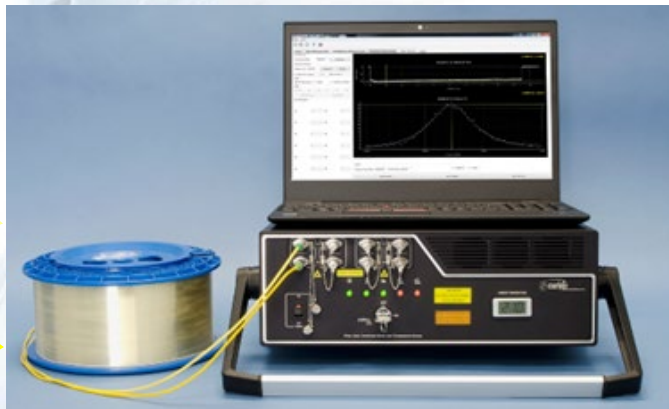


**РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК
ТЕМПЕРАТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ДЛЯ
МОНИТОРИНГА КОРРОЗИИ ТРУБОПРОВОДА (DSTS)**

OZ Optics Limited

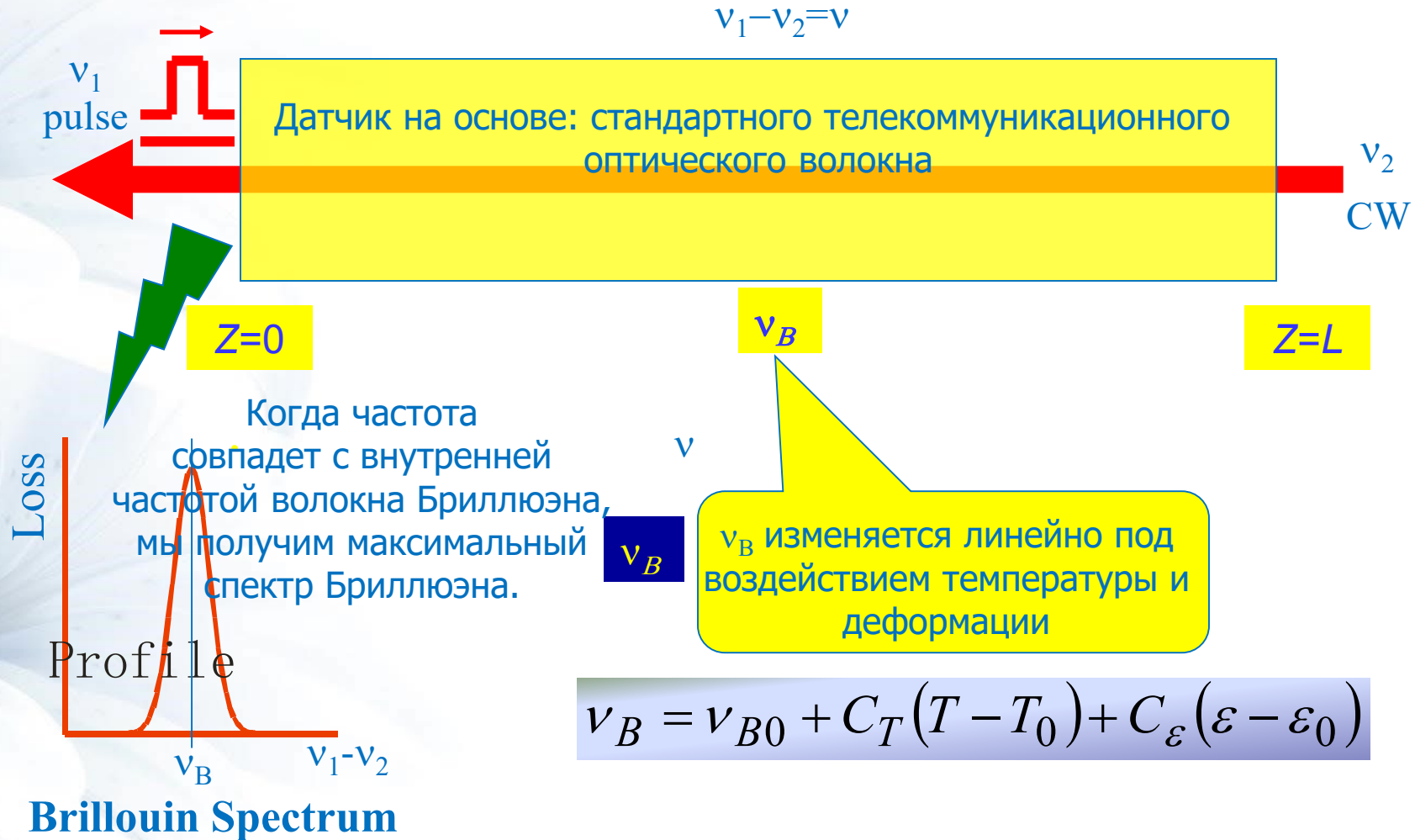
Январь 2023



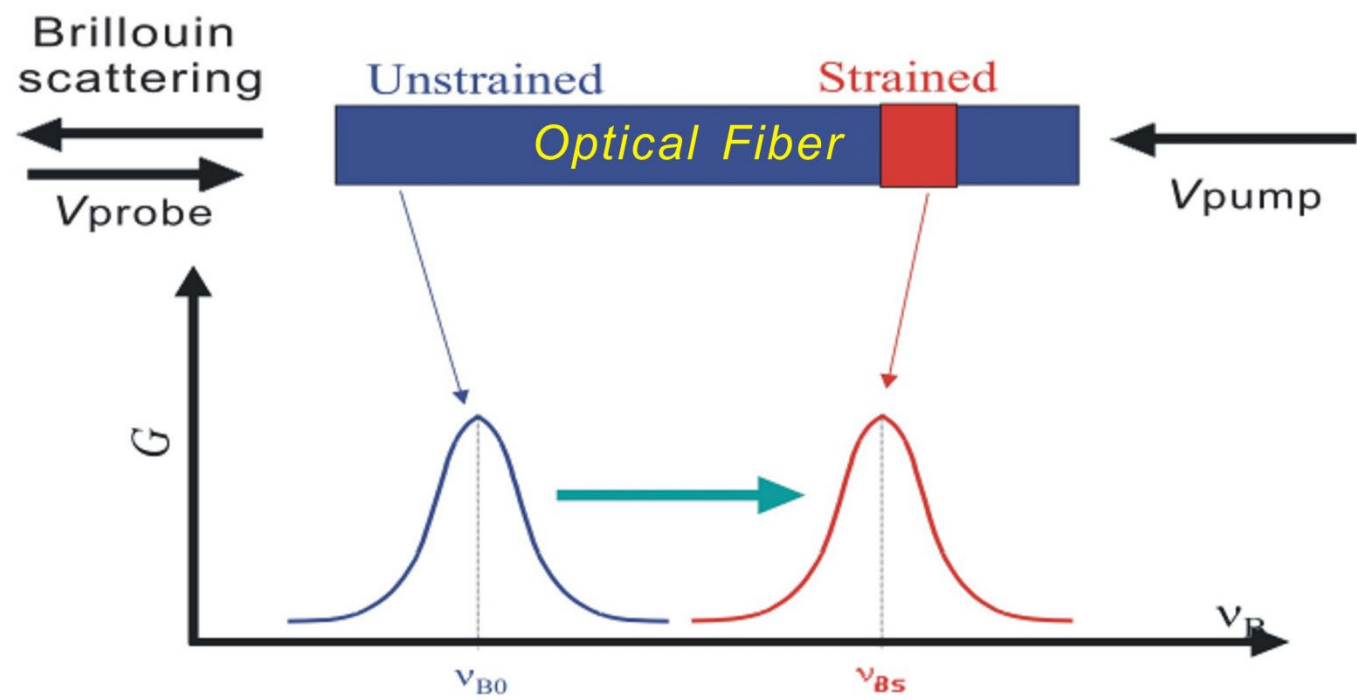
Волоконно-оптические датчики

- **Преимущества волоконно-оптических датчиков**
 - Электроизоляционные материалы (не требуются электрических кабели)
 - Можно использовать при высоком напряжении
 - Химически пассивный, не подлежит например коррозии
 - Не поддается электромагнитным помехам (EMI)
 - Широкий диапазон используемых температур
- **Датчики на основе волоконных Брэгговских решеток**
 - Разрешающая способность и точность: $< 1 \text{ мe}$
 - Нет отличия между деформацией и температурой
 - Точечный датчик
- **Распределенные Волоконно-оптические датчики**
 - На основе комбинированного рассеяния света - только температура
 - Бриллюэновский принцип - как температура так и деформация

▶ Принцип работы - BOTDA (Бриллюэновский оптический Анализатор)



▶ Принцип работы - BOTDA (продолжение)



$$\nu_B = \nu_{B0} + C_T (T - T_0) + C_\epsilon (\epsilon - \epsilon_0)$$

Принцип работы- Когерентное взаимодействие импульса и накачивания света



Числовая модель П/П на основе оптоволоконного датчика Бриллюэна

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial}{\partial z} - \frac{1}{v_g} \frac{\partial}{\partial t} \right) E_p &= ig_1 Q E_s + \frac{1}{2} \alpha E_p \\ \left(\frac{\partial}{\partial z} + \frac{1}{v_g} \frac{\partial}{\partial t} \right) E_s &= -ig_1 Q^* E_p - \frac{1}{2} \alpha E_s \\ \left(\frac{\partial}{\partial t} + \Gamma \right) \bar{Q} &= -ig_2 E_p E_s^* \end{aligned}$$

Три соединенные дифференциальные уравнения:

* Два уравнения Максвелла, описывающие распространение Стокса и накачки лазерных пучков

