roxar
MAXIMUM RESERVOIR PERFORMANCE

Метод сглаживания ансамблей: достоинства, недостатки, пути развития

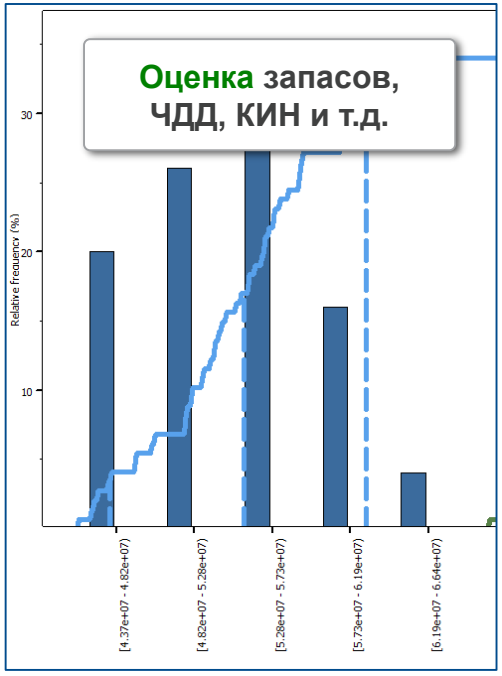
Оленчиков Дмитрий
Менеджер по развитию бизнеса

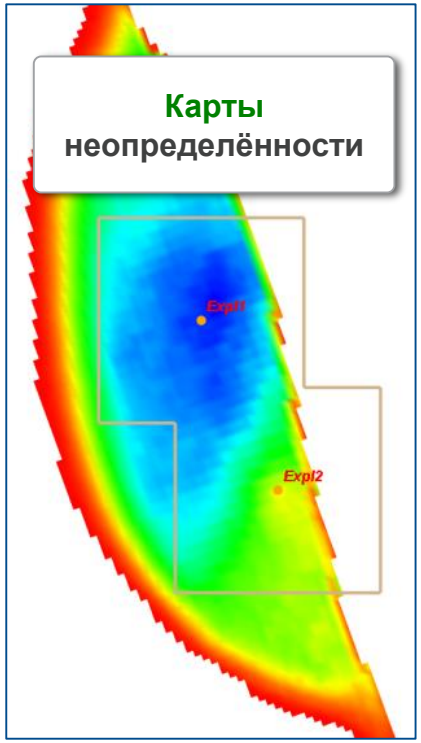
EMERSON

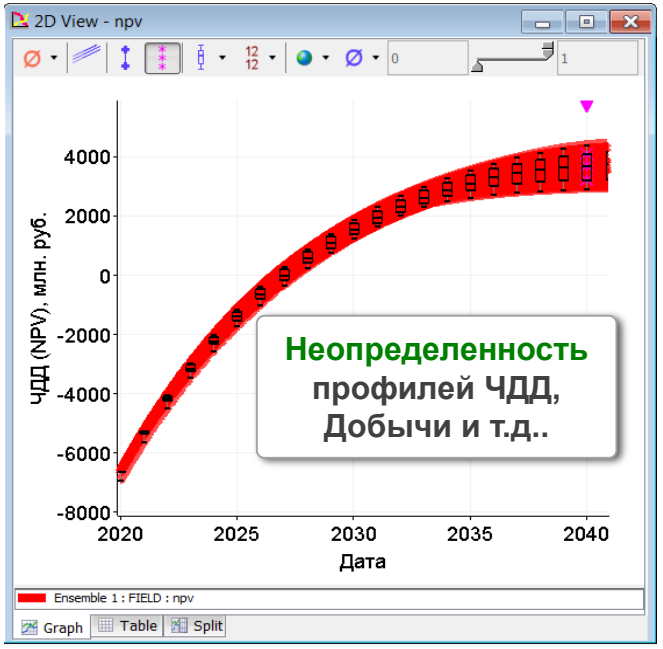
Необходимость учёта неопределенности

- Все исходные данные содержат в себе погрешность.
- Для непосредственного измерения доступна лишь ограниченная часть параметров модели.

Вывод: антинаучно выдавать результат расчетов в виде «одного числа». Необходимо указывать доверительный интервал или иную оценку погрешности. Это важно для адекватной оценки рисков при принятии управленческих решений.







roxar
EMERSON

Ансамбль реализаций модели
Идея

Потенциально, опираясь на опыт и знания, мы можем:

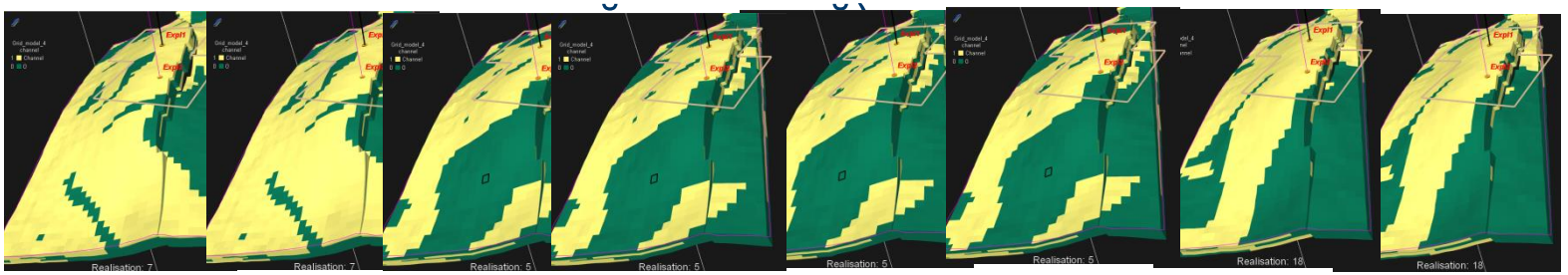
1. Выделить в модели варьируемые параметры (модификаторы).
2. Оценить их неопределенность (пределы изменения).
3. Построить пространство возможных значений модификаторов.

Вопрос: как рассчитать влияние неопределенности входных параметров модели на результат расчетов?

Сделать это аналитически, как правило, невозможно.

Идея применения ансамбля реализаций моделей:

1. Выберем из всего многообразия возможных моделей несколько реализаций, называемых **ансамблем**.
2. Будем его использовать для **приближенной оценки** вероятностных распределений (вместо всего пространства).



Ансамбль реализаций модели
Основная проблема

Основная проблема: как выбрать представительный ансамбль реализаций моделей?

