

# НАУКА В ПРОЕКТИРОВАНИИ И РАЗРАБОТКЕ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ – НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ



ЕЖЕГОДНАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ



ТЮМЕНЬ

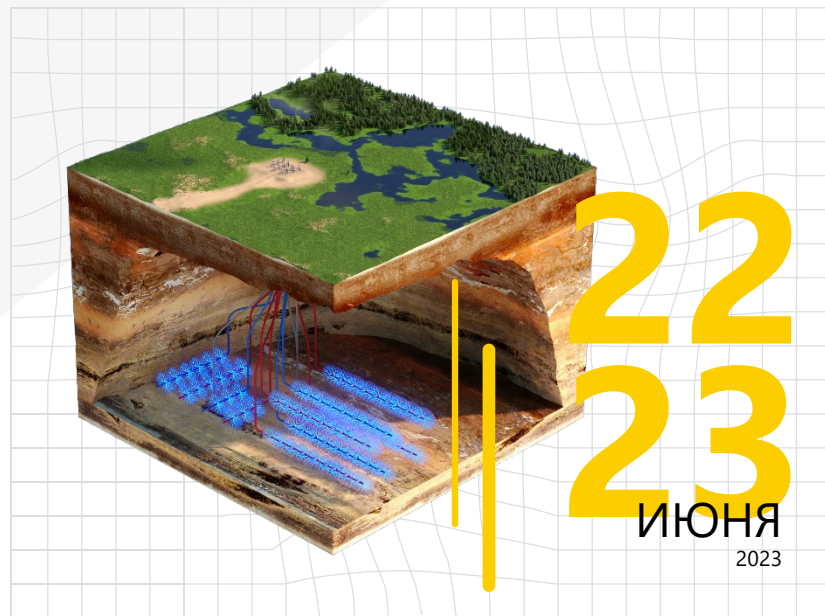
**Разработка инструмента по оптимизации системы ППД (оперативное регулирование режимов и долгосрочный анализ)**

**Чайкин Григорий Николаевич**

ООО «РН-КрасноярскНИПИнефть»

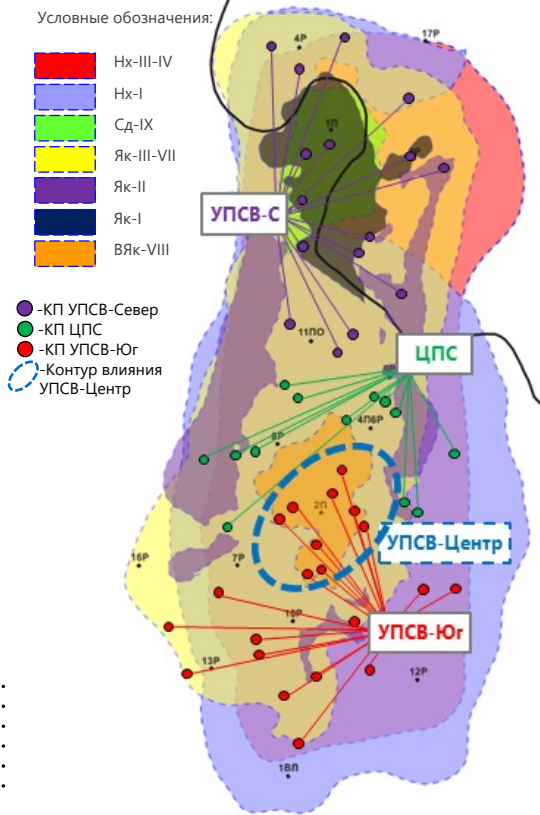
**Рощупко Дмитрий Витальевич  
Савченко Дарья Сергеевна**

ООО «РН-Ванкор»



# ВВЕДЕНИЕ

Карта совмещенных контуров нефтеносности



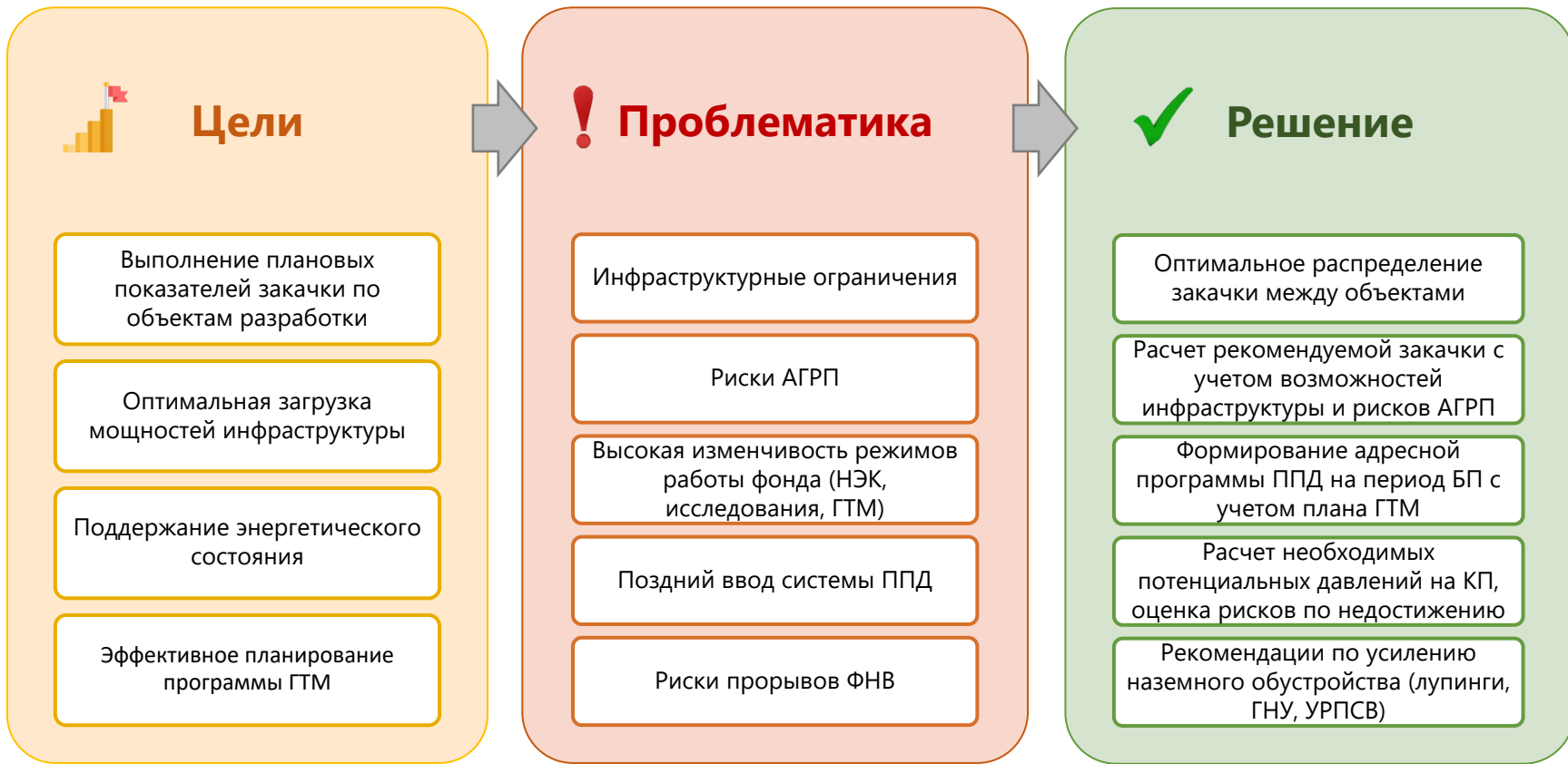
Система ППД Ванкорского месторождения организована посредством трёх площадных объектов (УПСВ-С, УПСВ-Ю, ЦПС), каждый из которых охватывает свою площадь заводнения продуктивных пластов, обладающих индивидуальными особенностями геологического строения и текущего состояния разработки