* Упрощенное уравнение Навье-Стокса, описывающее плотность волны

α = fiber absorption

E_p = pump field

E_s = Stokes field

Q = acoustic field

$v_g = c/n$

$\Gamma = \Gamma_1 + i\Gamma_2$

$\Gamma_1 = 1/2\tau$

damping rate

$\Gamma_2 = \omega - \omega_B$

detuning frequency

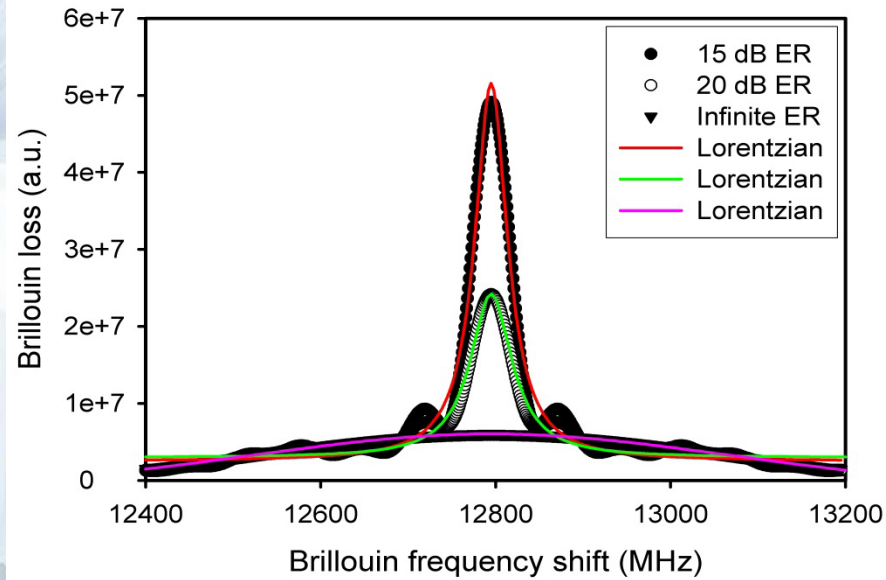
g_1, g_2 : coupling

constants

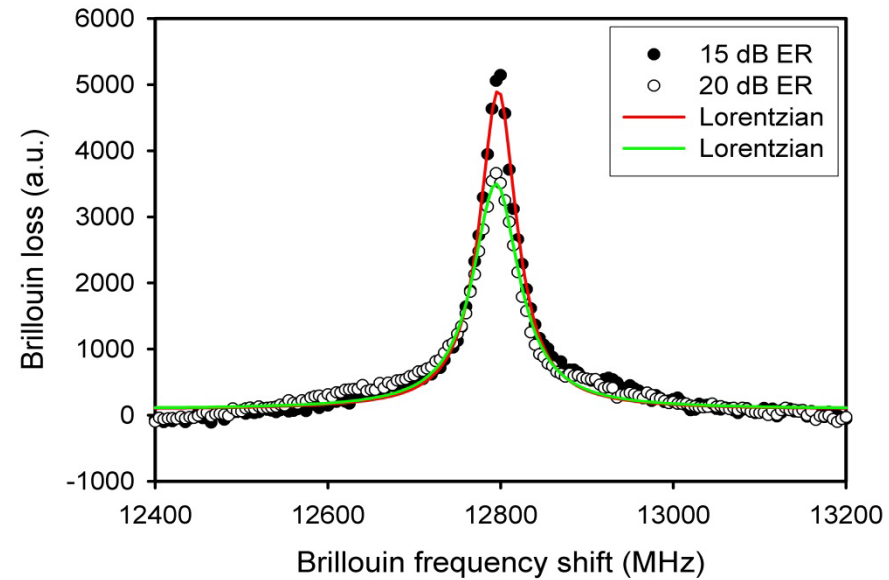
$g_B = 2g_1g_2/\Gamma_1$

Brillouin gain

Принцип работы- Когерентное взаимодействие импульса и накачивания света (продолжение)



Числовое моделирование
 Пульс: 1.5 ns
 Ширина полосы: 46, 58 и 952 МГц
 для ER = 15 дБ, 20 дБ, и бесконечное



Экспериментальные
 Результаты
 Пульс: 1.5 ns
 Ширина полосы : 46 and 56 МГц
 для ER = 15 дБ и 20 дБ