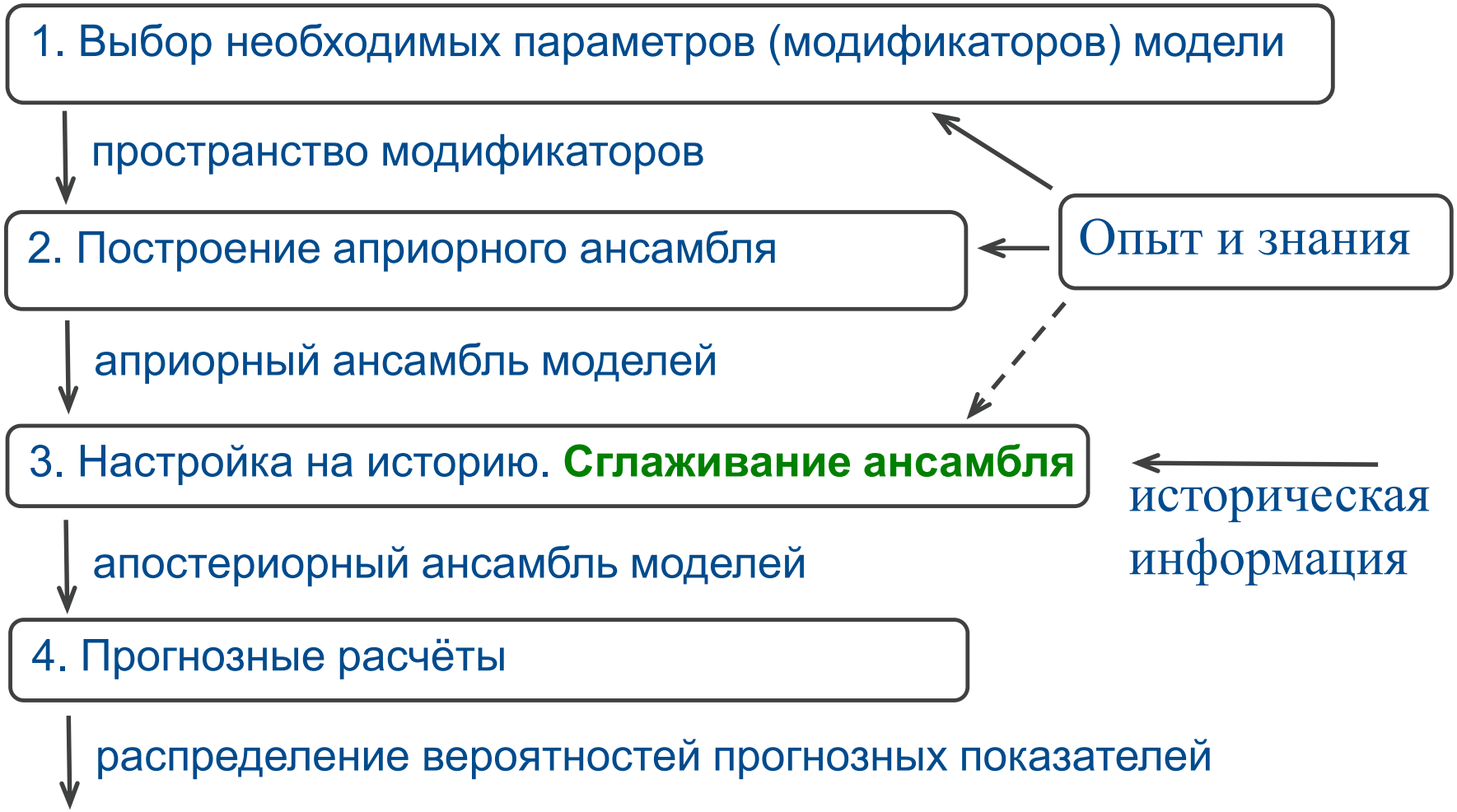
Для месторождений без истории разработки (greenfields) это можно сделать на основе наших априорных знаний о неопределенности модификаторов.

Но для месторождений с историей разработки (brownfields) представительный ансамбль реализаций должен быть согласован с историей разработки (адаптирован).

Как адаптировать большое количество моделей по истории разработки и обеспечить при этом представительность?

Для решения данной задачи разработан ряд статистических методов, одним из которых является метод сглаживания ансамбля.

Ансамбль реализаций модели
Схема применения



Важно: результатом является не одно число, а вероятностное распределение, позволяющее оценить риски.

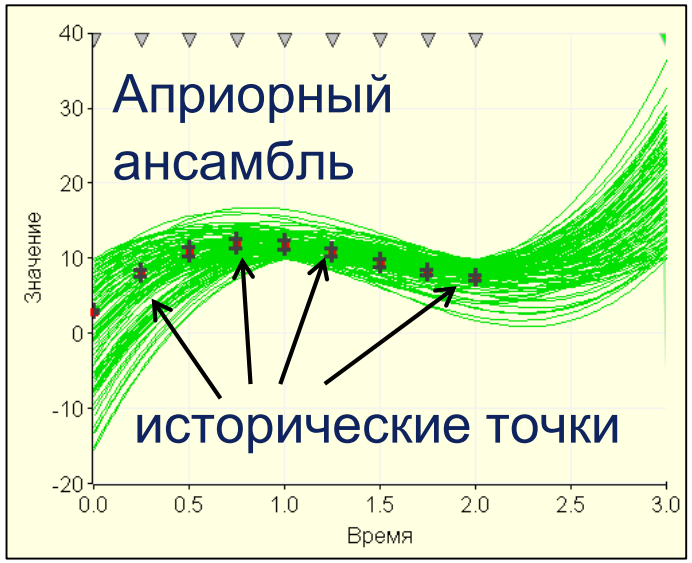
Сглаживание ансамбля
Постановка задачи

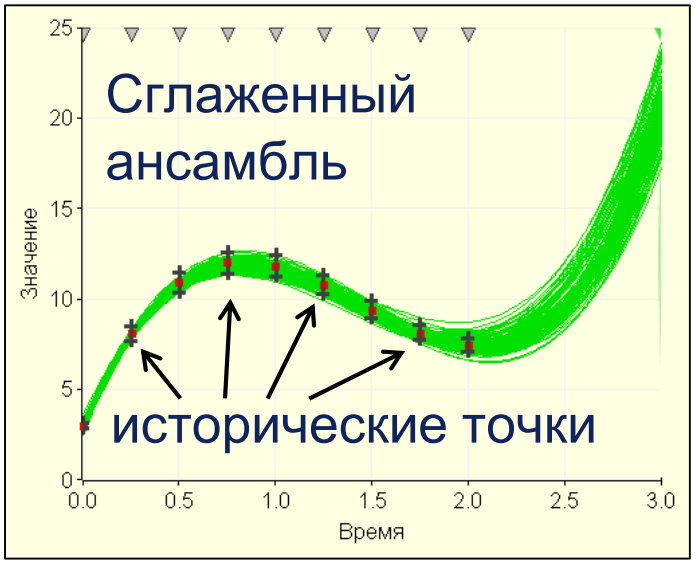
X – случайный вектор значений модификаторов (отождествляется с представительным **априорным** ансамблем реализаций модели).

Любой его реализации x_i гидродинамический симулятор ставит в соответствие расчетный вектор наблюдаемых параметров $y_i=f(x_i)$.

