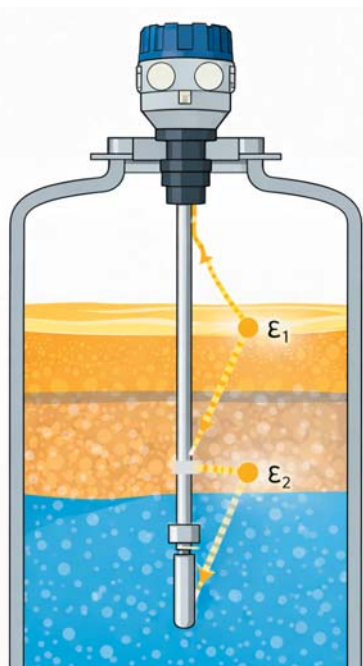


ИЗМЕРЕНИЕ ИНТЕРФЕЙСНОГО УРОВНЯ В НЕФТЕПРОДУКТАХ С ПОМОЩЬЮ ВОЛНОВОДНОГО РАДАРА

КОРНЕЛЬ КОВАЧ
info@ankorn.ru

Измерение интерфейсного уровня в нефтепродуктах — одна из самых сложных задач КИПиА. Эмульсия, пена, смена плотности нефти делают поплавковые, гидростатические и магнитоотрицательные датчики ненадежными. В статье речь пойдет о том, почему волноводный радар (TDR) стал базовой технологией для контроля раздела фаз и какой экономический эффект дает его внедрение на реальных объектах.

РИС. 1. ►
Как волноводный радар видит две границы



ВВЕДЕНИЕ

В нефтегазовой отрасли измерение уровня раздела фаз — одна из самых сложных задач контроля технологических процессов. В отстойниках, сепараторах и товарных резервуарах формируется устойчивая граница между нефтью (или нефтепродуктом) и подтоварной водой. Эта граница критична:

- для обеспечения качества товарной нефти (содержание воды не должно превышать 0,5–1% по ГОСТ 9965–76);
- предотвращения выноса воды в насосные агрегаты;
- оптимизации процесса обезвоживания на установках подготовки нефти (УПН).

Традиционные методы — ручной отбор проб, поплавковые датчики, магнитоотрицательные — демонстрируют системные недостатки в условиях реальной эксплуатации.

Поплавки застревают в эмульсионном слое толщиной 50–300 мм, ручные пробы не обеспечивают непрерывности контроля. Волноводный радар (Guided Wave Radar, GWR), выполненный на основе технологии временной рефлектометрии (TDR), предлагает принципиально иной подход: измерение границы раздела фаз через различие диэлектрической проницаемости сред.

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ: КАК TDR «ВИДИТ» ДВЕ ГРАНИЦЫ В ОДНОМ РЕЗЕРВУАРЕ

Волноводный радар MicroTREK генерирует микроволновые импульсы частотой 1–2 ГГц, которые распространяются вдоль металлического зонда (стержня или коаксиальной трубы). При встрече с изменением диэлектрической проницаемости среды часть энергии отражается обратно к прибору (рис. 1). Время задержки отраженного сигнала пропорционально расстоянию до границы:

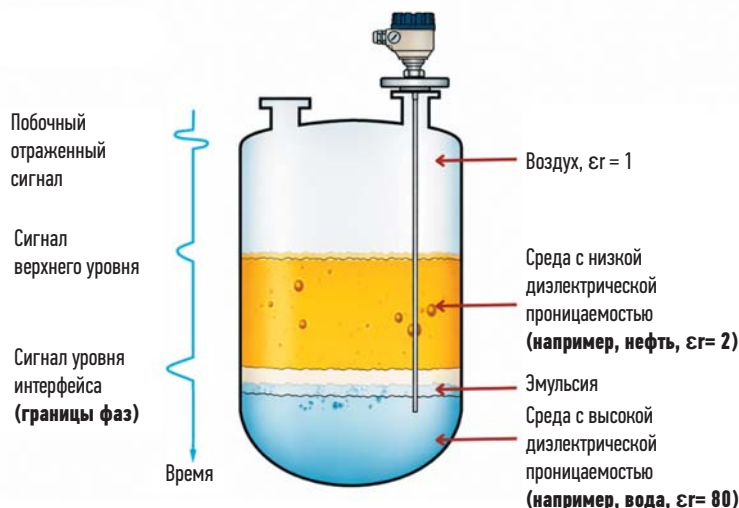
$$L = (c \times t) / (2 \times \sqrt{\epsilon^{\text{эфф}}}),$$

где c — скорость света; t — время задержки; $\epsilon^{\text{эфф}}$ — эффективная диэлектрическая проницаемость среды вдоль зонда.