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ



Мониторинг нефтегазовых трубопроводов



Мониторинг плотин



Мониторинг нефтегазовых скважин



Мониторинг мостов и зданий

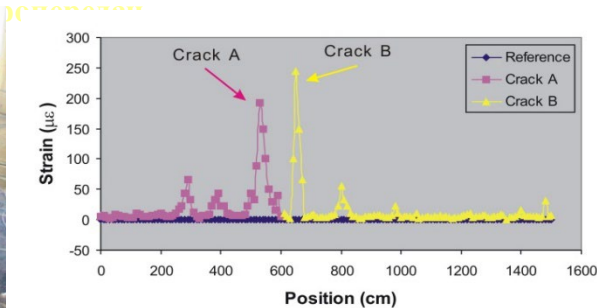


Мониторинг линий



Мониторинг безопасности границ

Нахождение трещин

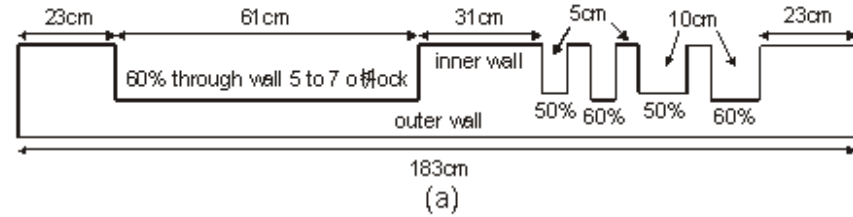


Распределение оптического волокна и размеры соединенных частей

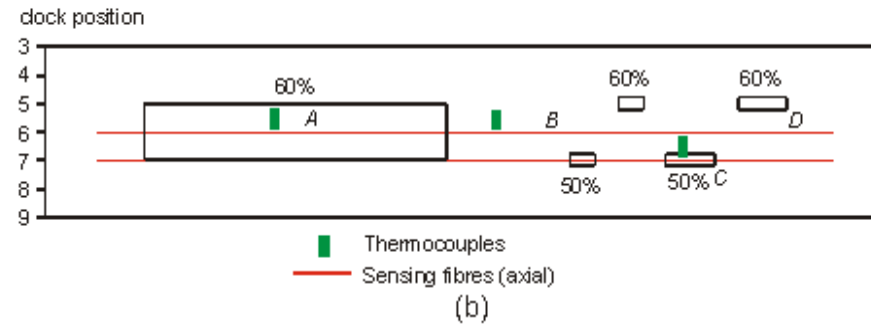
Parameters of cutouts (defects)

Cutout	Location (o'clock)	Reduced thickness (%)	Width (cm)	Length (cm)
A	5-7	60	5.3	61
C	7	50	1.3	10
D	5	60	1.3	10

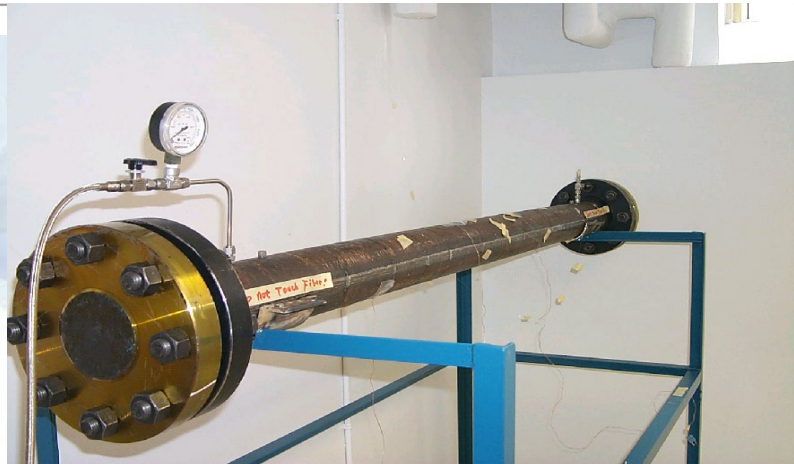
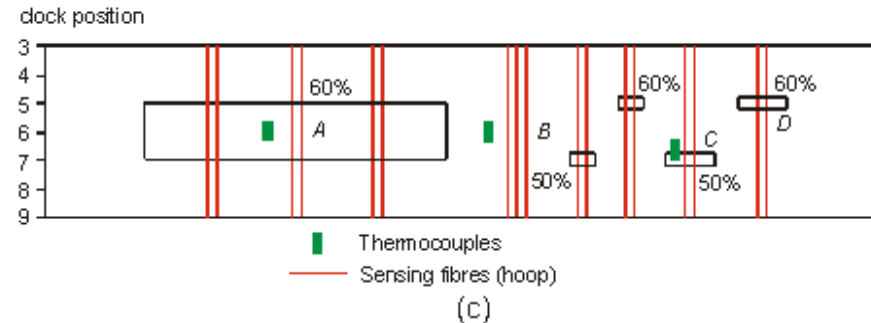
Cross sectional image