Известен исторический вектор наблюдаемых параметров y^{obs}, а также автоковариационная матрица погрешностей его наблюдения D^{obs}.

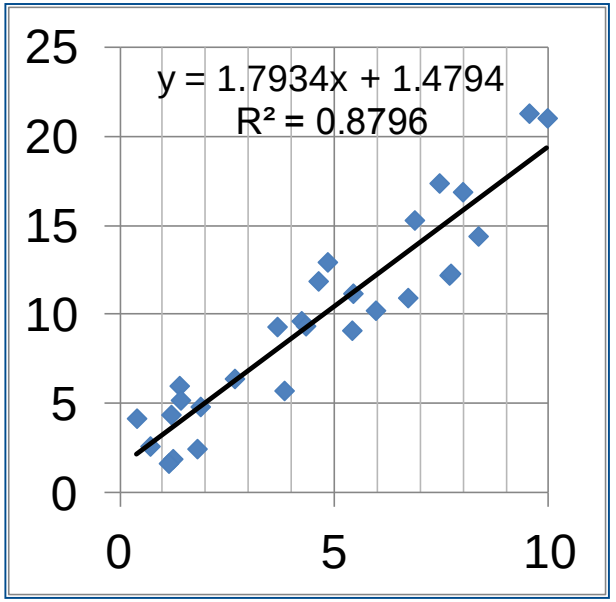
Требуется построить **сглаженный** ансамбль X^a, который бы соответствовал y^{obs} с учетом допустимой погрешности наблюдения.





Сглаживание ансамбля
Метод ES-MDA (Ensemble smoother multiple data assimilation)

Сглаживание ансамбля выполняется в несколько шагов (обычно 2-8) .



На каждом *k*-м шаге:

(верх. индекс по номеру шага, нижн.– по номеру реализации)

1. Строится **линейная регрессия** из Y^k в X^k.

$$K^k = Cov(X^k, Y^k)(Var(Y^k)+D^{obs})^{-1}$$

2. Чтобы не потерять представительность ансамбля выполняется «**пертурбация**» исторических данных

$$y^{k,a}_i = y^{obs} + \alpha^k N(0, D^{obs})$$

То есть в исторические данные вносится шум, соответствующий погрешности наблюдений (α_j - весовые коэффициенты, зависящие от номера шага сглаживания)

3. Вычисляется новый ансамбль X^{k+1}

$$x^{k+1}_i = x^k_i - K^k(y^k_i - y^{k,a}_i)$$

roxar EMERSON

EMERSON

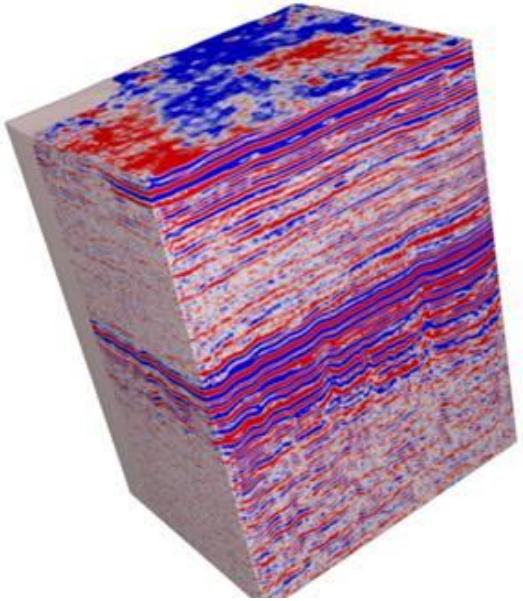
Достоинства метода

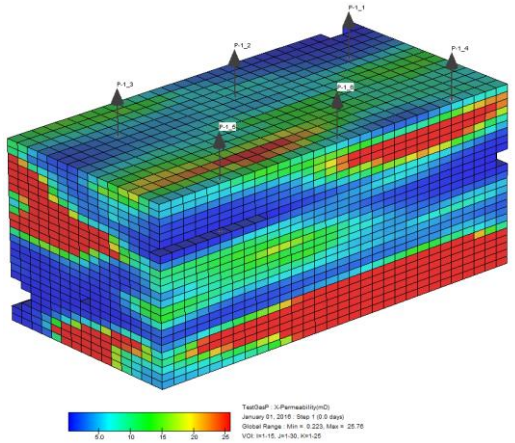
1. Расчет ансамбля реализаций модели хорошо распараллеливается.
2. Метод полностью автоматический.
3. Возможность работы с большим количеством модификаторов:

$$K^k = Cov(X^k, Y^k)(Var(Y^k)+D^{obs})^{-1}$$

Замечание: тяжелая вычислительная операция обращения матрицы выполняется только над результатами расчетов. Ковариационная матрица $Cov(X^k, Y^k)$ входит в формулу как множитель.

Следствие: метод ES-MDA может эффективно работать с огромным количеством модификаторов. В частности, с геологическими кубами и сейсмической информацией.





Недостатки метода / пути совершенствования

Метод **успешно** применялся для моделирования ряда шельфовых месторождений.

Далее будут описаны недостатки метода, но это **не означает**, что метод неэффективный.

Цель в том, чтобы очертить границы применимости метода, наметить и обсудить пути, позволяющие сделать его более универсальным.

Недостатки метода / пути совершенствования
Использование пертурбации исторических данных (1)

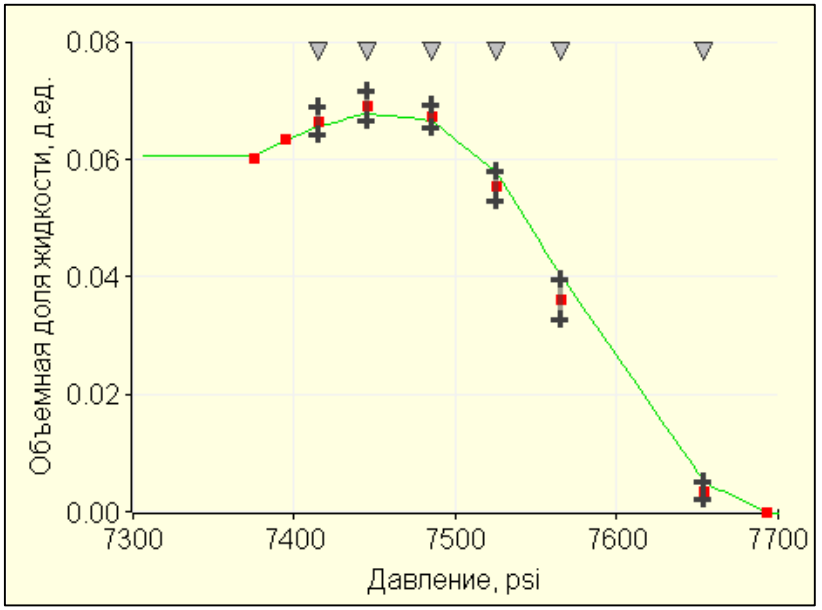
Внесение в исторические данные случайного шума на этапе пертурбации приводит к подмене понятий:

Возможная погрешность наблюдения / **целевое** значение наблюдаемой величины.