Пласт	Проблематика
<b>Як-III-VII</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Недостаточная компенсация добычи в зоне интенсивных отборов;</li> <li>2. Сложное геологическое строение;</li> <li>3. Блочно-квадратная система разработки;</li> <li>4. Рост выбытия фонда по НЭК.</li> </ol>
<b>Нх-III-IV</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Высокая расчлененность коллектора / контраст проницаемостей по разрезу;</li> <li>2. Массивная газовая шапка;</li> <li>3. Избирательная система разработки.</li> </ol>
<b>Нх-I</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Неравномерное распределение ФЕС по площади;</li> <li>2. Неравномерный ФНВ;</li> <li>3. Рядная система зарработки.</li> </ol>

## Общая проблематика

- ▶ Низкая накопленная компенсация
- ▶ Поздний ввод системы ППД
- ▶ Наличие зон недокомпенсации
- ▶ Сложности в управлении заводнением

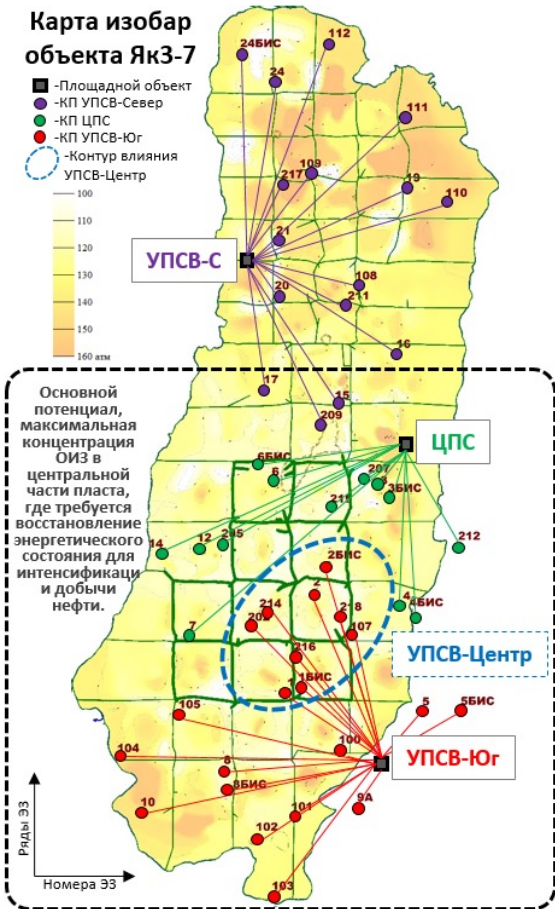
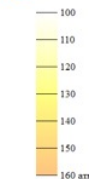
# ВВЕДЕНИЕ



# СТРАТЕГИЯ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ППД

Карта изобар  
объекта Як3-7

- -Площадной объект
- -КП УПСВ-Север
- -КП ЦПС
- -КП УПСВ-Юг
- -Контур влияния УПСВ-Центр



Необходимость учета особенностей каждого уровня организации системы ППД

Пункт сбора

Необходимость гармоничного распределения закачки между пластами в условиях инфраструктурных ограничений

Куст

Ограниченный потенциал по давлению и приемистости  
Интерференция между КП

Объект

Индивидуальная система разработки / организация закачки на каждом объекте

Элемент заводнения

Уникальная программа ГТМ, геологические особенности и энергетическое состояние

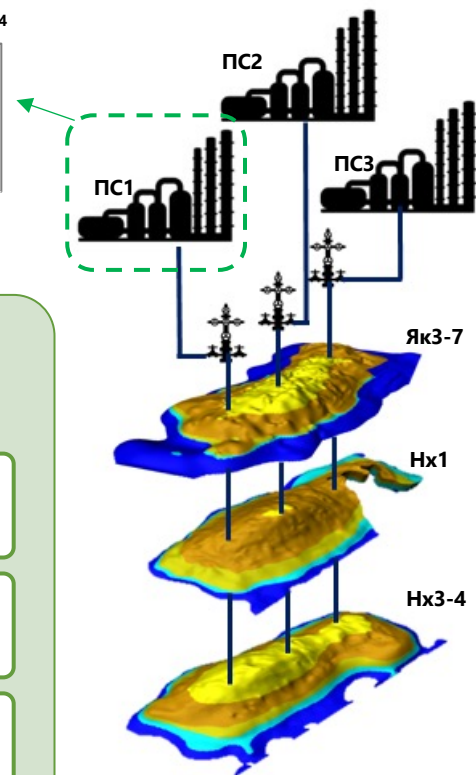
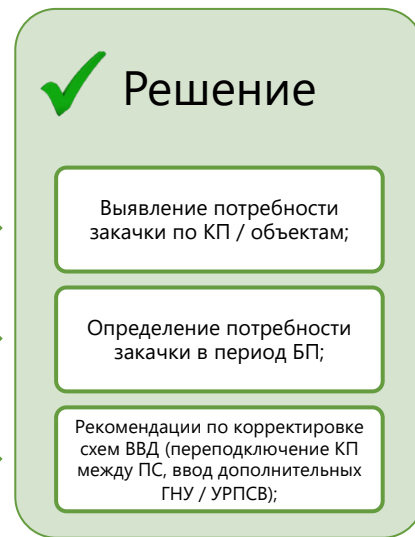
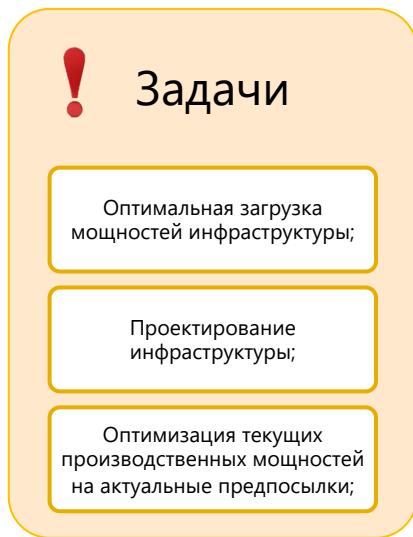
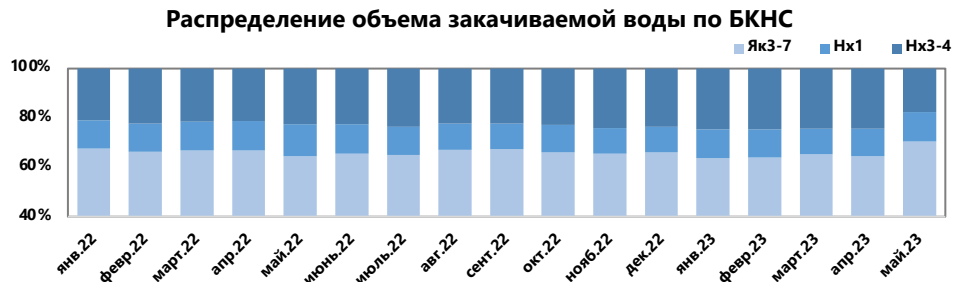
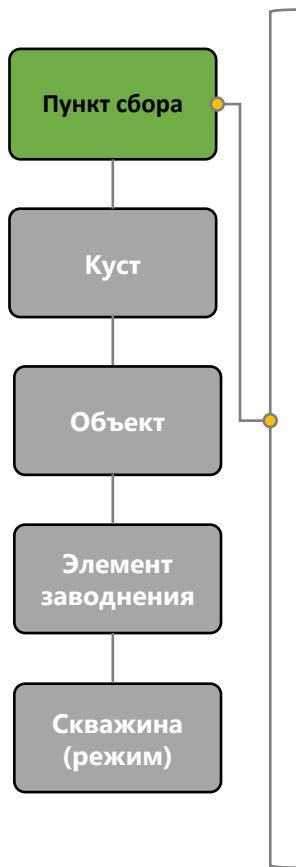
Скважина (режим)

