



# Опыт внедрения математических моделей на трубопроводах нефтегазового комплекса

Фирсов Юрий Владимирович

*кандидат физико-математических наук*

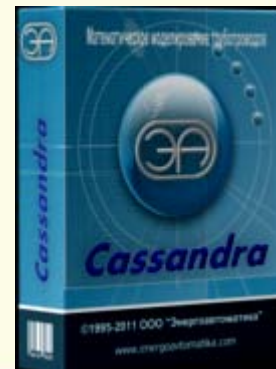
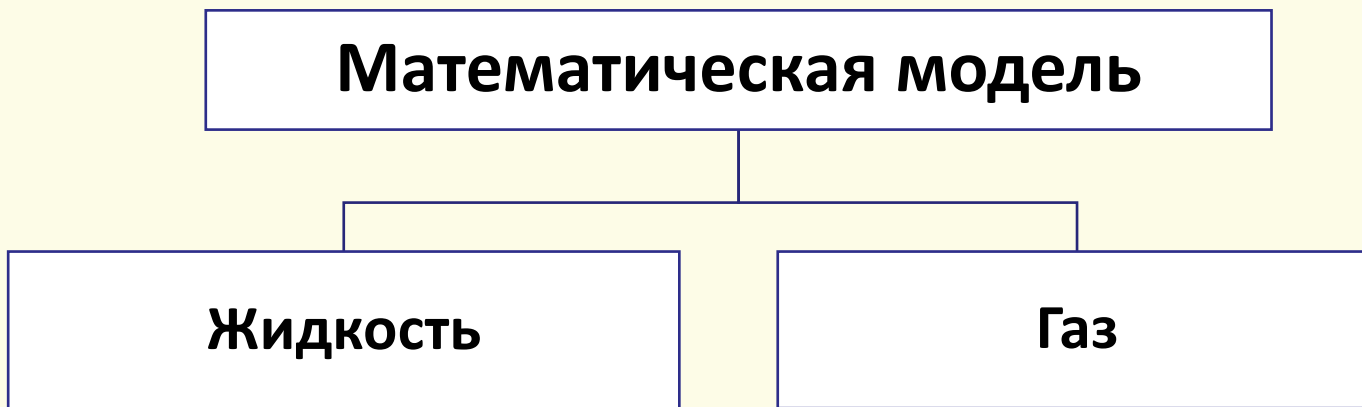
*генеральный директор ООО «Энергоавтоматика»*



# Математическая модель трубопровода (Cassandra)

Моделирование газо- и гидродинамических процессов в сложных, разветвленных трубопроводных системах позволяет:

- Учитывать топологию трубопровода;
- Производить расчет установившихся и переходных процессов;
- Анализировать влияние характеристик отдельных элементов на систему в целом.

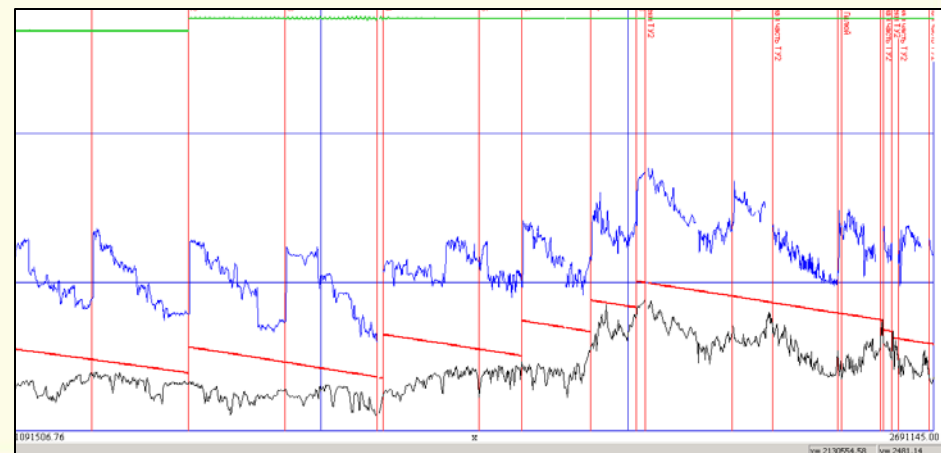
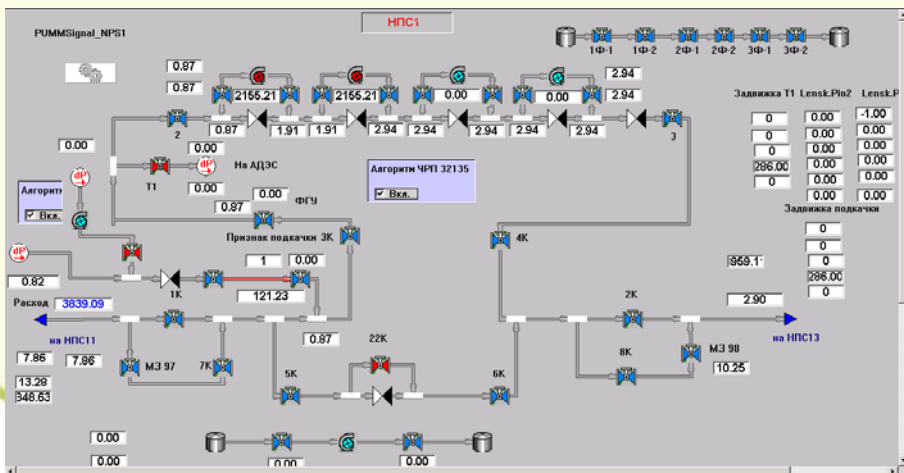




# Модель течения жидкости

## Учитывает:

- Распределение свойств жидкости вдоль трубопровода (транспорт в процессе перекачки);
- Наличие противотурбулентных присадок;
- Участки с безнапорным течением (самотечные участки);
- Влияние гидравлического/нестационарного трения;
- Сжимаемость жидкости;
- Характеристики технологических объектов трубопровода.