Как правило, значения в соседних точках **коррелированы**. Шум пертурбации в оригинальном методе это не учитывает.

Следствие: целевые значения после пертурбации могут заведомо не соответствовать никакой физичной комбинации модификаторов.

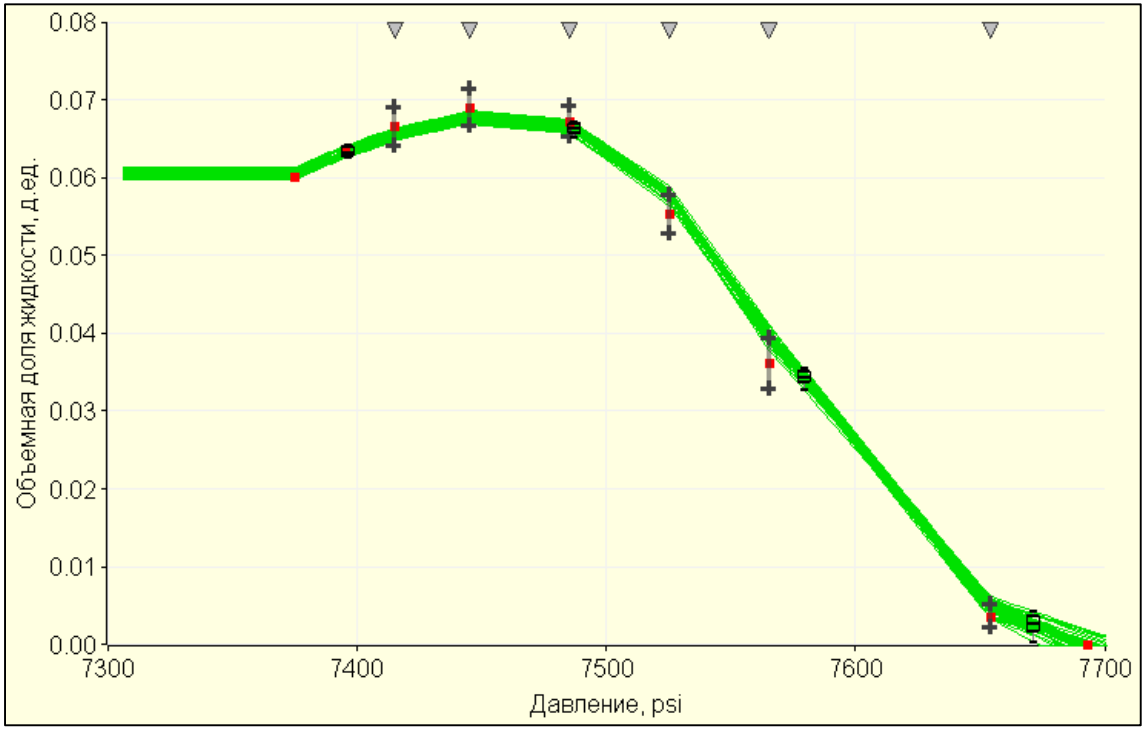
Возможный путь развития метода: использовать для пертурбации коррелированный шум, согласно характеристикам полученным для текущего ансамбля.



Недостатки метода / пути совершенствования
Использование пертурбации исторических данных (2)

Как правило, ансамбль, соответствующий всем историческим данным не полностью покрывает допустимые интервалы погрешности. Однако пертурбация будет использовать в качестве целевых значений весь интервал. Особенно это критично для точек, имеющих высокую погрешность наблюдения.

Возможный путь развития метода: учитывать при пертурбации дисперсию (по ансамблю) результатов расчетов.



Недостатки метода / пути совершенствования
Использование пертурбации исторических данных (3)

В гидродинамической модели часть параметров являются управляющими. Например, добыча жидкости или закачка (иногда забойные давления). Расчетные значения таких управляющих параметров должны **в точности** соответствовать историческим. **Непосредственно применять пертрурбацию к ним некорректно**.

Возможные пути развития метода:

1. Не просто выполнять пертурбацию, но и соответствующим образом модифицировать всю историю управляющего параметра (технически сложно и неоднозначно).
2. Не выполнять пертурбацию. Строить регрессию учитывая только те реализации, для которых значения параметра отличаются от целевого (технически проще, но игнорируется погрешность наблюдения).

Недостатки метода / пути совершенствования
Линейная регрессия (1)

В классическом варианте метода:

1. При построении линейной регрессии используются только реализации, полученные на предыдущем шаге сглаживания ансамбля.
2. Строится одна общая линейная регрессия. Для учета влияния нелинейности применяется несколько шагов сглаживания. Однако в случае существенно нелинейной задачи такой подход может не достигать требуемого результата.

Пути развития метода:

1. При построении регрессии дополнительно использовать реализации с предыдущих шагов сглаживания ансамбля.

2. Контролировать по каждому модификатору коэффициент корреляции. При необходимости разбивать пространство модификаторов на области, для которых строить различные регрессии.

3. Не вносить существенных изменений в модификаторы, для которых регрессия имеет низкий коэффициент корреляции.

Недостатки метода / пути совершенствования
Линейная регрессия (2)

В классическом варианте метода:

Все точки наблюдения влияют на все модификаторы.

$$K^k = Cov(X^k, Y^k)(Var(Y^k)+D^{obs})^{-1}$$

Однако, чтобы матрица $Var(Y^k)$ была невырожденной, необходимо, чтобы **количество реализаций** в ансамбле было **не меньше**, чем **количество точек наблюдения**. В реальных моделях количество исторических точек может составлять несколько сотен и более. Однако, обычно, невозможно эффективно работать с ансамблями такой высокой мощности.

Путь развития метода:

Для каждого модификатора строить линейную регрессию только с учетом наиболее сильно связанных с ним точек наблюдения

(выбирать их либо на основе априорных знаний, либо на основе статистического анализа по результатам расчета).

Недостатки метода / пути совершенствования
Расширение ансамбля

В классическом варианте метода:

1. В случае необходимости расширения ансамбля, его придется заново строить и заново сглаживать. Это очень трудоемкая операция.

2. Часто отдельные реализации ансамбля находятся слишком далеко от исторических точек, их не удается привести в соответствие с историей даже за несколько шагов сглаживания.

Путь развития метода:

1. Отбрасывать определенную долю наиболее «худших» реализаций. Заменять их на случайные из оставшихся реализаций.
2. Далее, стандартно применяется линейная регрессия с пертурбацией. Несмотря на дублирование некоторых реализаций пертурбация позволяет в значительной степени сохранить представительность ансамбля.