Риск развития трещин АГРП  
Индивидуальный потенциал по приемистости

Реализация модуля «Анализ закачки»

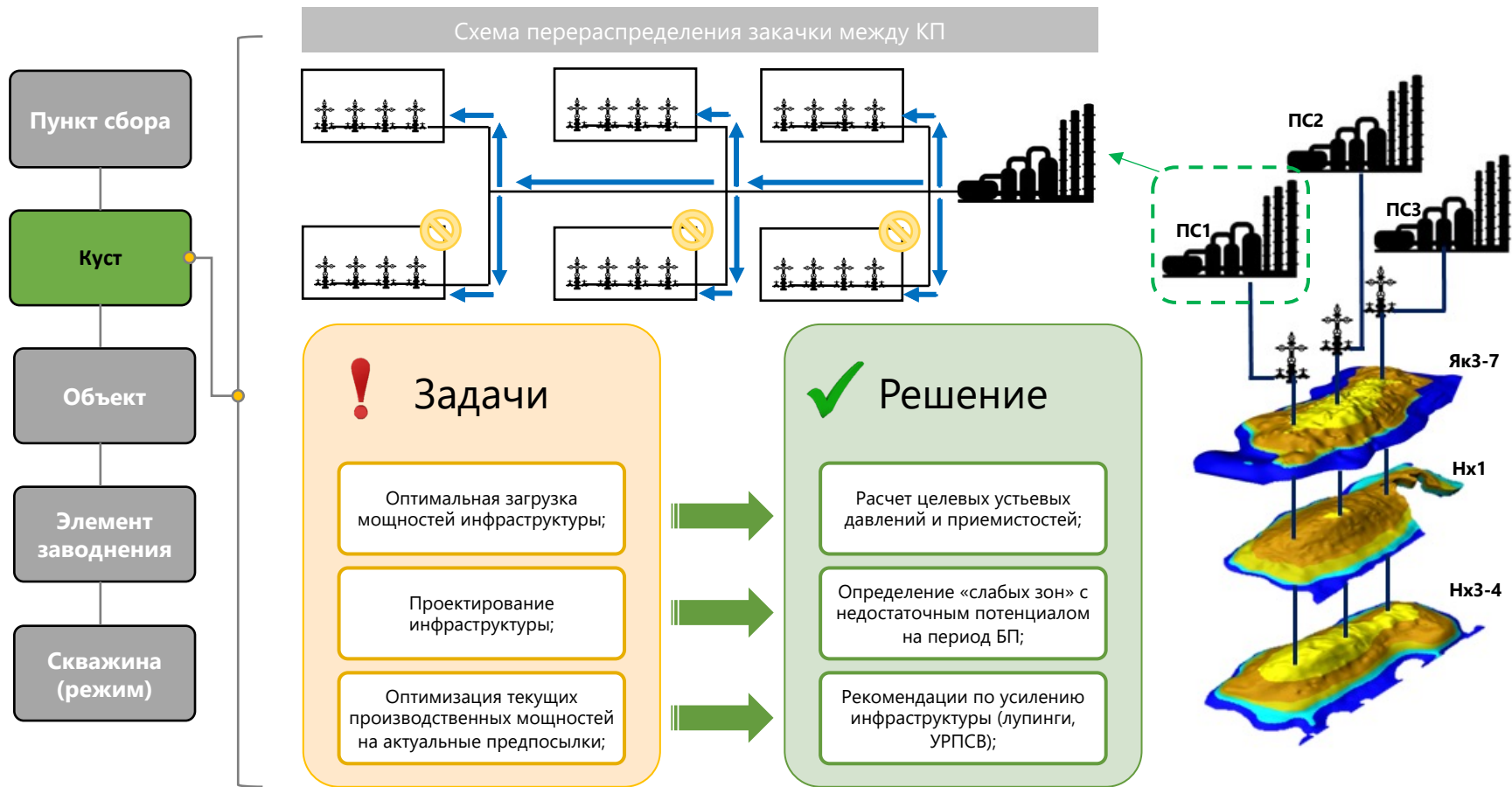
# СТРАТЕГИЯ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ППД

## ДЕТАЛИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЯЕМОГО АНАЛИЗА



# СТРАТЕГИЯ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ППД

## ДЕТАЛИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЯЕМОГО АНАЛИЗА



# СТРАТЕГИЯ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ППД

## ДЕТАЛИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЯЕМОГО АНАЛИЗА

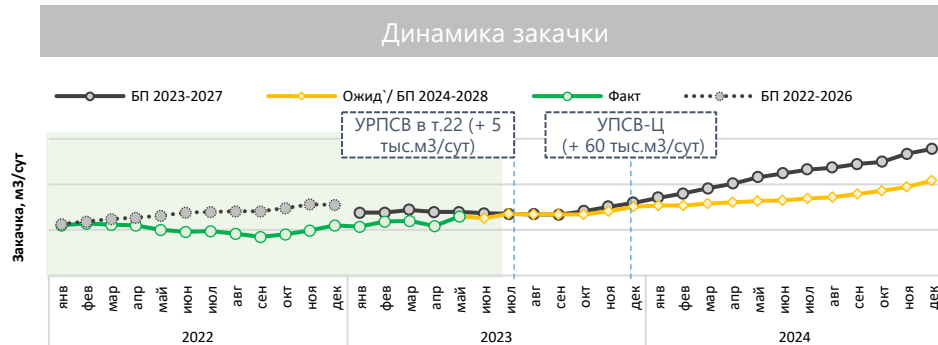
Пункт сбора

Куст

Объект

Элемент заводнения

Скважина (режим)



### Задачи

Обеспечение оптимальной компенсации отборов;

Эффективное планирование уровней закачки;

Обеспечение целевой компенсации по объекту на период БП;



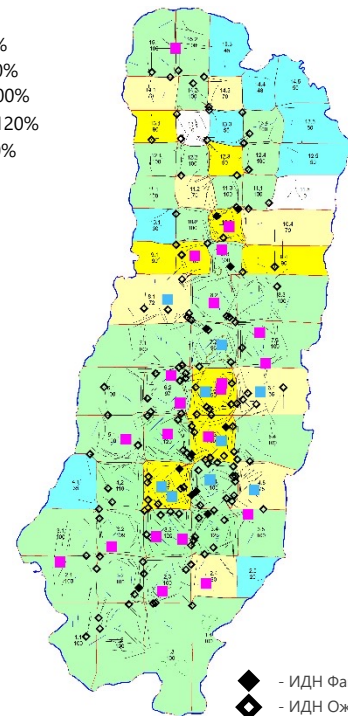
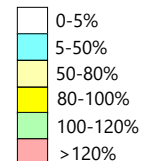
### Решение

Прогноз рекомендуемой закачки;

Анализ рисков недостижения компенсации;

Формирование предложений по усилению программы ППД;

Программа ИДН и ППД на карте компенсации объекта Як3-7



■ - Программа ППД 2023

■ - Рекомендации доп. точки АЗ



# СТРАТЕГИЯ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ППД

## ДЕТАЛИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЯЕМОГО АНАЛИЗА

Пункт сбора

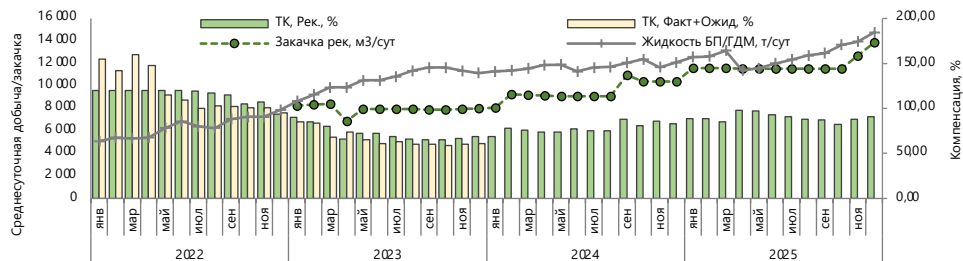
Куст

Объект

Элемент заводнения

Скважина (режим)

Динамика показателей по ЭЗ 5.3



### Задачи

Определение целевой закачки;

Анализ возможности достижения целевого уровня закачки;

Достижение целевого уровня закачки;



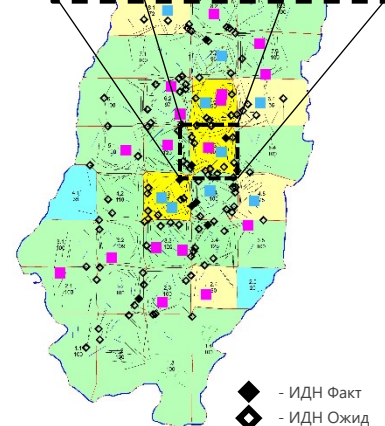
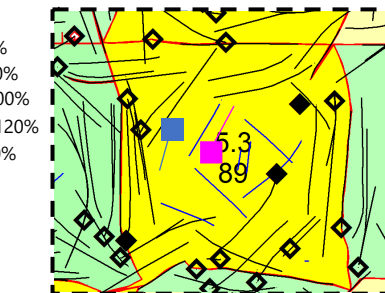
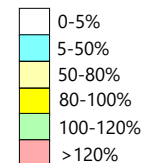
### Решение

Расчет планируемого уровня добычи с учетом программы ГТМ;

Учет потенциального уровня закачки исходя из возможностей инфраструктуры;

Формирование предложений по усилению программы ППД;

Программа ИДН и ППД на карте компенсации объекта Як3-7



◆ - ИДН Факт  
◆ - ИДН Ожид

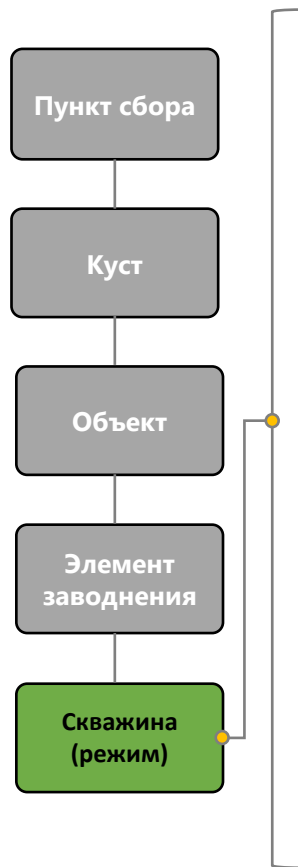
■ - Программа ППД 2023

■ - Рекомендации доп. точки АЗ



# СТРАТЕГИЯ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ППД

## ДЕТАЛИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЯЕМОГО АНАЛИЗА



Параметры работы нагнетательных скважин ЭЗ 5.3

Скважина ППД	1129	1144	1207	1271	947А	954А	1510А
Куст	215	215	2	215	2БИС	2БИС	3
Рагрп, атм	295	293	273	296	300	302	335
Рзаб, атм	279	279	253	271	281	294	292
Руст, атм	118	130	105	116	121	130	139
Статус АГРП	0	0	0	0	0	0	0
Приемистость потенциальная, м3/сут	1403	2233	1836	1284	1758	1036	1200
Текущий режим, м3/сут	1136	2125	1565	938	1316	870	835
Приемистость ГДМ, м3/сут	1136	2125	1565	938	1316	870	835
Приемистость рекомендуемая, м3/сут	1403	2233	1836	1284	1758	1036	1200
Отклонение, м3/сут	-267	-108	-271	-346	-442	-166	-365
Доп. ограничение, м3/сут	0	0	0	0	0	0	0

### ! Задачи

Определение целевой закачки;