Bottom half of pipe

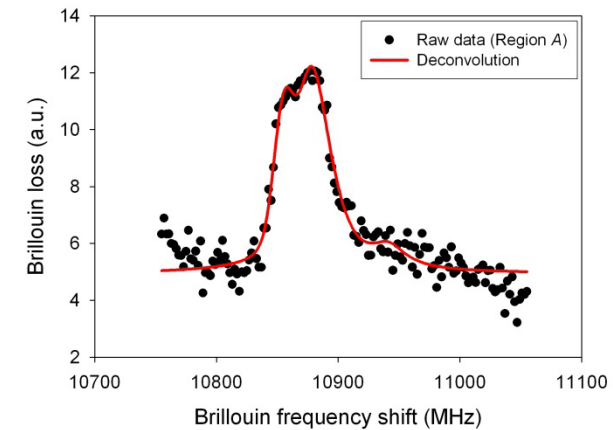
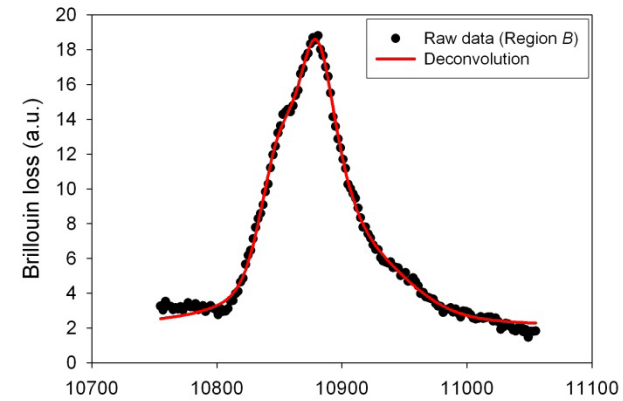


Bottom half of pipe

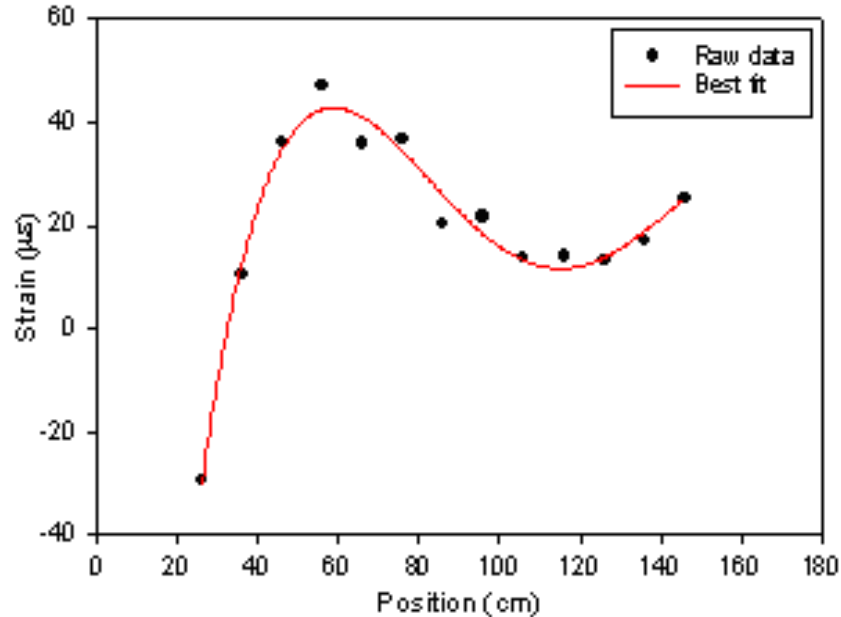


Форма Спектра

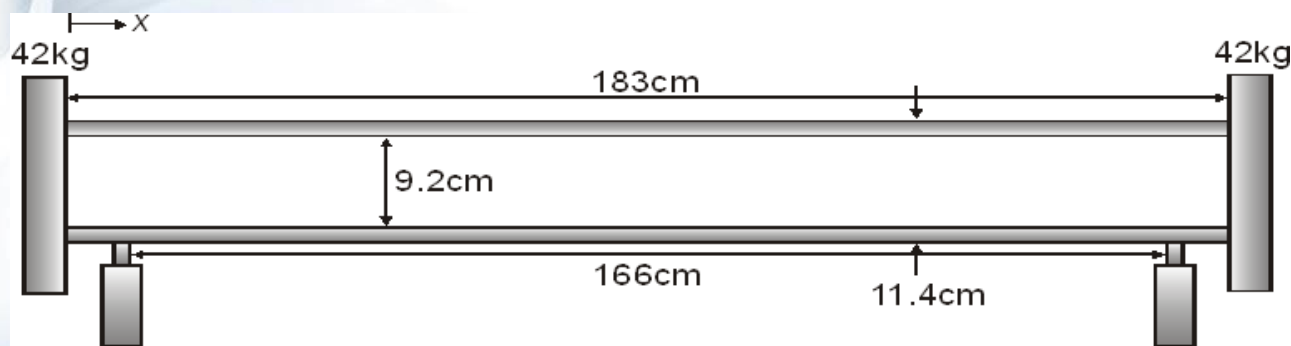
- **Спектр в идеальной области демонстрирует более высокую интенсивность**
- **Волокно испытывает более высокие потери на изгибах в дефектной области**
- **Когерентное взаимодействие зонда и накачки света создает более сложный спектр**
- **Эти различия могут быть использованы для выявления дефектных областей**