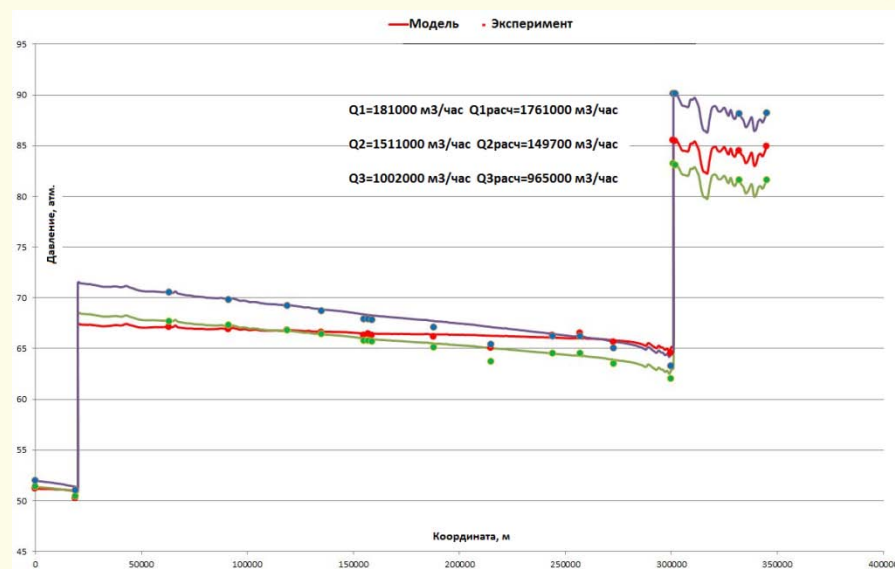




# Модель течения газа

## Учитывает:

- Химический состав газа;
- Распределенные потери на трение;
- Влияние температуры окружающей среды;
- Неидеальность газа;
- Характеристики технологических объектов.



## Использование моделирования решает следующие задачи:

- Оптимальная расстановка оборудования на стадии проектирования;
- Увеличение производительности на стадии эксплуатации;
- Повышение безопасности и экологичности.



# Области применения газогидродинамической модели

## Программные продукты:

- Программный комплекс для моделирования нестационарных процессов сложных трубопроводных систем (**Cassandra**);
- Система обнаружения утечек (**LeakSPY**);
- Система поддержки диспетчера (**DiSPY**);
- Программно-технический комплекс «Тренажер».

## Типы трубопроводов:

- магистральные :
  - *нефтепроводы*
  - *нефтепродуктопроводы*
  - *газопроводы*
  - *конденсатопроводы*
  - *водопроводы*
- промышленные :
  - *нефтепроводы*
  - *нефтепродуктопроводы*
  - *газопроводы*



# Трубопроводная система «Восточная Сибирь — Тихий океан»

В 2009 году на нефтепроводе «ВСТО-1» был внедрен комплекс программ на базе нестационарной гидродинамической модели:

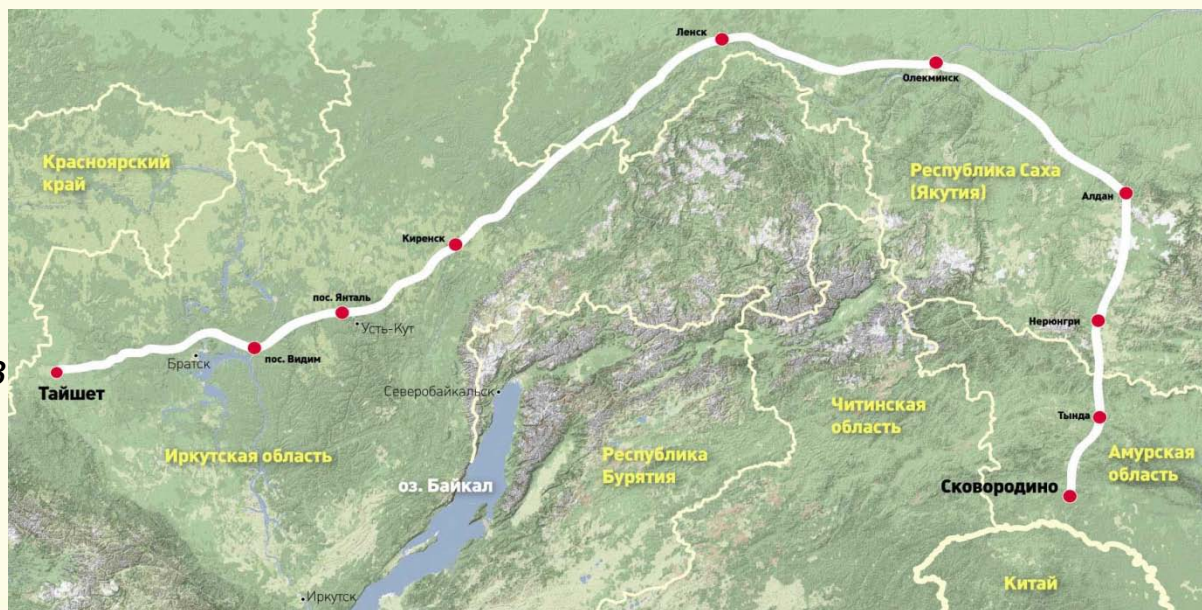
- Комбинированная система обнаружения утечек (COY), LeakSPY;
- Система поддержки диспетчера (СПД), DiSPY;
- Программно-технический комплекс «Тренажер»

(ПТК «Тренажер»).