Анализ возможности достижения целевого уровня закачки;

Достижение целевого уровня закачки;

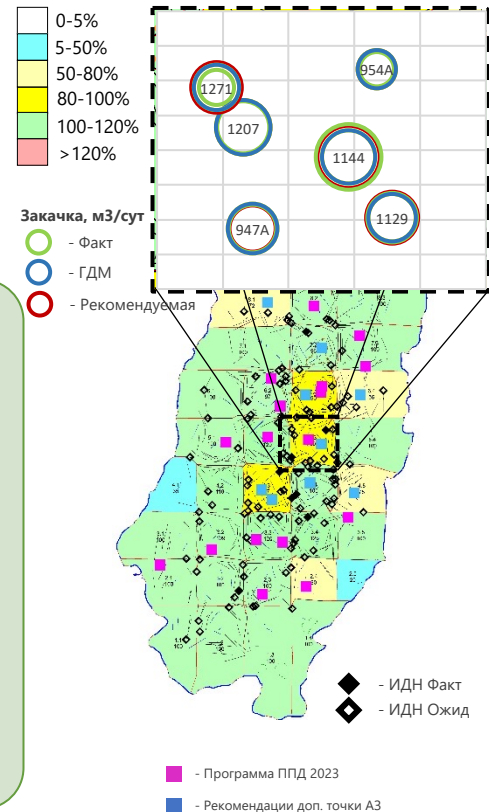
### ✓ Решение

Определение планируемого уровня добычи с учетом программы ГТМ по ЭЗ;

Учет потенциального уровня закачки исходя из возможностей инфраструктуры, рисков АГРП и влияния на добывающий фонд;

Формирование предложений по усилению системы ППД (доп ПВР, перераспределение с других КП);

Программа ИДН и ППД на карте компенсации объекта Як3-7



# КЛЮЧЕВЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОДУЛЯ

## Основные направления работ

### Оперативное регулирование

Оптимизация режимов нагнетательного фонда

Проработка мероприятий по обеспечению целевого уровня закачки


### Долгосрочный анализ


Формирование бизнес-плана

Итеративный анализ вариантов развития


Анализ рисков выполнения планируемых уровней закачки


## Преимущества модуля по сравнению с другими инструментами

Оперативность 

Учет возможностей инфраструктуры 

Учет рисков АГРП 

Подбор мероприятий по достижению целевой закачки 

Возможность сравнения прогнозов аналитики и ГДМ с детализацией до уровня ЭЗ 

# АЛГОРИТМ РАСЧЕТА

## Формула определения оптимальной закладки

$$TK = \frac{INJ_{(пл.усл)}}{Q_{доб(пл.усл)}}$$

$$INJ_{(пл.усл)_{opt}} = TK_{opt} \cdot Q_{доб(пл.усл)}$$

Оптимальный уровень закладки      Оптимальный коэффициент компенсации      Прогнозный уровень отборов (пл. усл)

1 Расчет прогнозного уровня отборов по ЭЗ (в пл. усл.):  $Q_{доб}$ , м3/сут

2 Расчет целевого (оптимального) уровня закладки по ЭЗ:

$$INJ_{opt} = Q_{доб} \cdot TK_{opt}$$

Где  $TK_{opt} \in (1; 1.2)$  — оптимальный коэффициент компенсации

3 Расчет потенциала закладки по ЭЗ:

$$1) P_{инфр} = P_{БГ\ куста} + P_{гидростат} - P_{трение}$$

$P_{АГРП}$  – из уравнения Итона–Андерсона

$$2) P_{заб\ потенц} = P_{АГРП} \text{ if } P_{АГРП} < P_{инфр} \text{ else } P_{инфр}$$

$$3) INJ_{p.well} = \frac{(P_{заб\ потенц} - P_{пл}) \cdot INJ_{тек}}{(P_{заб\ тек} - P_{пл})}$$

$$4) INJ_p = \sum INJ_{p.well}$$

4

Расчет рекомендуемой закладки по ЭЗ:

$$INJ_{рек} = INJ_p \text{ if } INJ_p < INJ_{opt} \text{ else } INJ_{opt}$$

5

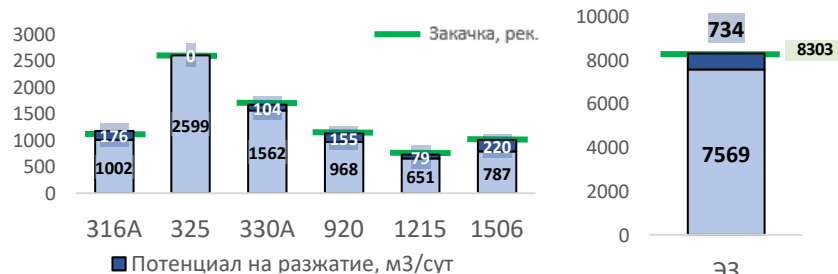
Распределение рекомендуемой закладки по скважинам ППД:

**Необходимо закятие:** приемистость снижается в первую очередь по скважинам с наибольшей потенциальной приемистостью до значения второй по убыванию скважины, далее по обеим равномерно снижается до уровня следующей и т.д.



■ Закладка, рек.    ■ Закладка потенциал, м3/сут

**Необходимо разкятие:** приемистость увеличивается по скважинам до потенциала с учетом ограничений по фактическому влиянию на добывающий фонд



# ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОДУЛЯ «АНАЛИЗ ЗАКАЧКИ»

Мониторинг разработки

Рекомендуемая закачка

Оценка потенциала закачки

## Окно выбора группы параметров

Блок УРМ

Факт МЭР/ТР

Ожид 23

Мониторинг БП 23-27 вер. Сентябрь

Мониторинг БП 23-27 вер. Май

Мониторинг БП 22-26

прогноз ГДМ

ГДМ (БП 23-27 вер. Сент)

ГДМ (БП 23-27 вер. Май)

Блок УППР

Рек. закачка под БП 23-27 вер. сент

Рек. закачка под Ожид (ИДН)

Рекомендуемые режимы (таблица)

Рекомендуемые режимы (график)

Оценка потенциала закачки

Отчёт по ЭЗ  месяц

Отчёт по ЭЗ (суммарный)

