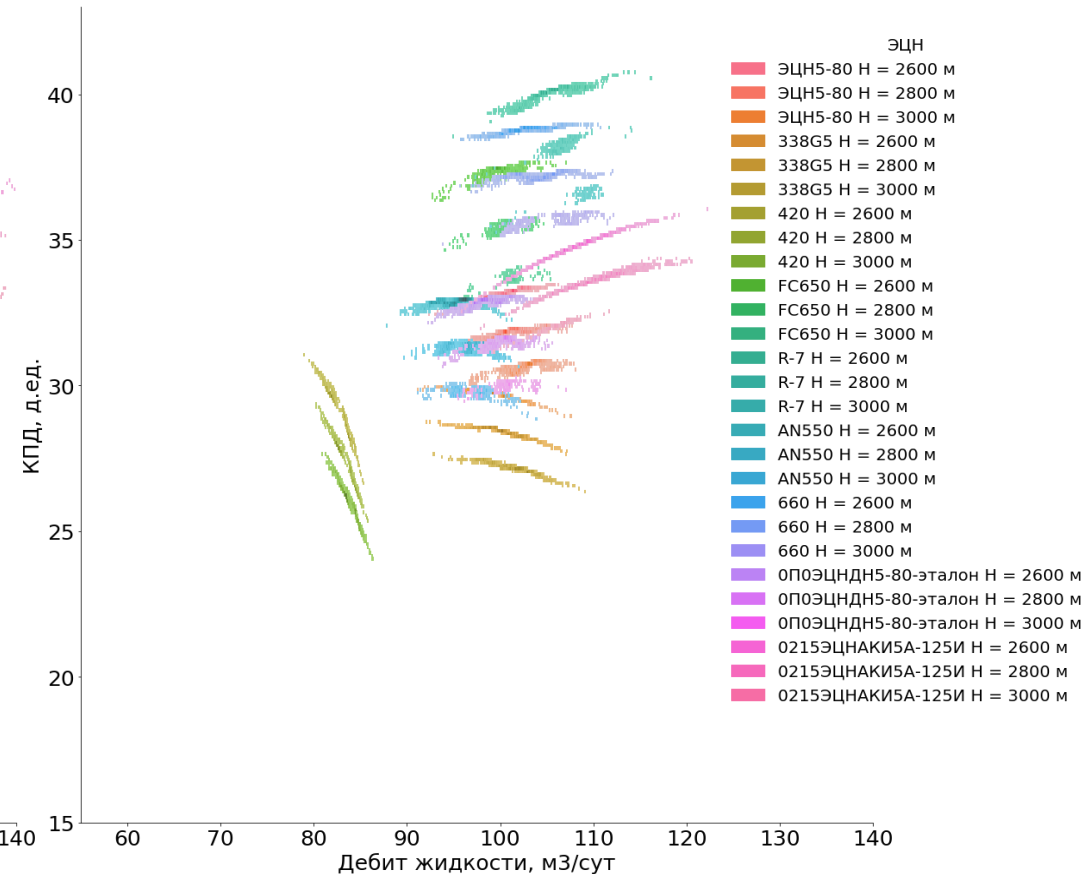


Среднеквадратичные отклонения для  $K_{\text{прод}}$  и  $P_{\text{пл}}$  в варианте №2 меньше в 4 раза