**Протяженность  
нефтепровода – 2691 км**

**Состоит из:**

- 2 технологических участков
- 12 нефтеперекачивающих станций





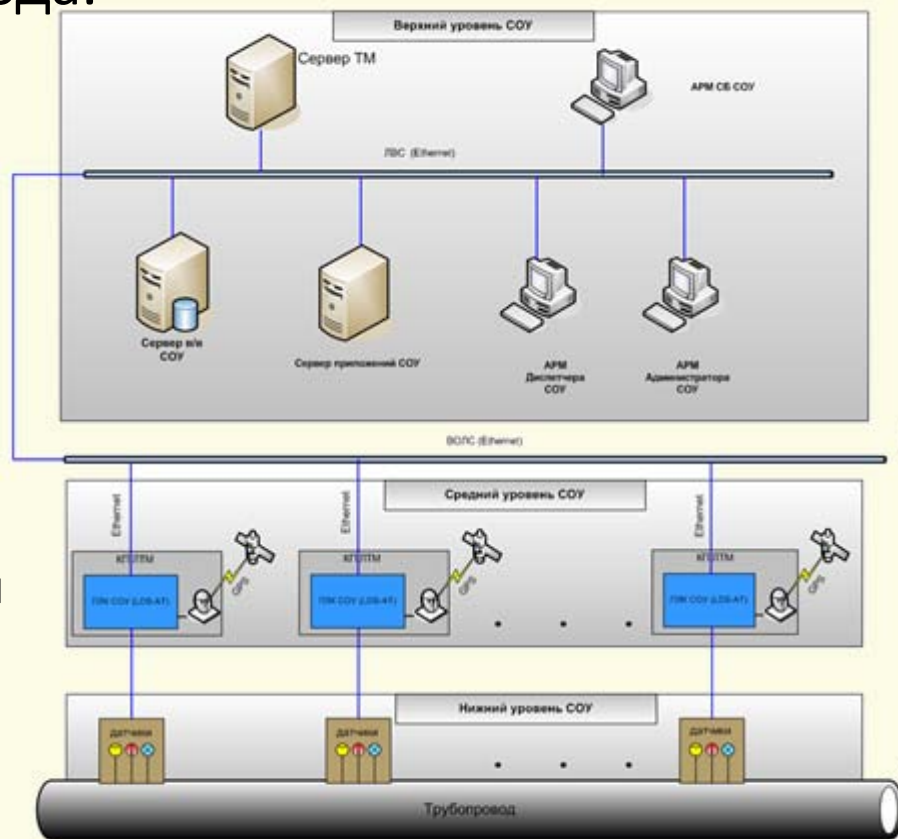
# СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ УТЕЧЕК (LeakSPY)

## Назначение системы:

- Обеспечение **непрерывного** мониторинга герметичности трубопровода в режиме **реального времени** на **всех режимах** функционирования нефтепровода.

## Общая схема построения:

- Верхний уровень:
  - Сервер ввода-вывода СОУ
  - Сервер приложений СОУ
  - АРМ СОУ
- Средний уровень:
  - Контроллеры СОУ на КП ЛТМ
  - Оборудование сбора, обработки и передачи данных
- Нижний уровень:
  - Датчики давления, расхода и др.





# Основные функции СОУ

- ✓ Выявление факта негерметичности трубопровода;
- ✓ расчет места утечки;
- ✓ определение времени возникновения утечки;
- ✓ оценка величины утечки;
- ✓ определение степени достоверности утечки;
- ✓ контроль достоверности измерений;





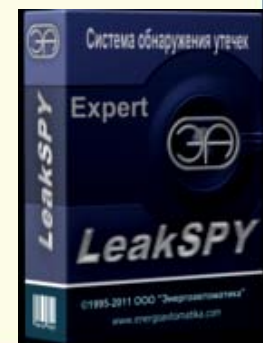


# Алгоритмы диагностики утечек

- ✓ Метод массового баланса
- ✓ По волне давления
- ✓ По профилю давления (обнаружения «V-образного» отклонения линии гидроуклона)
- ✓ По отклонению состояния оборудования от установившегося
- ✓ Разгерметизация изолированной секции