Отчёт по кустам  месяц

## Панель выбора уровня мониторинга

Анализ закачки 0.829.xlsm - Excel

ГЛАВНАЯ ВСТАВКА РАЗМЕТКА СТРАНИЦЫ ФОРМУЛЫ ДАННЫЕ РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ ВИД РАЗРАБОТЧИК

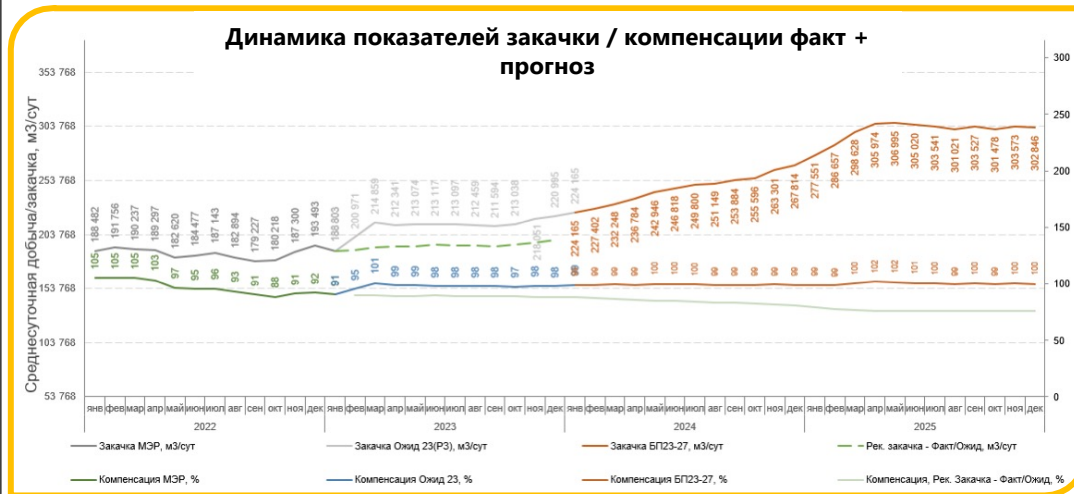
Загрузка  Графики  Навигация

Инструкция МЭР: 01.01.2023 ТехРежим: 01.02.2023

Собрать  Открыть основной лист  Выбрать Объекты  Выбрать Ячейки  Отчет 33/Скв.  Открыть

Справка  Расчеты  Переключить на БП  Учет Р на бг куста  Ячейка:  Скважина:  Дата:  Плат:  Рекомендемая закачка

Программа ППД  Обновить  Фильтр  Оценка потенциала закачки



### Показатели

- Среднесуточный дебит жидкости, т/сут
- Средне суточный дебит нефти, т/сут
- Среднесуточная закачка, м3/сут
- Обводненность, %

### Давление

- Рпл (доб)  Рпл (наг)  Рпл (доб+наг)
- Разб (доб)  Разб (наг)  Разб

### Компенсация:

- Текущая компенсация

### Добывающий фонд

- Действующий, шт
- Бездействующий, шт
- ГТМ на ДД:  ВНС, шт  ЗЭС, шт

### Фонд ППД

- Соотношение фонда доб/наг
- Бездействующий, шт

### Действующий фонд ППД - Контроль АГРП:

- Фонд ППД с открытой трещиной  ВНС
- Фонд ППД с закрытой трещиной  ЗЭС
- Фонд ППД без трещин  Перевод

➤ Инструмент «Анализ закачки» разрабатываемый на базе «Excel», позволяет осуществлять мониторинг и оперативное регулирование процесса разработки месторождения в прогнозный период на всех уровнях: объект — ЭЗ — скважина;

➤ Инструмент позволяет сравнивать различные группы параметров по выбранной зоне на одном графике, с возможностью включения / отключения интересующих.

# ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОДУЛЯ «АНАЛИЗ ЗАКАЧКИ»

Мониторинг разработки

Рекомендуемая закачка

Оценка потенциала закачки

## Окно выбора группы параметров

Блок УРМ

Факт МЭР/ТР

Ожид 23

Мониторинг БП 23-27 вер. Сентябрь

Мониторинг БП 23-27 вер. Май

Мониторинг БП 22-26

прогноз ГДМ

ГДМ (БП 23-27 вер. Сент)

ГДМ (БП 23-27 вер. Май)

Блок УППР

Рек. закачка под БП 23-27 вер. сент

Рек. закачка под Ожид (ИДН)

Рекомендуемые режимы (таблица)

Рекомендуемые режимы (график)

Оценка потенциала закачки

Отчёт по ЭЗ  МЕСЯЦ

Отчёт по ЭЗ (суммарный)

Отчёт по кустам  МЕСЯЦ

## Панель выбора уровня мониторинга

Анализ закачки 0.829.xlsxm - Excel

ФАЙЛ ГЛАВНАЯ ВСТАВКА РАЗМЕТКА СТРАНИЦЫ ФОРМУЛЫ ДАННЫЕ РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ ВИД РАЗРАБОТЧИК

МЭР: 01.01.2023  
Инструкция  
ТехРежим: 01.02.2023

Справка Расчеты

Собрать Открыть основной лист Выбрать Объекты Фильтры

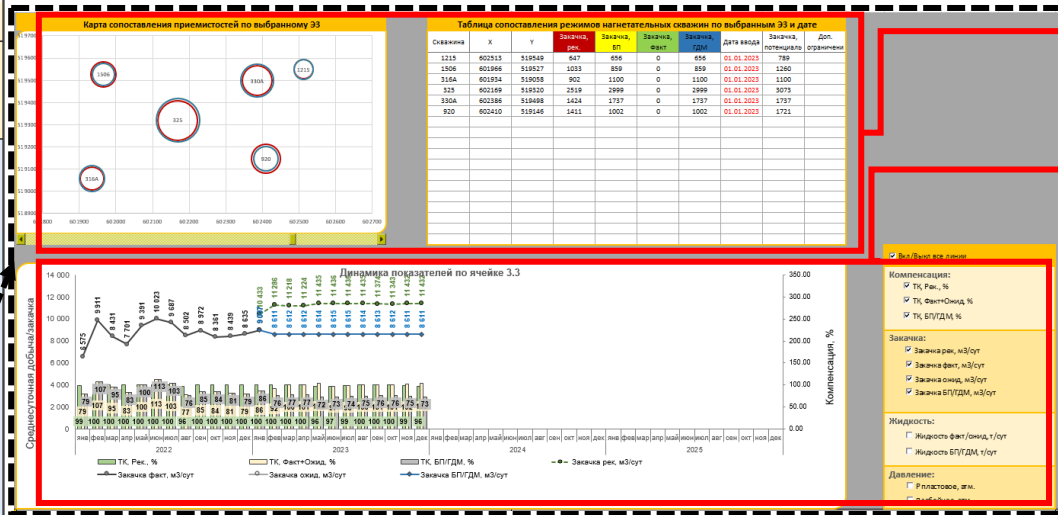
Отчет 33/Скв.  Переключить на БП Ячейка: 3.3  
 Учет Р на бг куста Дата: 01.03.2023  
 Открыть Плат: Як 3-7

Загрузка Загрузки Графики Навигация

График по скважине Программа Обновить Фильтр

Оценка потенциала закачки

❖ Выбор входных параметров для отображения и сборка отчета (кнопка «Отчет ЭЗ/Скв.»);



❖ Блок поскважинного анализа с отображением расположения по площади и режимов работы на выбранную дату;

❖ Блок анализа параметров ЭЗ в динамике по выбранному варианту прогноза (БП / Ожид);

В основу модуля «Анализ закачки» заложен алгоритм, рассчитывающий рекомендуемый поскважинный режим работы скважин, включающий в себя несколько этапов:

1. Расчёт целевой закачки элемента заводнения (далее ЭЗ) исходя из требуемой компенсации (центральная зона Як37-120%, остальные ЭЗ – 100%);

2. Расчет потенциальной приёмистости скважин ППД с учётом риска АГРП;

3. Расчёт поскважинной рекомендуемой приемистости с учетом результатов, полученных в п.1 и п.2.