Таким же образом можно при необходимости расширить ансамбль.

Недостатки метода / пути совершенствования
Искажение вероятностного распределения

В классическом варианте метода:

В общем случае процедура сглаживания переводит изначально равновероятные реализации априорного ансамбля в неравновероятные, что может исказить вероятностные распределения прогнозных показателей.

Возможный путь развития метода:

1. Строить априорный ансамбль с равномерным распределением, игнорируя априорные знания о распределении модификаторов.
2. После сглаживания ансамбля выполнить перенормировку в соответствии с априорной плотностью вероятности. Приписать всем полученным реализациям вес, пропорциональный априорной плотности вероятности (для полученных значений модификаторов).

Однако, нельзя назвать данный подход строго обоснованным. Требуются дополнительные исследования.

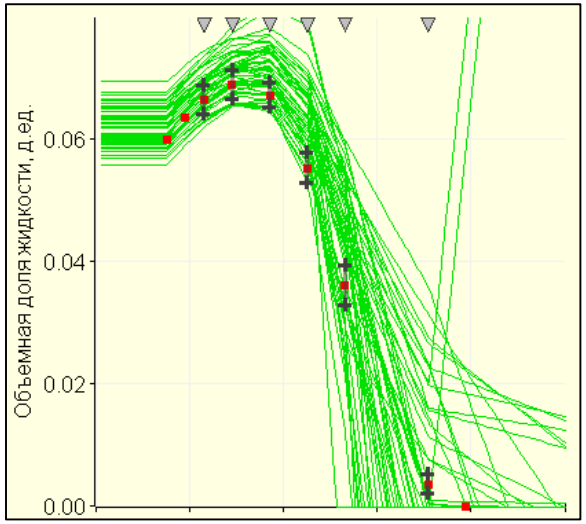
Примеры

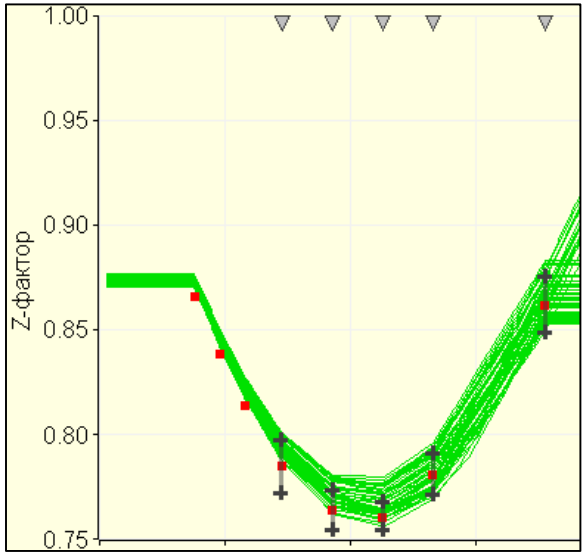
В приведенных далее примерах в качестве усовершенствования метода использовались следующие модификации:

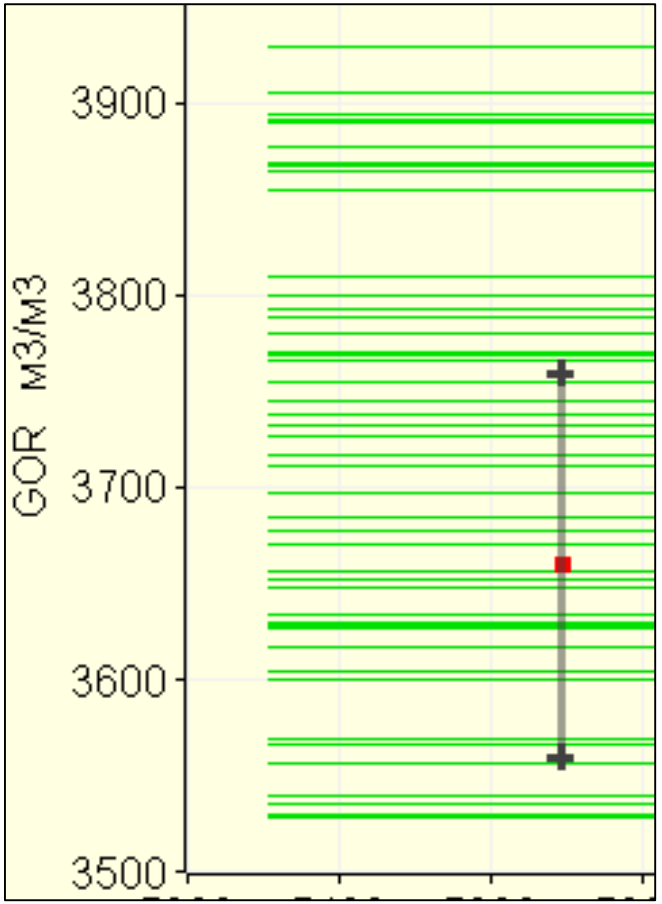
1. При построении регрессии:
   - использовались только реализации с качеством соответствия истории не хуже выбранного значения (в зависимости от шага);
   - использовались реализации с предыдущих шагов сглаживания;
   - оценивались коэффициенты корреляции для модификаторов; при необходимости выделялись подобласти, для которых строились различные регрессии.
2. При пертурбации:
   - использовался коррелированный шум;
   - не выполнялась для точек, являющихся управляющими параметрами.

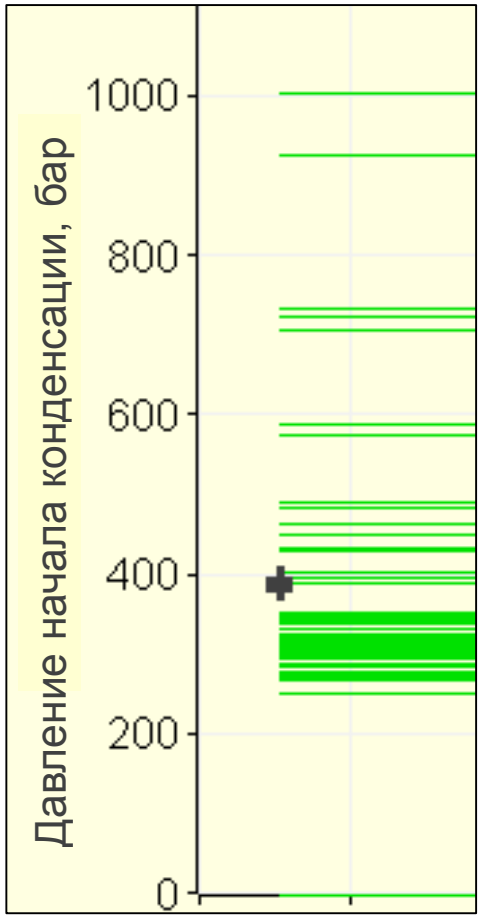
Примеры
Сильная нелинейность. Настройка PVT-модели (1)