## Использование гидродинамической математической модели в алгоритмах СОУ позволяет:

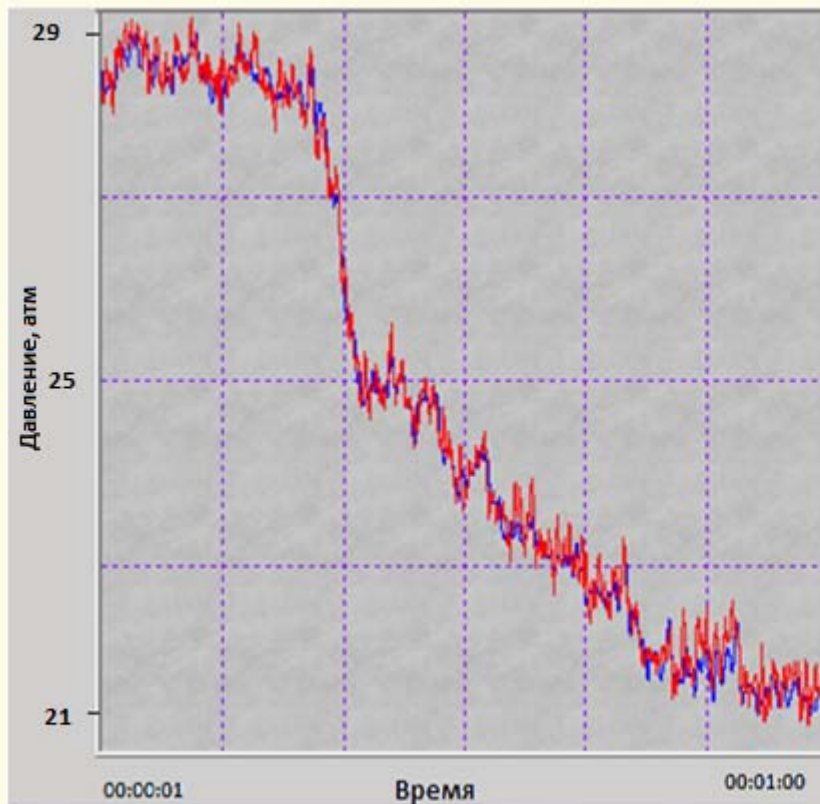
- Минимизировать ложные срабатывания системы
- Увеличить чувствительности системы на всех режимах
- Повысить точность определения места утечки
- Уменьшить время обнаружения утечки



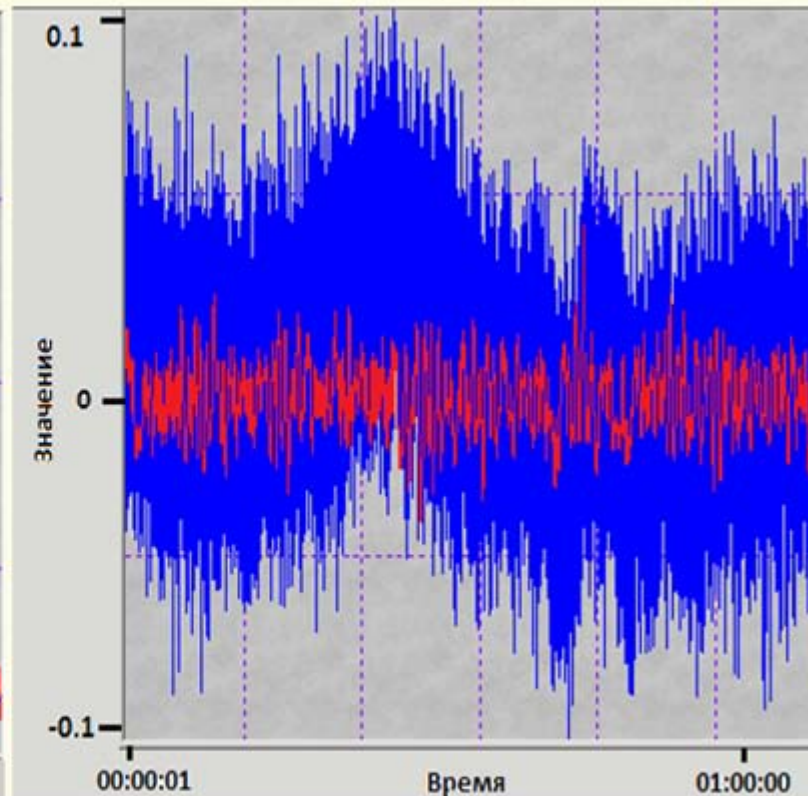


# Примеры обработки исходных данных

## Устранение влияния внешних возмущений



измеренное давление  
расчетное по мат. модели давление

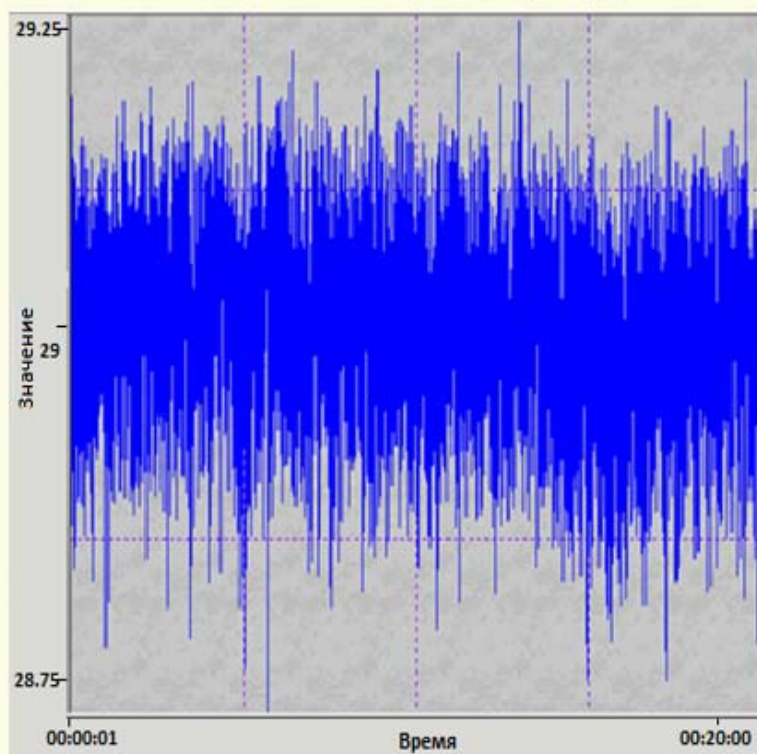


разность измеренного и расчетного сигналов  
корреляционная функция с учетом мат. модели