Высокий уровень эффективности закачки обеспечен комплексным подходом к управлению заводнением:

- Возможность сравнения двух вариантов прогнозирования: аналитический прогноз и гидродинамический расчёт;
- Учёт текущих ограничений фонда ППД по влиянию на добывающий фонд;
- Расчёт потенциала закачки с учётом АГРП и возможностей инфраструктуры.

# ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОДУЛЯ «АНАЛИЗ ЗАКАЧКИ»

Мониторинг разработки

Рекомендуемая закачка

Оценка потенциала закачки

## Окно выбора группы параметров

Блок УРМ

Факт МЭР/ТР

Ожид 23

Мониторинг БП 23-27 вер. Сентябрь

Мониторинг БП 23-27 вер. Май

Мониторинг БП 22-26

прогноз ГДМ

ГДМ (БП 23-27 вер. Сент)

ГДМ (БП 23-27 вер. Май)

Блок УППР

Рек. закачка под БП 23-27 вер. сент

Рек. закачка под Ожид (ИДН)

Рекомендуемые режимы (таблица)

Рекомендуемые режимы (график)

Оценка потенциал а закачки

Отчёт по ЭЗ  МЕСЯЦ 12

Отчёт по ЭЗ (суммарный)

Отчёт по кустам  МЕСЯЦ 4

## Панель выбора уровня мониторинга

Анализ закачки 0.829.xlsxm - Excel

ГЛАВНАЯ ВСТАВКА РАЗМЕТКА СТРАНИЦЫ ФОРМУЛЫ ДАННЫЕ РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ ВИД РАЗРАБОТЧИК

Инструкция МЭР: 01.01.2023 ТехРежим: 01.02.2023

Собрать Открыть основной лист Выбрать Объекты Выбрать Ячейки Фильтры

Перекл. на БП Ячейки: 3:3 Скажина: 935А

Учет Р на бг куста Дата: 01.03.2023 График по скажинам

Справка Расчеты Отчет 33/Скв. Открыть

Пласт: Як 3-7

Рекомендуемая закачка

Программа Обновить Фильтр Оценка потенциала закачки

отчет по скважинам на: 01.12.2023

Расчетная приемистость доп. точек ППД, м3/сут. 1500

Дат	Анализ	ГДМ/БП	Ожид	Компенсационные мероприятия	Приорит	ИТОГ	Скважина ППД	1029А	1204	273	339	934А	1802	5А
4.3	Комп. нсация, %	88	66	83		58	Муст	202	202	202	2	202	216	2
4.3	Потенциал закачки, м3/сут	100	87	83	120	58	Резерв, атм	297	276	302	285	293	294	38
4.3	Суммарная приемистость, м3/сут	7108	9416	8790		58	Резерв, атм	266	271	276	259	252	301	37
4.3	Доб. в нефти, м3/сут	875	538	891		58	Руст, атм	107	103	94	123	85	140	20
4.3	Обводненность, %	88	94	90		58	Статус АРРП	1	1	0	1	1	0	0
4.3	Зав. в м3/сут	6456	6342	7340		58	Приемистость потенциальная, м3/сут	1079	1190	224	2664	1381	1253	48
4.3	Потенциал закачки, м3/сут	7525	8439	7525	12939	58	Текущий режим, м3/сут	621	471	44	2220	1329	1216	41
4.3	Рекомендуемая закачка, м3/сут	7372	8439	7525	11640	58	Приемистость ГДМ, м3/сут	621	471	44	2220	1329	1216	41
4.3	Фонд ППД, св	7	7	7	10	58	Фонд приемистости рекомендуемая, м3/сут	1079	1190	224	2664	1381	1253	48
4.3	ИДН, атм	0	124	12		58	Опложение, м3/сут	-458	-719	-180	-444	-52	-37	27
4.3	Потенциал закачки, м3/сут	124	124			58	Доп. организоване, м3/сут	0	0	0	0	0	0	0
4.3	Распределение фонда	0	0	0		58	Приемистость рекомендуемая (руч.), м3/сут	921	771	344	2520	1629	1516	41
4.3	Давление в ЭЗ	0	0	0		58	Коэф. распределения закачки							
4.3	ИДН, атм	0	2474	4766		58								
4.3	Прирост нефти от ИДН, т/сут	230	612			58								
4.3	Прирост нефти от ИДН, т/сут	230	612			58								
4.3	Дата ввода	01.01.2023	01.01.2023	01.01.2023		58								
4.3	Скважина ППД	1031А	322А	326	914А	1136	256А							
3.4	Комп. нсация, %	93	88	101		71	18НС	1	1	18НС	216	18НС		
3.4	Потенциал закачки, м3/сут	100	100	100	120	71	Резерв, атм	283	288	288	285	301	289	41
3.4	Суммарная приемистость, м3/сут	8573	8188	9299		71	Резерв, атм	264	277	245	266	313	255	0
3.4	Доб. в нефти, м3/сут	1246	1564	1190		71	Руст, атм	107	118	91	111	153	144	0
3.4	Обводненность, %	85	81	87		71	Статус АРРП	1	1	1	1	0	1	0
3.4	Зав. в м3/сут	8344	7438	9244		71	Приемистость потенциальная, м3/сут	1578	1535	2852	2323	1116	1448	60
3.4	Потенциал закачки, м3/сут	15078	15832	15078	23532	71	Изулудий резерв, м3/сут	624	1533	1271	1169	1116	1023	0
3.4	Рекомендуемая закачка, м3/сут	8934	8472	9654	10166	1694	Приемистость ГДМ, м3/сут	824	1433	1271	1769	1116	1023	0
3.4	Фонд ППД, св	0	0	0	0	3	Приемистость рекомендуемая, м3/сут	2322	1198	2227	1814	871	1130	847

❖ Сборка листа «Оценка потенциала закачки»;

❖ Блок поэлементного анализа с отображением основных параметров разработки на выбранную дату;

❖ Сборка листа «Оценка потенциала закачки» с учетом ручного распределения доли приемистости скважин в ЭЗ;

❖ Блок выбора весовых коэффициентов по параметрам разработки для составления рейтинга ЭЗ;

❖ Блок поскважинного анализа параметров ЭЗ по выбранному варианту прогноза (БП / Ожид) с выявлением необходимого количества доп точек ППД и их режимов работы;