Априорный ансамбль





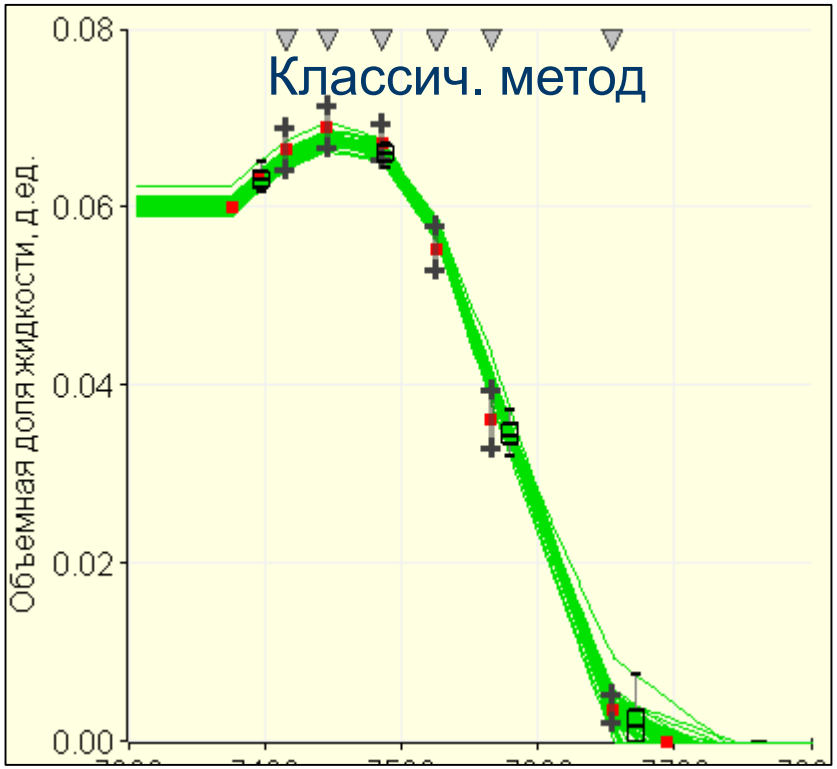


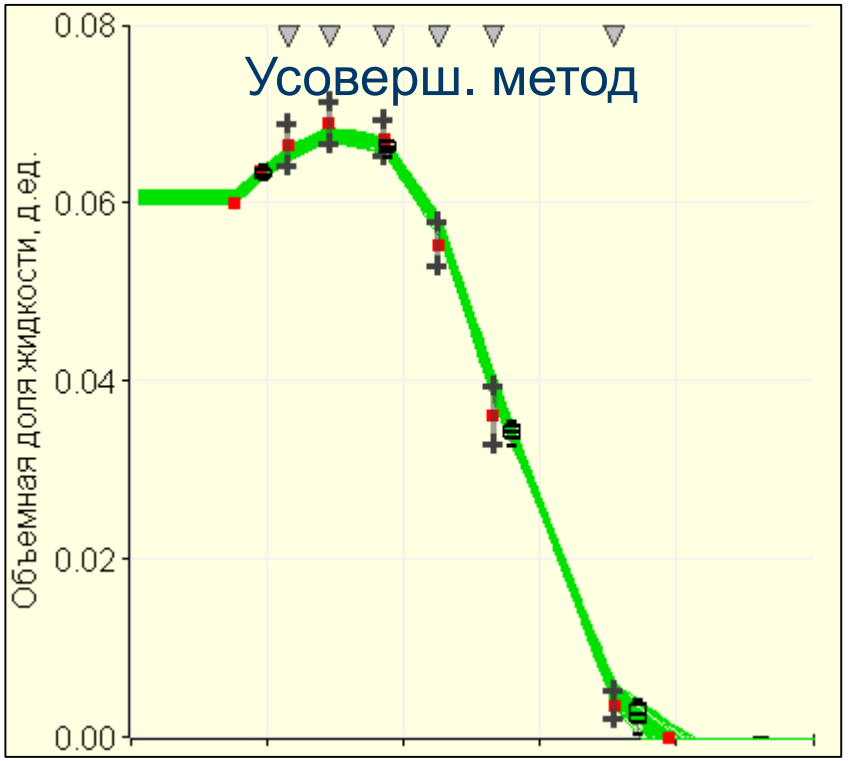


Вывод: априорный ансамбль не соответствует истории

Примеры
Сильная нелинейность. Настройка PVT-модели (2)

Кривая выпадения конденсата (после 8 шагов сглаживания априорн. ансамбля)