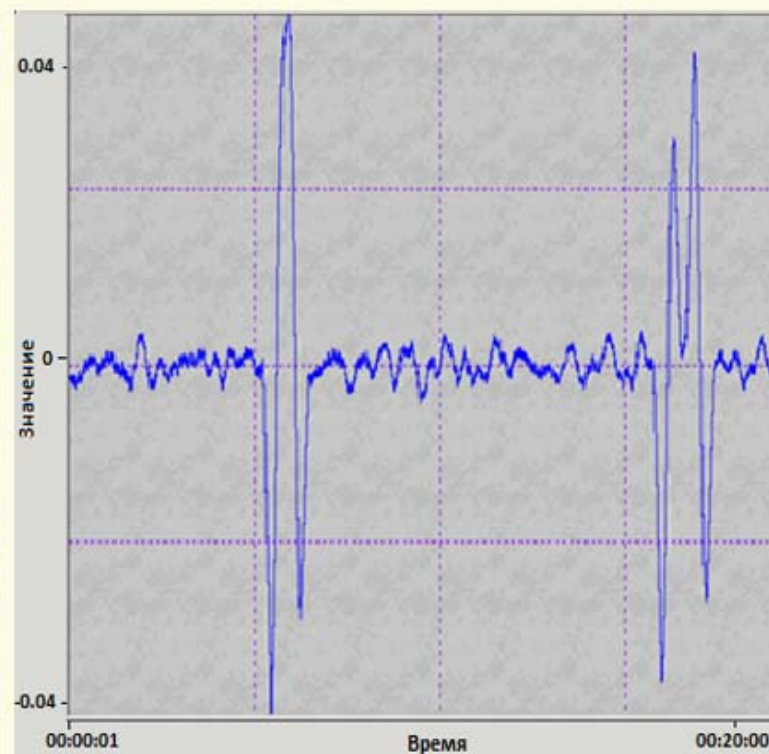


# Примеры обработки исходных данных

## Испытания СОУ при высоком гидродинамическом шуме



значение давления в точке отбора

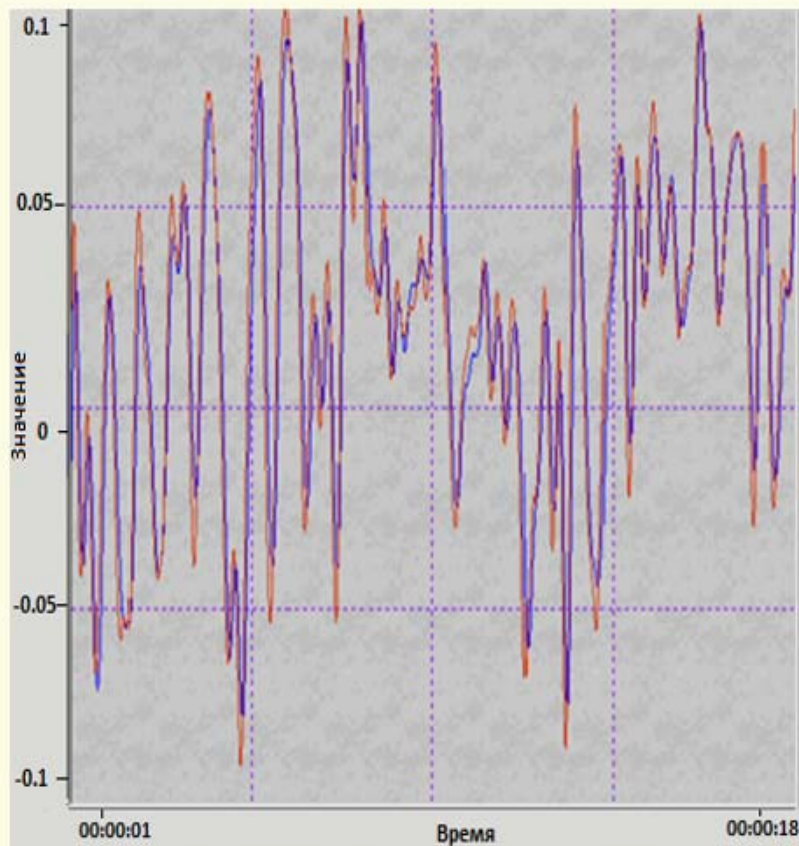


корреляционная функция с учетом мат. модели

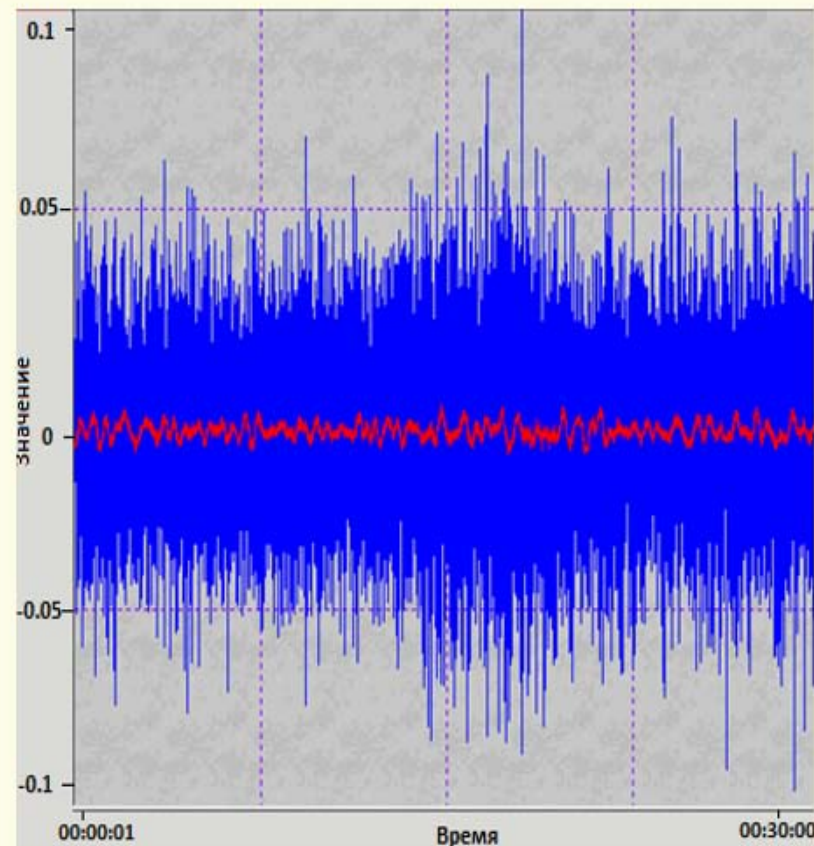


# Примеры обработки исходных данных

## Устранение влияния гидродинамических шумов



измеренное отклонение давления  