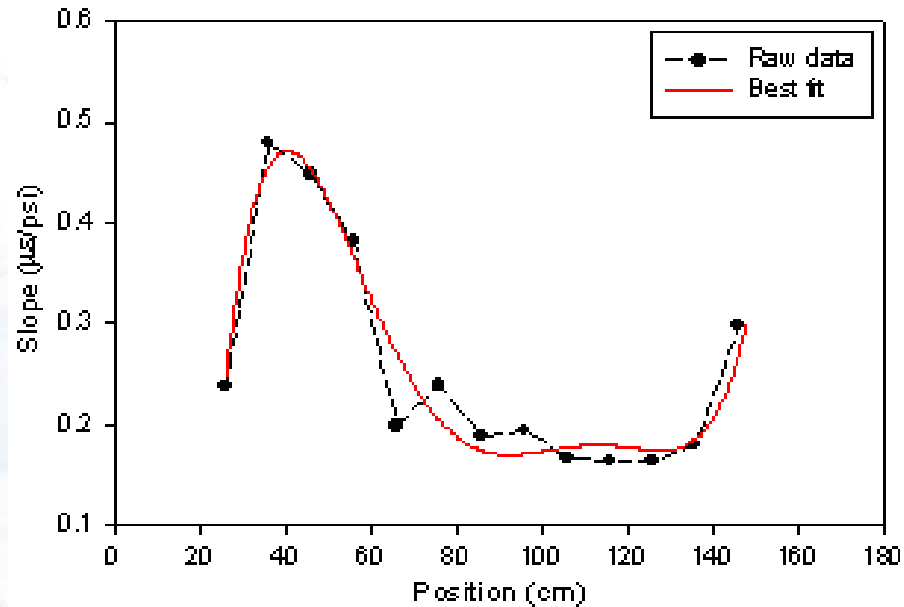
Осевое распределение деформации - Вдоль трубы под внутренним давлением 200 psi



- Максимальная деформация ($46 \mu\epsilon$) происходит в середине дефекта А.
- Минимальное напряжение ($14 \mu\epsilon$) происходит в середине не затронутой области В
- Точки поддержки, торцевые заглушки, асимметричное распределение дефектов влияет на осевое распределение деформаций в обоих концах трубы.