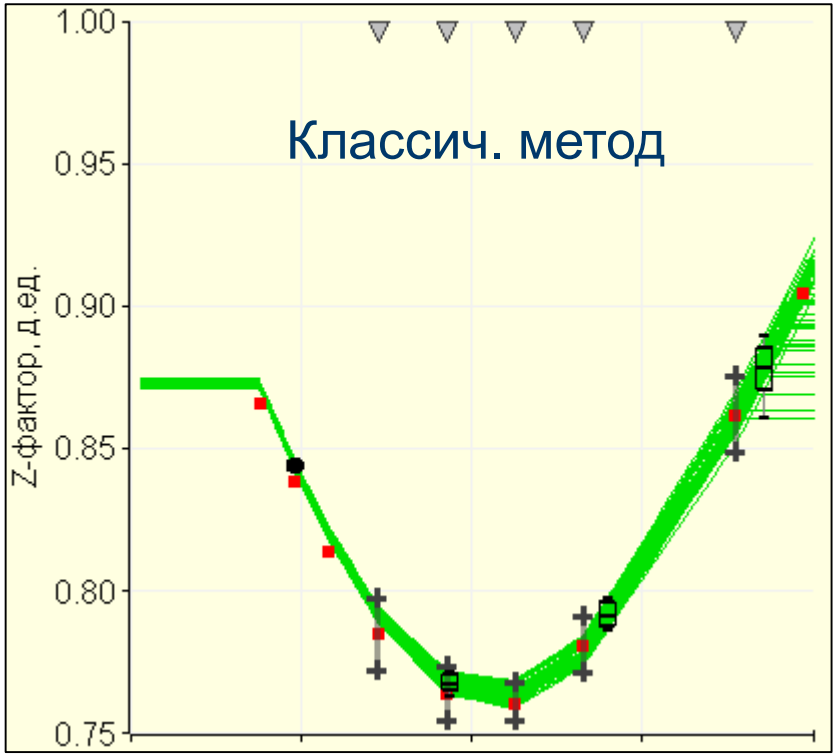


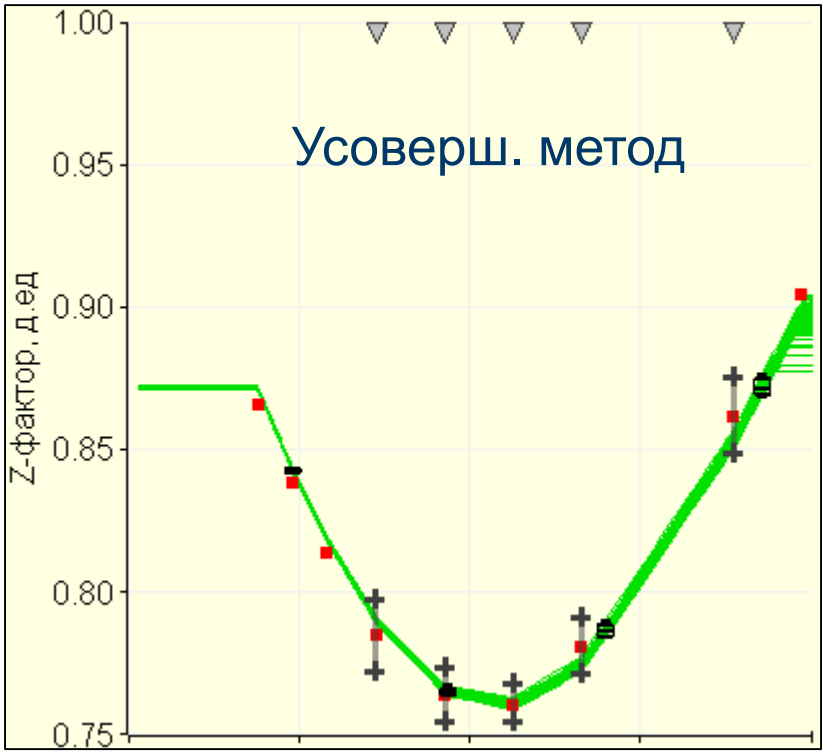


Вывод: сопоставимые, достаточно хорошие результаты.

Примеры
Сильная нелинейность. Настройка PVT-модели (3)

Z-фактор газа (CVD-эксперимент) (после 8 шагов сглаживания априорн. ансамбля)

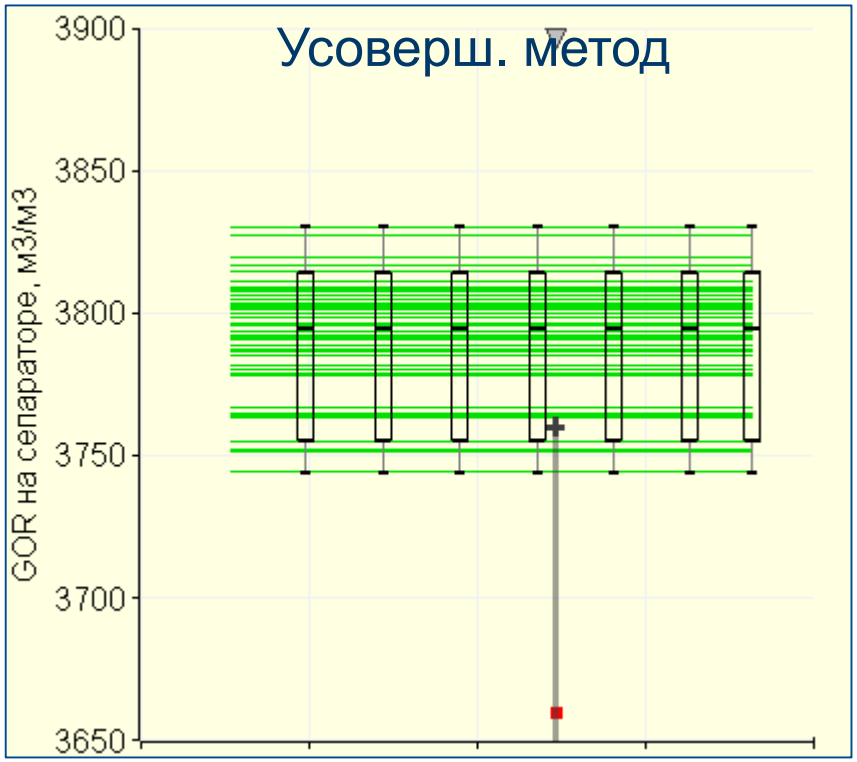




Вывод: сопоставимые, достаточно хорошие результаты.

Примеры
Сильная нелинейность. Настройка PVT-модели (4)

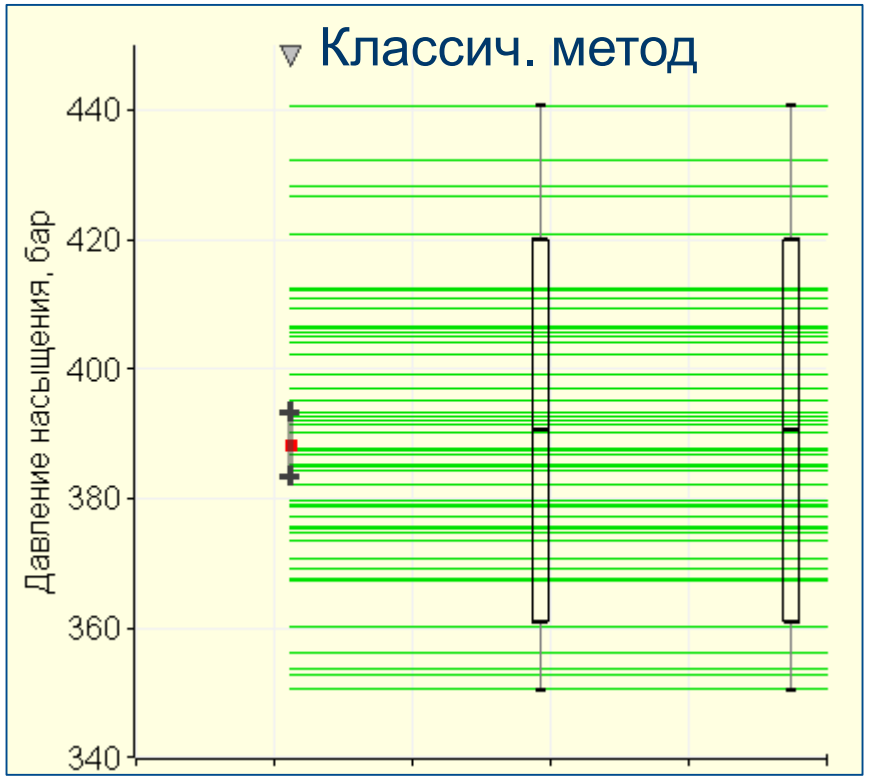
Газовый фактор (после 8 шагов сглаживания априорного ансамбля)