расчетное по мат. модели отклонение давления



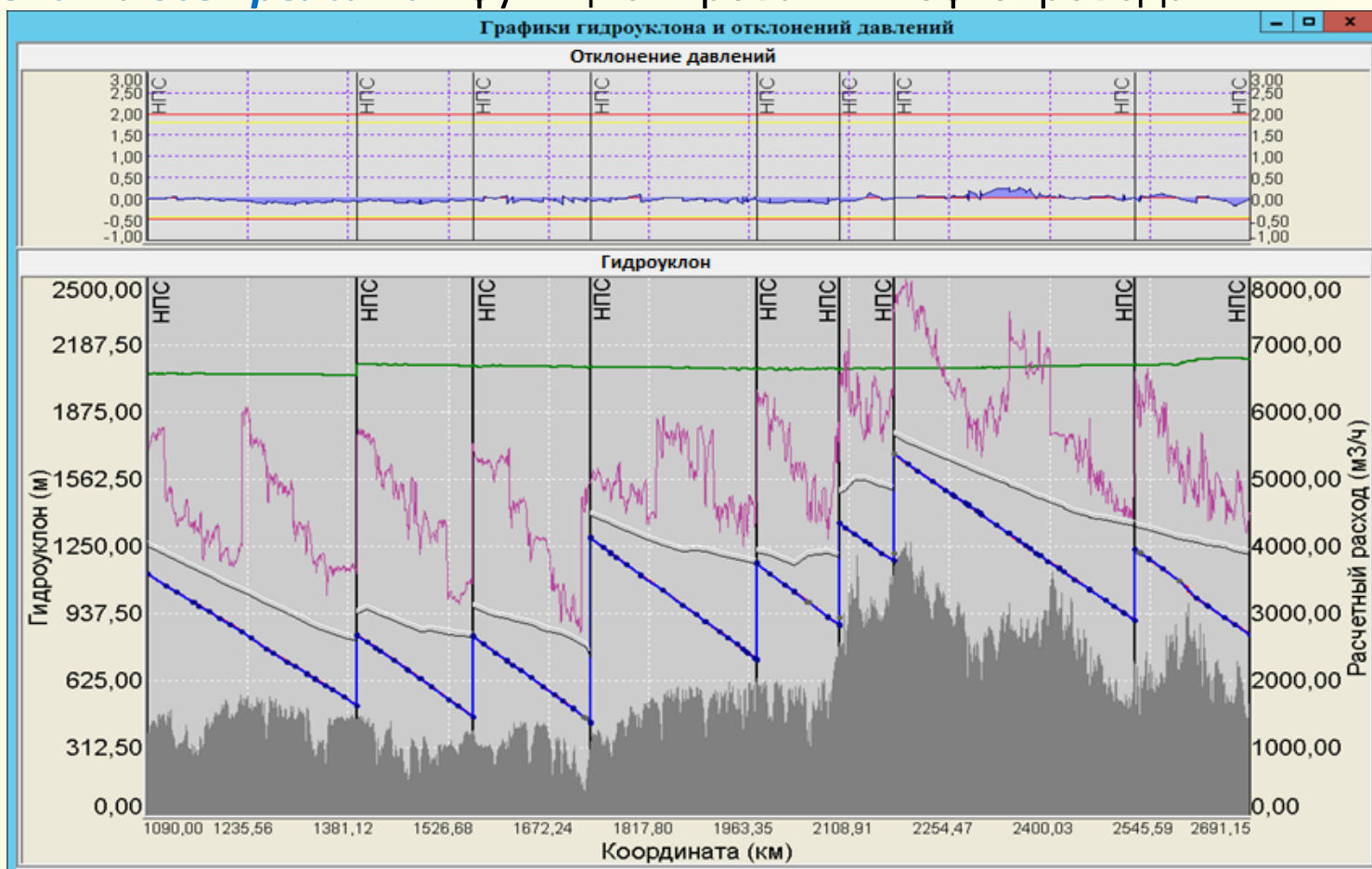
разность измеренного и расчетного сигналов  
корреляционная функция с учетом мат. модели



# Система поддержки диспетчера (DiSPY Expert)

Предназначена для **непрерывного** мониторинга работы трубопровода и идентификации характеристик технологического оборудования в режиме **реального времени** на **всех режимах** функционирования нефтепровода.