Лучшая компоновка: 660 Н – 2800 м

Вариант №2:  $\sigma_2 = \sigma_1/4$



Лучшая компоновка: 660 Н – 2600 м



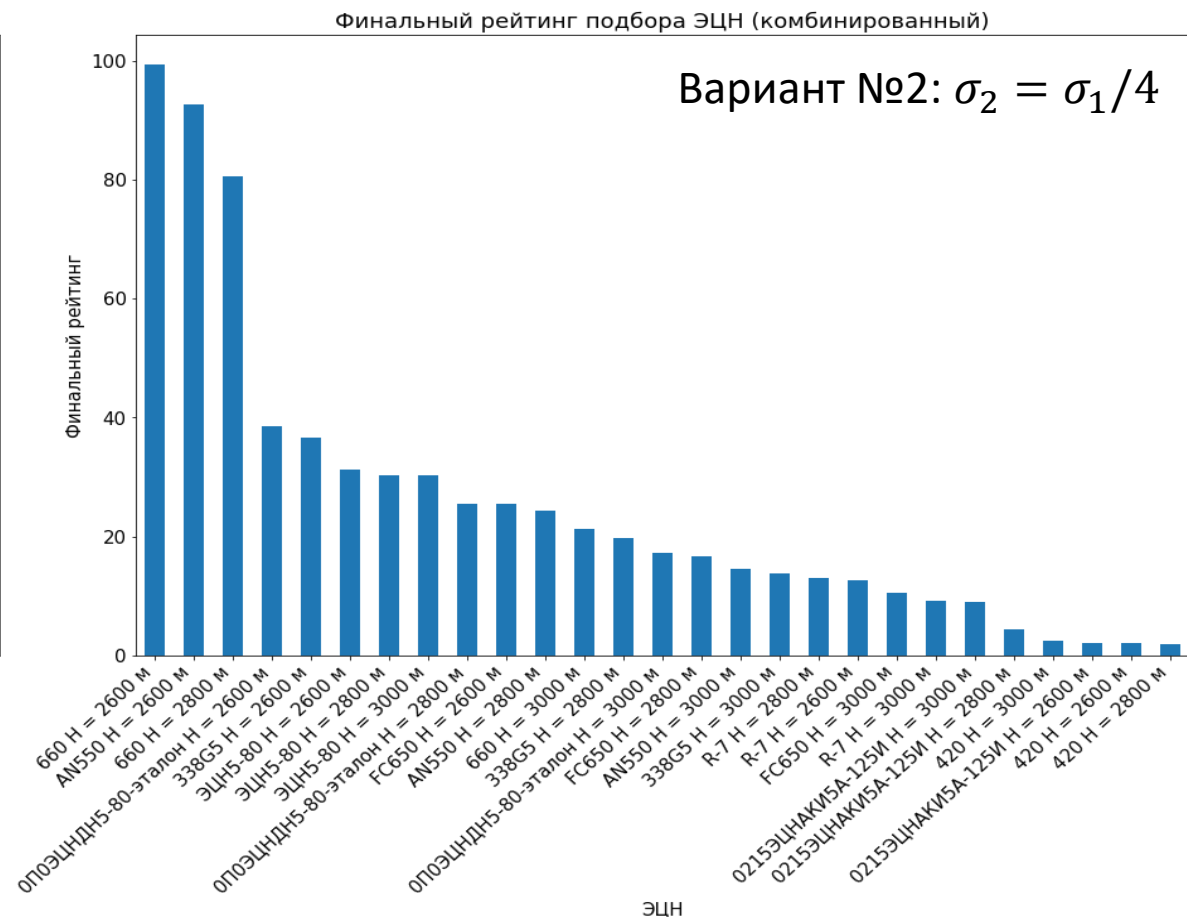
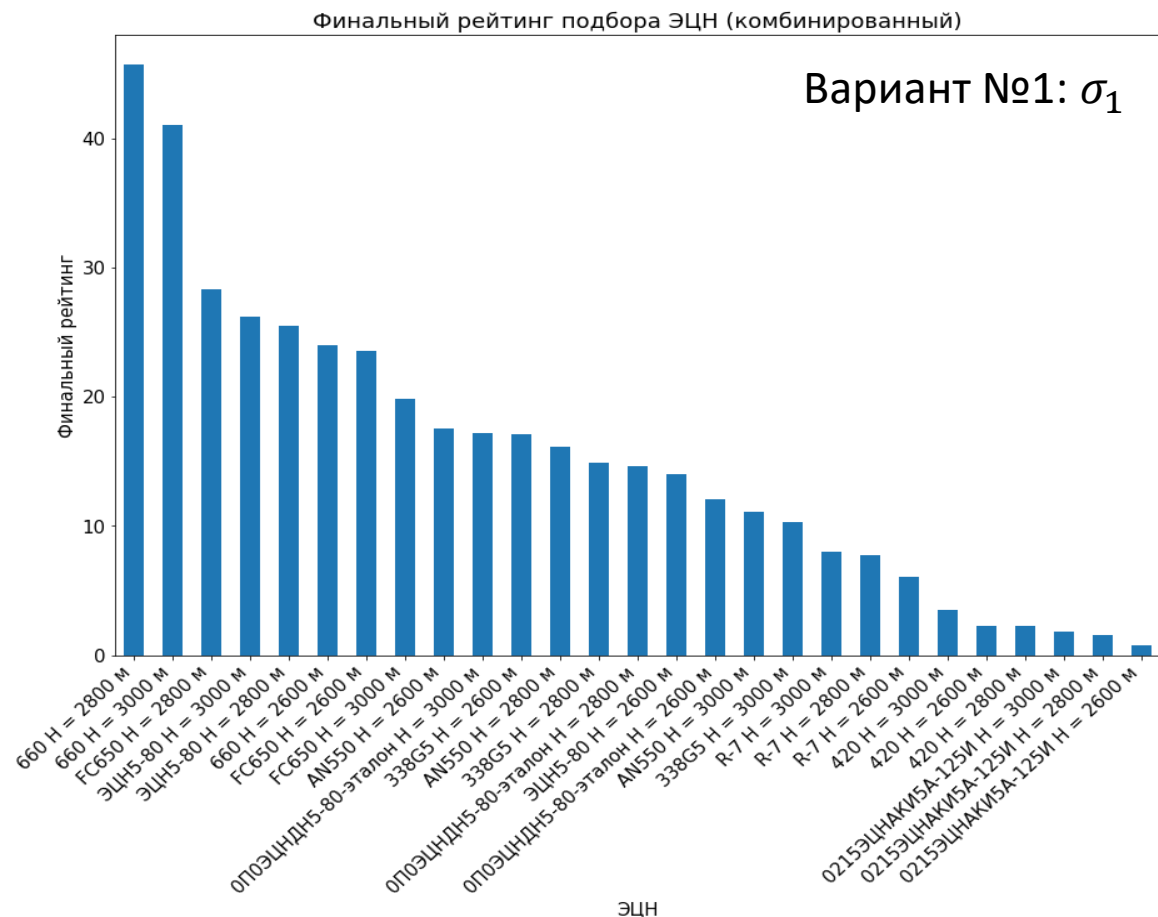