Опция «Оценка потенциала закачки» включает:

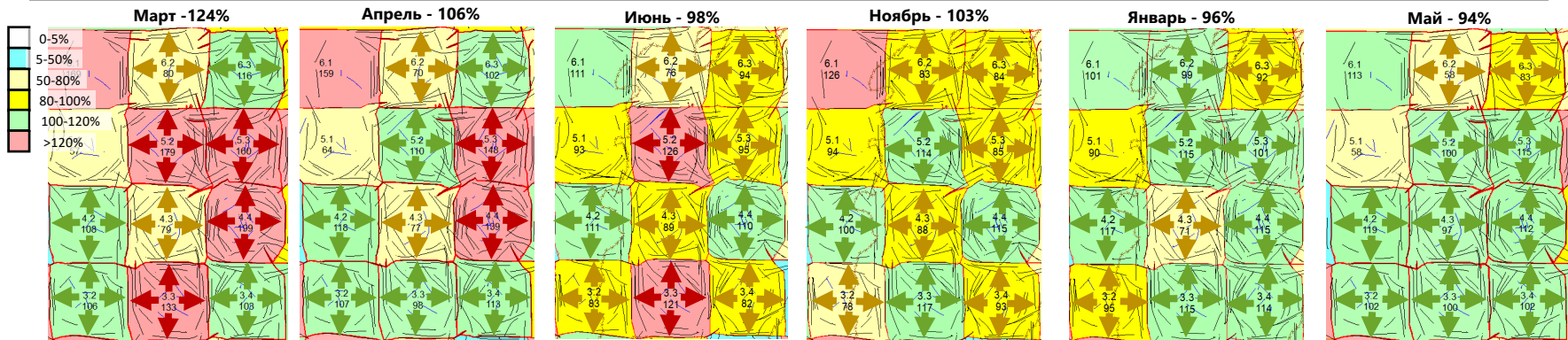
- Оценка потребности в точках ППД на выбранную дату;
- Составление рейтинга ЭЗ в зависимости от текущего приоритета (прирост нефти от ИДН, потенциал закачки, компенсация, давление и т.д.);
- Анализ режимов работы скважин с учетом текущего состояния разработки ЭЗ и планирования ГТМ на добывающем и нагнетательном фонде;

# Динамика выравнивания фронта вытеснения центральной зоны Як-III-VII

## Динамика компенсации центр Як-III-VII



## Динамика компенсаций по ЭЗ центр Як-III-VII



- Реализация программы по оптимизации закачки позволяет достичь равномерного распределения закачки и как следствие оптимальную ТК по ЭЗ.
- Текущее распределение компенсации по ЭЗ формируют более равномерное вытеснение к границам ЭЗ;

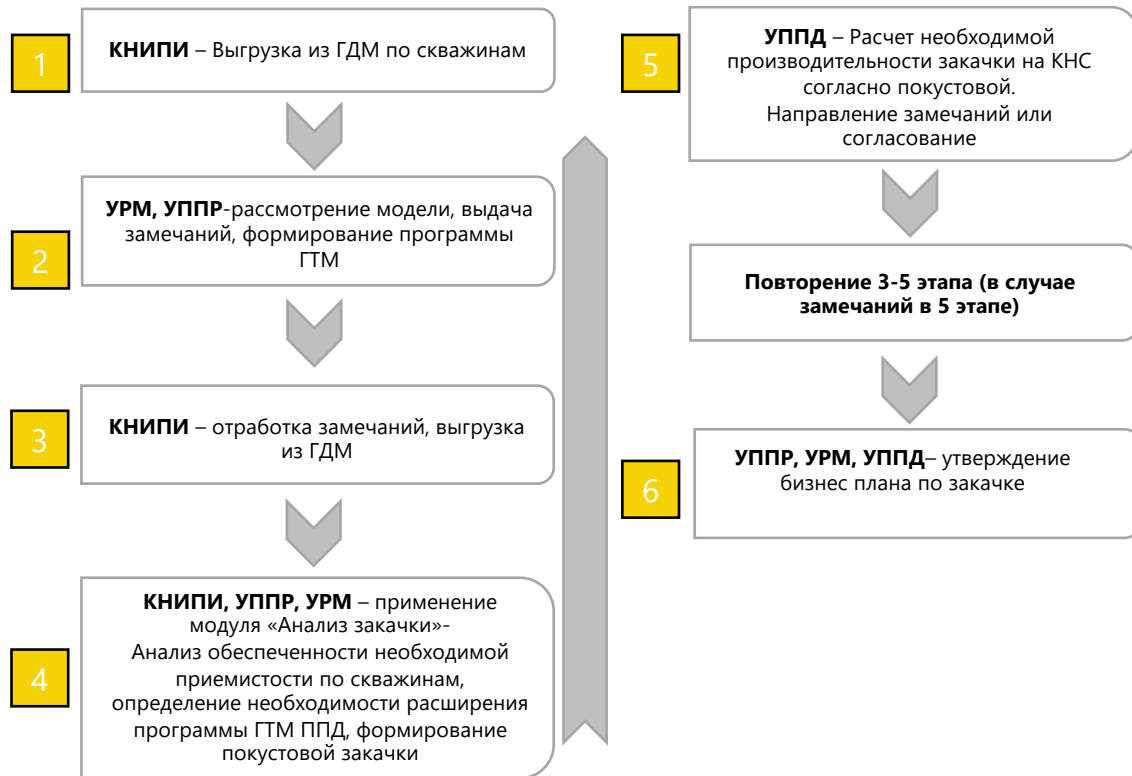


# СХЕМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

## Планирование сетевого графика закачки



## Формирование бизнес плана по закачке



## РЕЗЮМЕ

- Модуль «Анализ закачки» позволяет выполнять углубленный анализ энергетического состояния объекта и оптимизации системы ППД;
- Оперативное формирование тех. режимов нагнетательного фонда для обеспечения оптимального уровня компенсации по зонам;
- Формирование программы ППД на период БП с учетом планируемых уровней добычи и программы ИДН, ВНС/ЗБС;
- Расчёт потенциальных и рекомендуемых уровней приемистости;
- Анализ эффективности системы ППД для снятия рисков по энергетическому состоянию объектов в прогнозный период;
- Расчет необходимых давлений в системе наземного обустройства для обеспечения оптимальных уровней закачки.





# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

ООО «РН-КрасноярскНИПИнефть»

ООО «РН-Ванкор»



Чайкин Г. Н., Рощупко Д. В., Савченко Д. С.



86-5345-2825, 86-518-66550, 86-518-66671



[chaykingn@knipi.rosneft.ru](mailto:chaykingn@knipi.rosneft.ru)



[dvroshchupko@vn.rosneft.ru](mailto:dvroshchupko@vn.rosneft.ru)

[dssavchenko@vn.rosneft.ru](mailto:dssavchenko@vn.rosneft.ru)