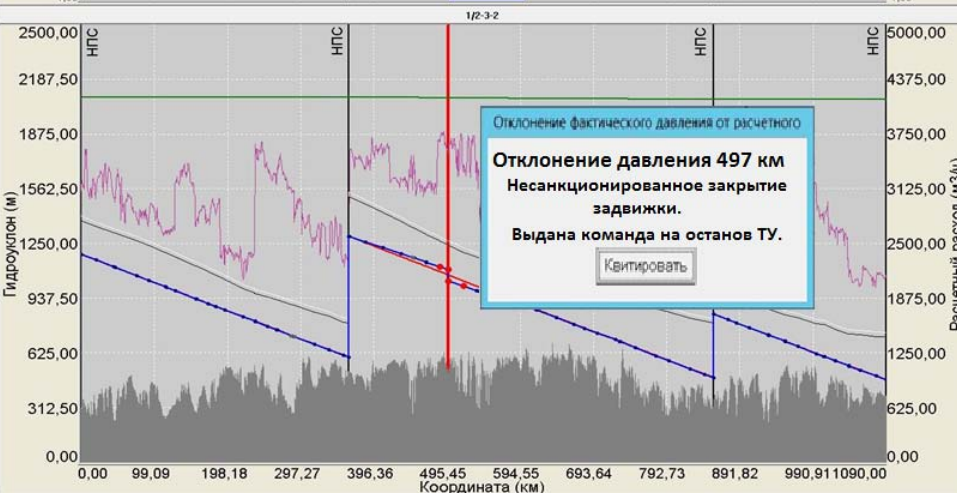
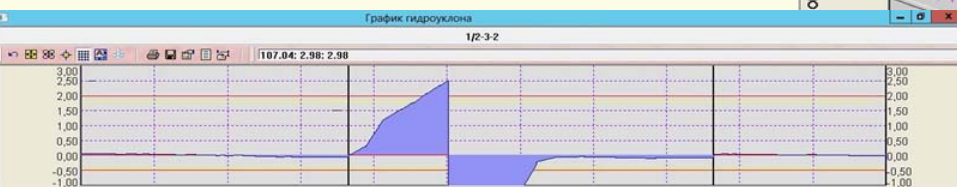
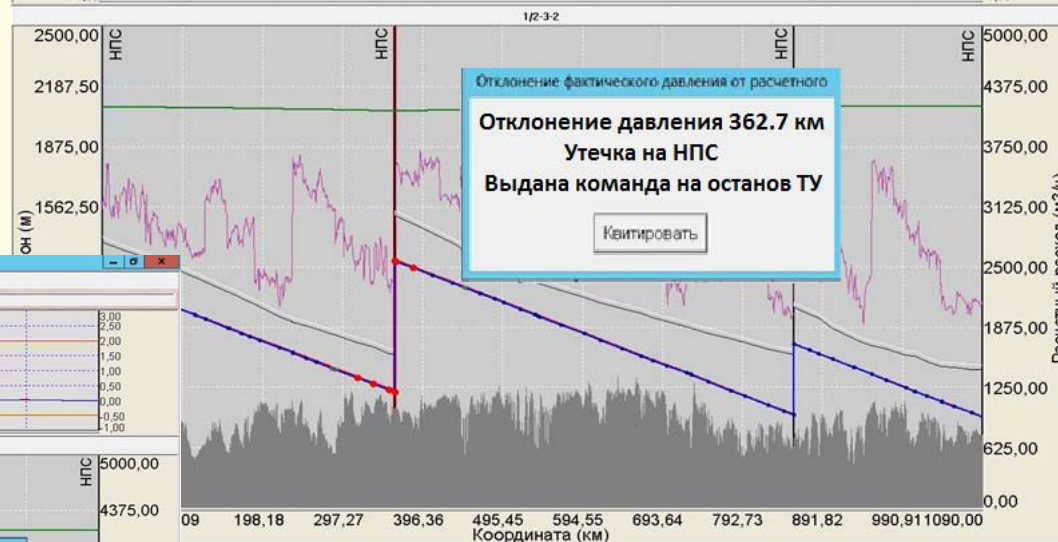
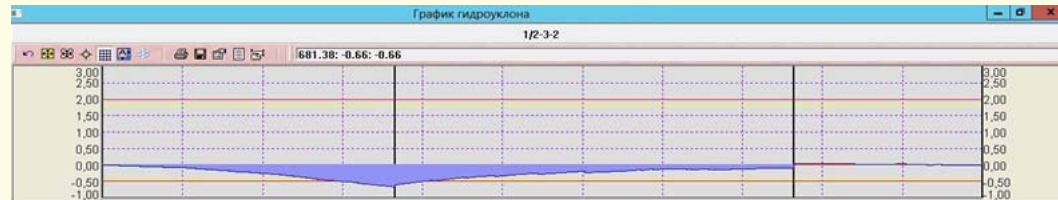
- расход (расчет)
- Гидроуклон (факт)
- Гидроуклон (расчет)
- Профиль трассы
- Несущая способность
- Предельные давления