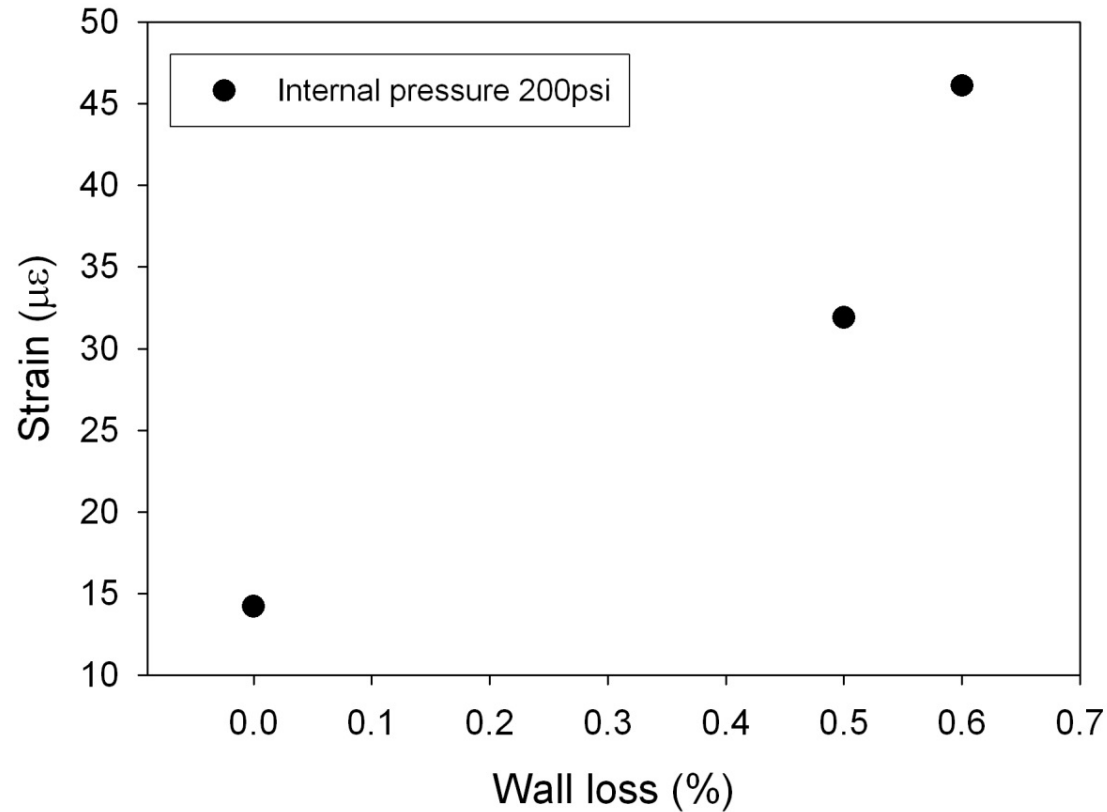


Осевое напряжение- давление от наклона - Вдоль трубы



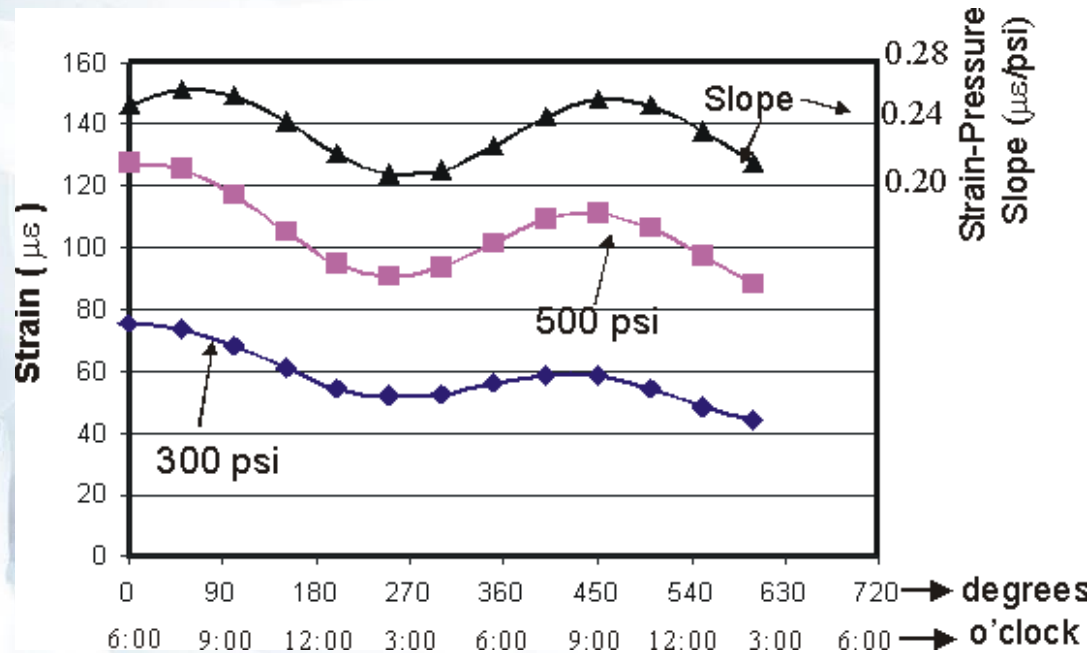
- Максимальное $0.48 \text{ } \mu\epsilon/\text{psi}$ ближе к середине уменьшается по направлению к краям дефекта А.
- Наклон остается постоянным $0.16 \text{ } \mu\epsilon/\text{psi}$ вблизи середины не затронутой области В.
- Локальная концентрация напряжений и импульса с перекрытием в 13 см приводит к пульсации от 70 до 100 см.

Сравнение осевой деформации- Дефекты А (60%) и С (50%) и область В (0%)