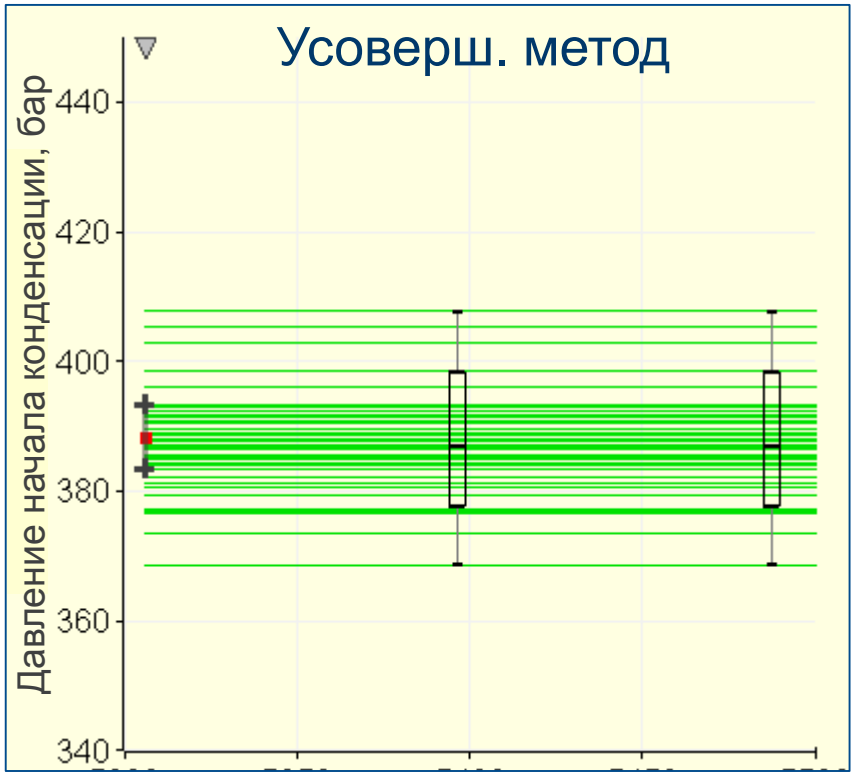


Вывод: усовершенствованный метод позволил улучшить результат по газовому фактору (погрешность около 8%). Возможно, реальная погрешность по газовому фактору превышала заданную (5%).

Примеры
Сильная нелинейность. Настройка PVT-модели (5)

Давление начала конденсации (после 8 шагов сглаживания)

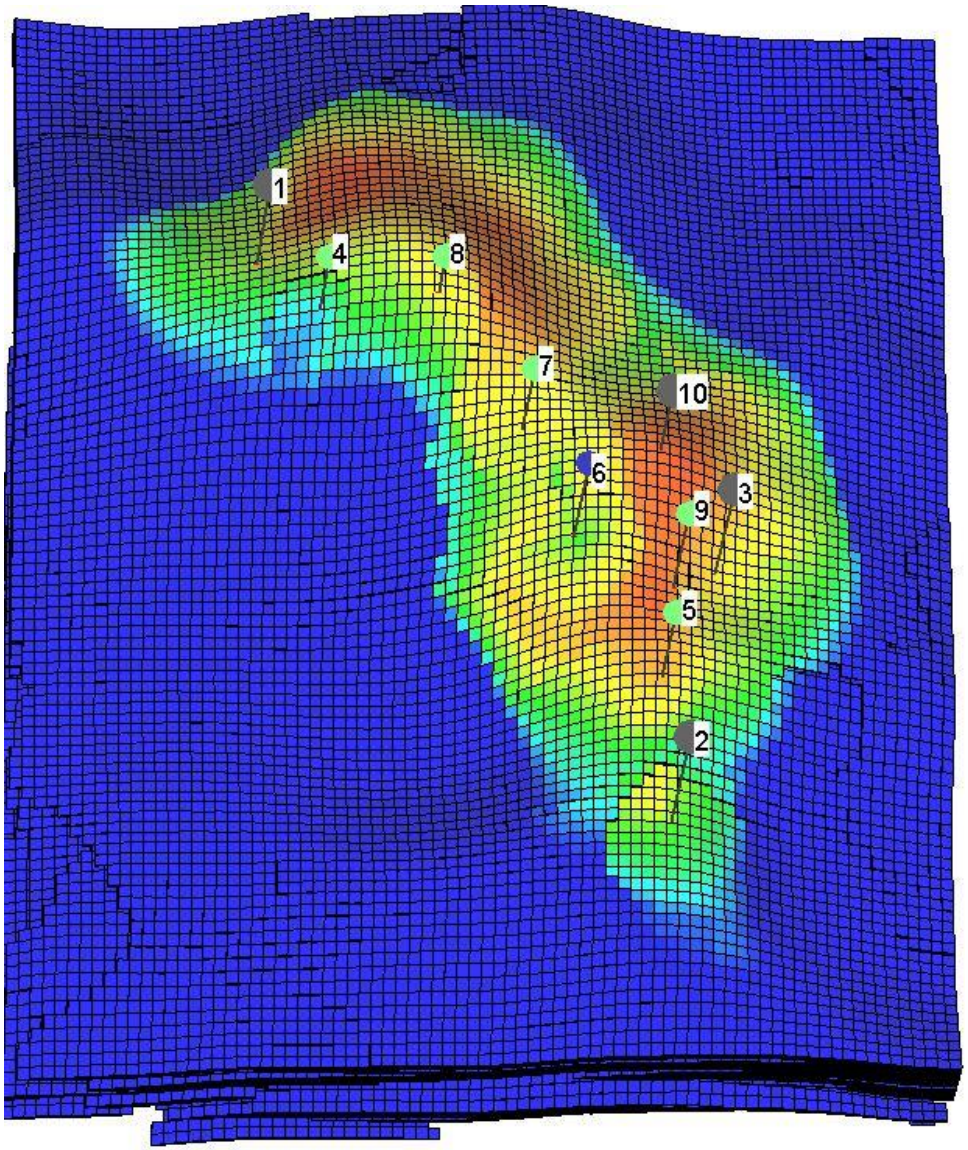




Вывод: усовершенствованный метод позволил существенно улучшить результат по давлению насыщения.

Общий вывод: усовершенствованный метод (по сравнению с классическим) позволил улучшить результат сглаживания ансамбля.

Примеры
Гидродинамическая модель (1)



Реальная гидродинамическая модель.

10 скважин

Более **10** лет истории разработки

Не исключена возможность:

- негерметичности э/к;
- заколонных перетоков;
- особенностей учета исторической добычи

roxar

EMERSON

Примеры. Гидродинамическая модель. Предварительный результат

На данном этапе удалось «интегрально» сгладить ансамбль с учетом истории разработки. По отдельным скважинам есть проблемы, необходим дополнительный анализ.

Средняя суточная добыча по залежи

Выводы

1. Сглаживание ансамбля – перспективный метод решения задачи расчета вероятностного распределения прогнозных показателей (с учетом неопределенностей).
2. Необходимо дальнейшее развитие метода, чтобы, сохранив достоинства, устранить его недостатки.
3. В докладе предложены возможные направления развития метода.