# Диагностика причин расхождения расчетных и фактических давлений

Утечка



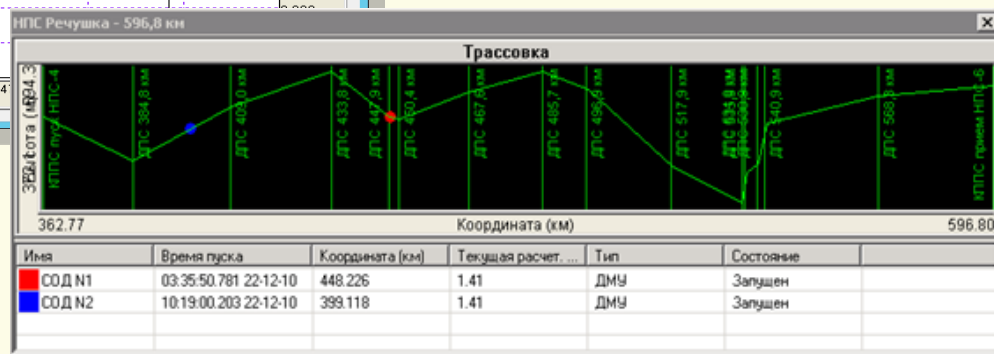
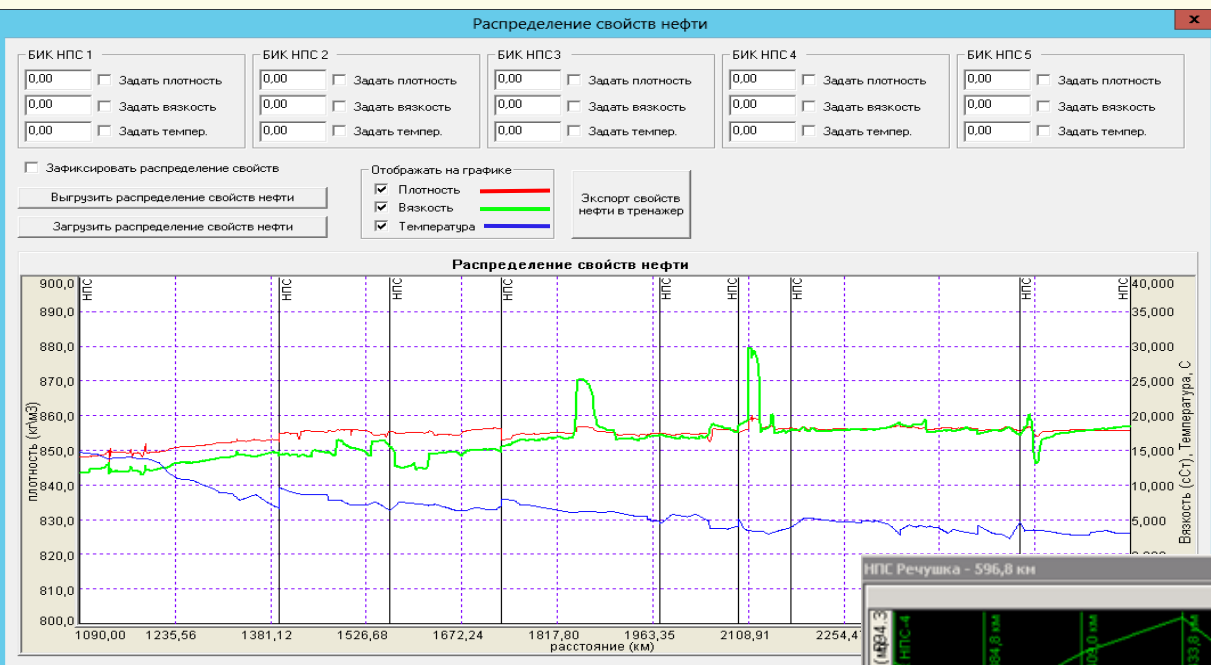
Перекрытие  
потока





# Функции системы поддержки диспетчера

➤ Расчет движения партий нефти



➤ Сопровождение средств очистки и диагностики (СОД)

➤ Автоадаптация математической модели

➤ Идентификация характеристик оборудования (насосов, регуляторов и т.д.)

➤ Прогнозирование времени опорожнения/заполнения резервуара



## Программно-технический комплекс «Тренажер»

ПТК «Тренажер» – это полноценный аналог реального трубопровода, который позволяет:

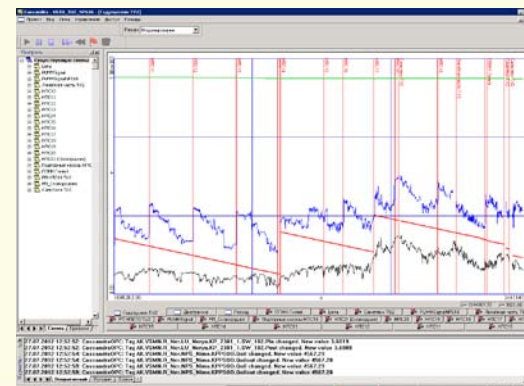
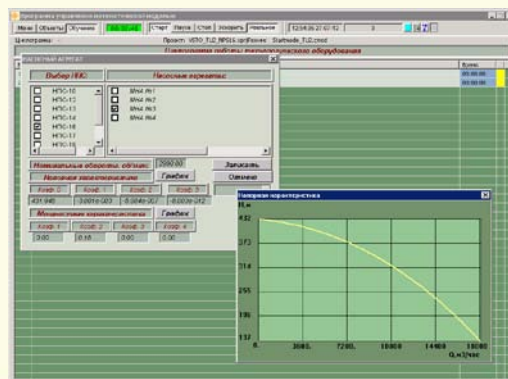
- Создавать произвольные технологические режимы;
- Моделировать штатные и внештатные ситуации (аварии, утечки, и т.д.);
- Управлять технологическими объектами (насосы, задвижки, резервуары и т.д.);
- Работать совместно с остальными программами, установленными в диспетчерском пункте (SCADA, СПД, ЕСУ и т.д.).





# Назначение ПТК «Тренажер»

- 1. Обучение диспетчеров** (Подготовка и повышение квалификации диспетчерского персонала по управлению трубопроводом в штатных, предаварийных и аварийных ситуациях);
- 2. Автоматизация работы технолога** (Моделирование произвольных технологических режимов трубопровода с различными характеристиками технологического оборудования и реологическими свойствами нефти);
- 3. Поддержка АСУ ТП** (Тестирование и проверка ПО, установленного в диспетчерском пункте).





# Схема ПТК «Тренажер»