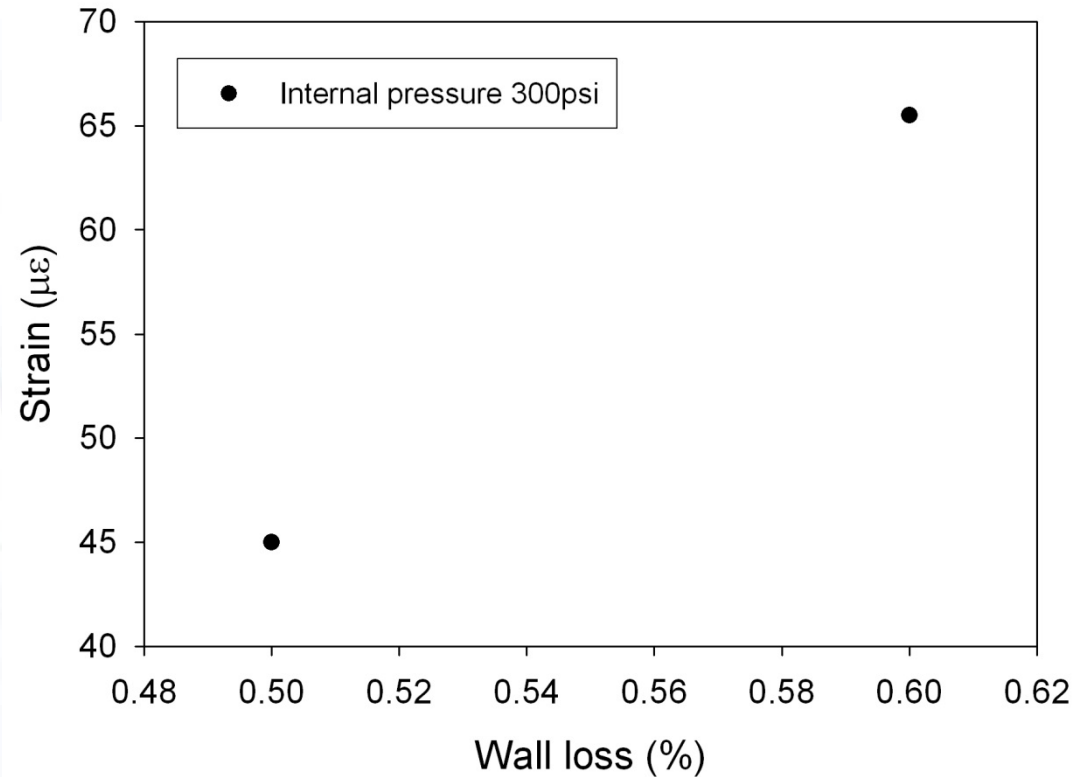


Круговое распределение деформации

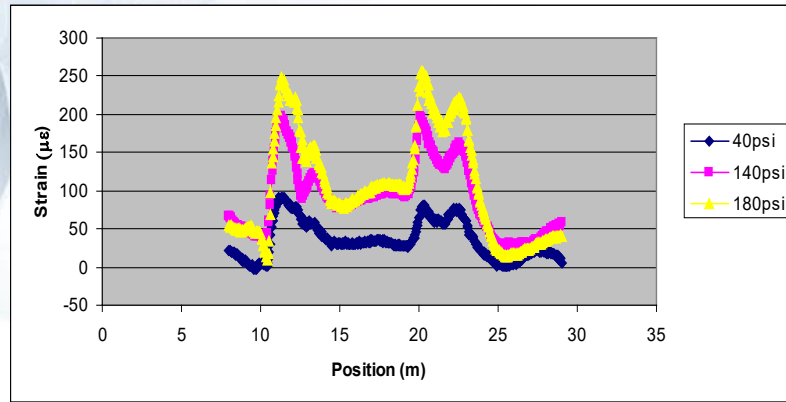
Круговое распределение деформации распределения деформаций обруча вокруг одной окружности трубы охватывающей дефектную область А (60% данной стены, 5,3 см в ширину и 61см в длину). Два максимальных напряжения, соответствующие одному полному витку, наблюдаются.



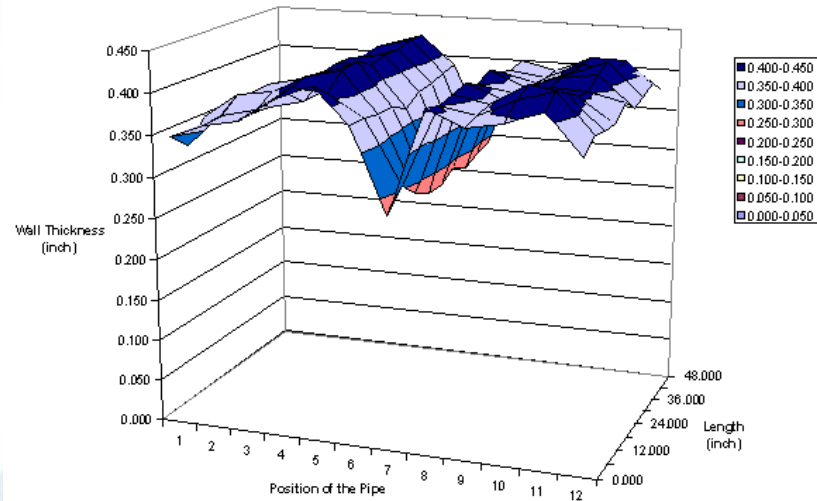
Сравнение круговой деформации- Дефекты вокруг C (50%) и D (60%)



Мониторинг эрозии трубопровода системой DSTS



$$\varepsilon \propto \frac{P}{H}$$



Выводы / Заключение

- Распределенный волоконно-оптический датчик температуры и деформации (DSTS) был успешно применен для идентификации нескольких вырезов внутренних стенок в закрытой стальной трубе.
- Большие деформации наблюдаются в зонах больших дефектов
- Между зонами малых дефектов, 60% изношенные стенки испытывали большие деформации, чем 50% изношенные стенки.
- Система DSTS была успешно использована для идентификации изменения толщины стенок стальных труб, вызванного эрозией песка и нефти.



Выражение признательности



Dr. Gordon P. Gu

Mr. A. Doiron

Dr. S. Papavinasam

CANMET Materials Technology Laboratory

Ottawa, Ontario, Canada

OZ Optics Limited

Для информации и заказов, пожалуйста, свяжитесь
с нами по адресу:

613-831-0981 x3370 или 1-800-361-5415

или напишите нам по адресу:

Sales@ozoptics.com