- Предложена новая методика по подбору погружного оборудования с учетом неопределенности в исходных данных
- Подтверждена ценность алгоритма в качестве продвинутого и автоматического анализа чувствительности
- Установлено изменение итогового решения при изменении степени уверенности во входных данных при тестировании алгоритма на скважине Y месторождения X в Западной Сибири
- Предложенная методика может быть расширена с помощью уточнения физической модели скважины, возможности задания распределений для других параметров
- Для модели сохраняются большие требования по скорости вычислений и плотной интеграции с промышленными базами данных для оценки разброса в неопределенности для исследуемых параметров



Спасибо за внимание!

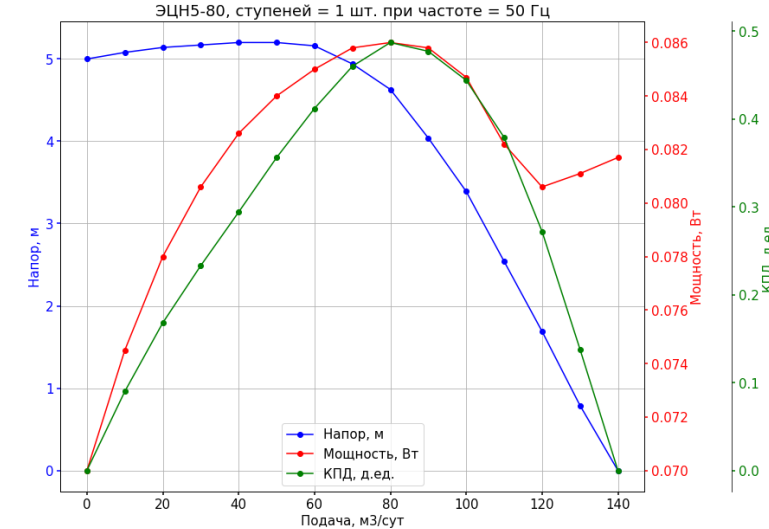
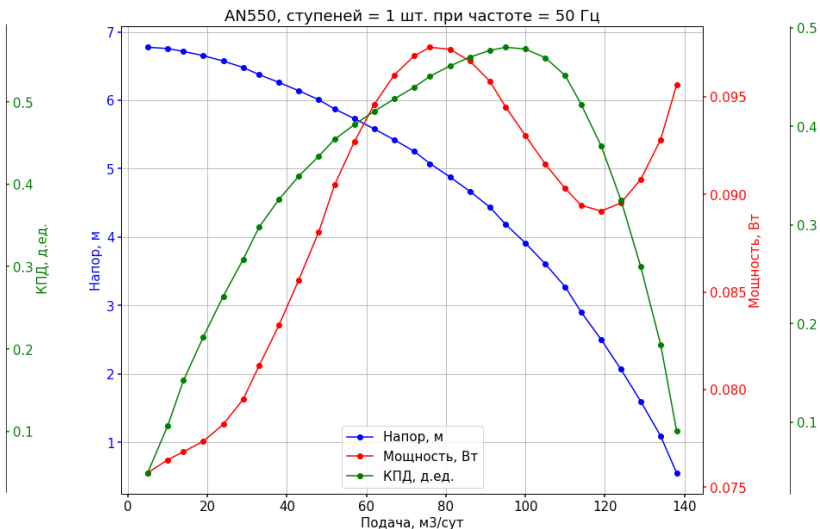
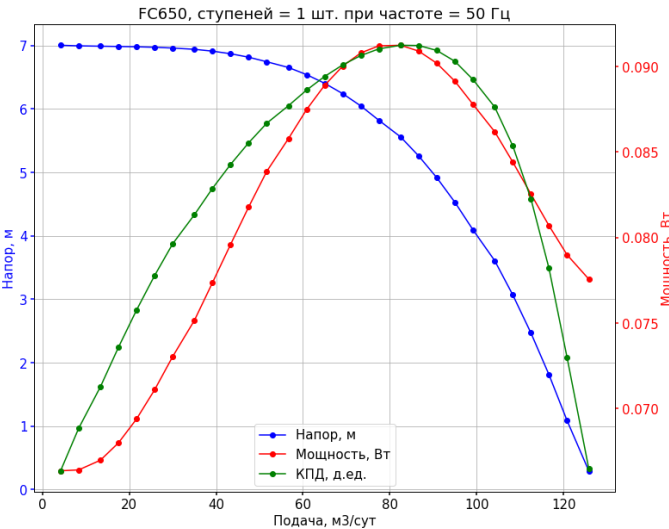
# Приложение



## Влияние неопределенности на итоговое решение



# Приложение



ID	226	412	649	685	1093	1111	1162	1185	1258
Производитель	Centrilift	Centrilift	ODI	Reda	Weatherford	Weatherford	Алмаз	Алмаз	Алнас
Название ЭЦН	338G5	FC650	R-7	AN550	420	660	0П0ЭЦНДН5-80-эталон	ЭЦН5-80	0215ЭЦНАКИ5А-125И
Макс. число ступеней	34	305	483	604	232	230	600	784	459
Подача (ном), м³/сут	66	83.3333	95	89	72	103	80	80	125
Левая граница, м³/сут	53	59.6202	66.2447	63.5949	50.8759	71.5443	60	60	75
Правая граница, м³/сут	93	105.992	119.24	111.291	95.3924	127.19	105	115	125
Макс. подача, м³/сут	143.94	127.709	160.551	142.133	111.032	185.574	129.15	140	234.684
Частота вращения, об/мин	2917	3500	3500	3500	3500	3500	2910	2910	2917
Частота (ном), Гц	50	50	50	60	60	60	50	50	50
КПД (макс.), д.ед.	0.432	0.59	0.615	0.47	0.55	0.65	0.4823	0.487	0.57