Ключевое преимущество TDR для раздела фаз — способность регистрировать два последовательных отражения в одном измерительном цикле (рис. 2):

- первое отражение — от поверхности верхней фазы (нефть, $\epsilon \approx 1,8-2,5$);
- второе отражение — от границы раздела нефти/вода (вода, $\epsilon \approx 80$).

РИС. 2. ►
Измерение интерфейса методом TDR/волноводного радара



Разница в диэлектрической проницаемости между нефтью и водой составляет порядка 40 раз, что обеспечивает четкое разделение пиков на осциллограмме даже при толщине эмульсионного слоя до 150 мм. Современные алгоритмы обработки сигнала (например, в MicroTREK, рис. 3) позволяют одновременно выводить два выходных сигнала 4–20 мА:

- первый канал — уровень верхней фазы (нефть);
- второй канал — уровень интерфейса (нефть/вода).

Это принципиально отличает TDR от бесконтактного радара 80 ГГц, который в большинстве случаев не способен надежно измерять интерфейс из-за недостаточной амплитуды второго отражения после прохождения верхней фазы.

ПРАКТИЧЕСКИЕ СЦЕНАРИИ ПРИМЕНЕНИЯ TDR В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Отстойники на УПН: контроль качества обезвоживания

На установках подготовки нефти отстойники работают в режиме непрерывного разделения эмульсии. Требуется поддерживать уровень интерфейса на заданной отметке (обычно 60–70% высоты аппарата), чтобы обеспечить достаточное время отстаивания, но избежать выноса воды в верхний слив.

В кейсе на одном из НГДУ поплавковые датчики демонстрировали дрейф показаний на 150–200 мм из-за образования стойкой эмульсии плотностью 920 кг/м³. Замена на волноводный радар MicroTREK серии H-700 (Nivelco, рис. 4) с коаксиальным зондом длиной 4 м позволила стабилизировать измерения до ±10 мм даже при колебаниях плотности нефти в пределах 840–890 кг/м³.

Товарные резервуары: учет подтоварной воды без остановки

В резервуарных парках нефтебаз подтоварная вода накапливается

постепенно — на 5–50 мм в месяц в зависимости от качества поставляемой нефти. Ее своевременный слив критичен: избыточный уровень воды снижает полезный объем резервуара и создает риск коррозии днища.

Традиционный метод — ручной замер «мерной линейкой» с люка — требует остановки приема/отпуска нефти и несет риски для персонала. MicroTREK с функцией измерения интерфейса позволяет непрерывно контролировать уровень воды в режиме реального времени. При достижении порога 200 мм система АСУ ТП автоматически формирует заявку на слив через нижний дренажный клапан. Внедрение на нефтебазе в Самарской области сократило простои на 120 ч в год и исключило случаи переполнения дренажных емкостей.

Сепараторы нефти и газа: работа в условиях давления и пены

На сепараторах первой и второй ступени разделения нефти, газа и воды возникают дополнительные сложности:

- избыточное давление до 1,6 МПа;
- образование пены на поверхности нефти при интенсивном выделении газа;
- вибрации от насосов и компрессоров.

В таких условиях бесконтактные радары теряют стабильность из-за рассеивания сигнала на пузырьках газа. Волноводный радар MicroTREK благодаря направляющему зонду пробивает пену и обеспечивает надежное отражение от границы раздела. Модификации приборов рассчитаны на работу при давлении до 4,0 МПа и имеют сертификаты взрывозащиты для зон класса 1 и 2 по ПУЭ.

Ключевой вывод: для задач раздела фаз в нефтепродуктах TDR обеспечивает уникальное сочетание надежности и функциональности — одновременное измерение верхнего уровня и интерфейса без зависимости от плотности среды. Это критично при переработке нефти из разных



РИС. 3. ◀ Волноводный радарный уровнемер MicroTREK для контроля уровня раздела сред

РИС. 4. ▼ Волноводный радар MicroTREK H-700/H800/H900 для измерения межфазного уровня



месторождений с колебаниями плотности в пределах 50 кг/м³.

ОГРАНИЧЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ КОНФИГУРАЦИИ MICROTREK

Несмотря на преимущества, инженер должен учитывать следующие ограничения TDR:

- Требования к диэлектрической проницаемости. Верхняя фаза

ТАБЛИЦА 1. СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕРФЕЙСА

Технология	Принцип	Преимущества	Ограничения для раздела фаз «нефть/вода»
Поплавковые датчики	Механическое перемещение поплавка	Низкая стоимость	Застывание в эмульсии; износ уплотнений; невозможность измерения двух уровней одновременно
Гидростатические	Давление столба жидкости	Простота монтажа	Зависимость от плотности нефти; ошибка при изменении состава сырья; не измеряет интерфейс напрямую
Магнитострикционные	Время распространения ультразвука по волноводу	Высокая точность по одному уровню	Сложность калибровки для двух фаз; чувствительность к вибрациям; высокая стоимость
Волноводный радар (TDR)	Отражение микроволн от границы ε	Измерение двух уровней одновременно; независимость от плотности, давления, вибрации; работа в пене и эмульсии	Требует контакта зонда с жидкостью; необходимость выбора типа зонда под условия

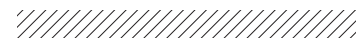


ТАБЛИЦА 2. ОКУПАЕМОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ВОЛНОВОДНОГО РАДАРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕРФЕЙСА (8–14 МЕС.)

Статья экономии	Расчет для типового отстойника (объем — 500 м³)
Снижение потерь товарной нефти из-за выноса воды	12 т/год × 45 000 руб./т = 540 000 руб.
Сокращение простоев на ручной замер	150 ч/год × 3 500 руб./ч (стоимость остановки) = 525 000 руб.
Уменьшение затрат на ТО поплавковых датчиков	4 замены/год × 25 000 руб. = 100 000 руб.
Итого	1 165 000 руб./год

должна иметь $\epsilon \geq 1,4$. Для легких нефтепродуктов (бензин, керосин, $\epsilon \approx 1,8-2$) измерение интерфейса возможно, но амплитуда отражения снижена. В таких случаях рекомендуется использовать коаксиальный зонд, усиливающий сигнал за счет концентрации поля внутри трубы.

- Выбор типа зонда:
 - стержневой зонд (диаметр — 14 мм) — для чистых нефтепродуктов без парафинов и смол; максимальная длина 6 м;
 - двойной стержневой зонд — для сред с очень низким коэффициентом диэлектрической проницаемости ($\epsilon_r < 2$), где требуется повышенная чувствительность за счет концентрации электромагнитного поля между двумя параллельными стержнями;
 - кабельный зонд — для глубоких резервуаров (> 6 м); менее устойчив к вибрациям.
 - двойной кабельный зонд — для глубоких резервуаров с жидкостями, имеющими очень низкий коэффициент диэлектрической проницае-

мости; сочетает преимущества увеличенной длины кабельного исполнения с повышенной чувствительностью двойной конфигурации; максимальная длина до 30 м.

- Температурные ограничения. Стандартные модификации работают до +90 °С. Для сепараторов с подогревом доступна серия НРК-704-4 с пределом +200 °С.
- Взрывозащита. Для зон класса В-Іг и В-Іа по ПУЭ применяются исполнения с маркировкой Ex ia IIC T6 (серия с суффиксом «-Ex»). При настройке прибора для измерения интерфейса необходимо:
 1. Задать диэлектрическую проницаемость обеих фаз в меню калибровки (нефть: 2,0; вода: 80).
 2. Установить мертвую зону у дна не менее 100 мм для исключения влияния осадка.
 3. Настроить фильтрацию сигнала: время усреднения 5–10 с для гашения кратковременных всплесков при вспенивании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Измерение интерфейсного уровня в нефтепродуктах — задача, где тради-

ционные технологии достигли предела своих возможностей. Волноводный радар на основе TDR, представленный в линейке MicroTREK компании NIVELCO, решает ее принципиально иным способом: через физическое различие диэлектрических свойств фаз, а не через механическое взаимодействие с поверхностью. Возможность одновременного измерения верхнего уровня и границы раздела «нефть/вода» с точностью ± 10 мм, независимость от плотности, давления и вибраций делают TDR предпочтительным выбором для отстойников, сепараторов и товарных резервуаров.

Для российских инженеров АСУ ТП важно, что решения NIVELCO доступны через локального эксклюзивного дистрибьютора ООО «Анкорн» с гарантией и технической поддержкой на русском языке. При проектировании систем контроля уровня раздела фаз рекомендуется рассматривать TDR как базовую технологию, резервируя поплавковые или гидростатические датчики только для аварийной сигнализации. Такой подход обеспечивает надежность учета нефти и защиту оборудования при минимальных эксплуатационных издержках. ●