

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

**Lufan Zou and Omur Sezerman**

***OZ Optics Limited***

**219 Westbrook Road, Ottawa, Ontario, Canada K0A 1L0**

**[www.ozoptics.com](http://www.ozoptics.com)**

**Winston Revie**

***CANMET Materials Technology Laboratory,  
Natural Resources Canada***

**Ottawa, ON, Canada**



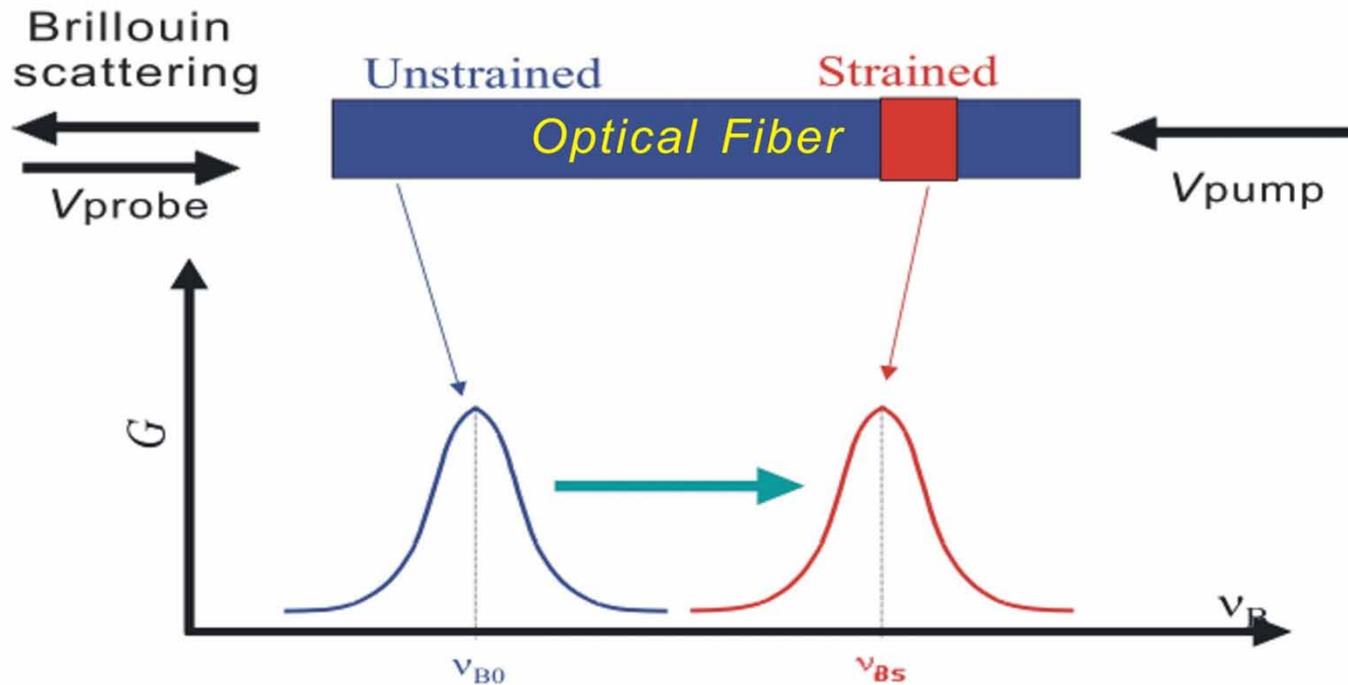
# Волоконно-оптические датчики

- Преимущества волоконно-оптических датчиков
  - Электроизоляционные материалы (не требуются электрических кабели)
  - Можно использовать при высоком напряжении
  - Химически пассивный, не подлжит например коррозии
  - Не поддается электромагнитным помехам (EMI)
  - Широкий диапазон используемых температур
- Датчики на основе волоконных Брэгговских решеток
  - Разрешающая способность и точность:  $< 1 \mu\epsilon$
  - 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)



$$\nu_B = \nu_{B0} + C_T (T - T_0) + C_\varepsilon (\varepsilon - \varepsilon_0)$$

# Принцип работы- Когерентное взаимодействие импульса и накачивания света

Числовая модель П/П на основе оптоволоконного датчика Бриллюэна

$$\left( \frac{\partial}{\partial z} - \frac{1}{v_g} \frac{\partial}{\partial t} \right) E_p = ig_1 Q E_s + \frac{1}{2} \alpha E_p$$

$$\left( \frac{\partial}{\partial z} + \frac{1}{v_g} \frac{\partial}{\partial t} \right) E_s = -ig_1 Q^* E_p - \frac{1}{2} \alpha E_s$$

$$\left( \frac{\partial}{\partial t} + \Gamma \right) \bar{Q} = -ig_2 E_p E_s^*$$

$\alpha$  = 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

$g_B = 2g_1 g_2 \sqrt{\Gamma_1}$

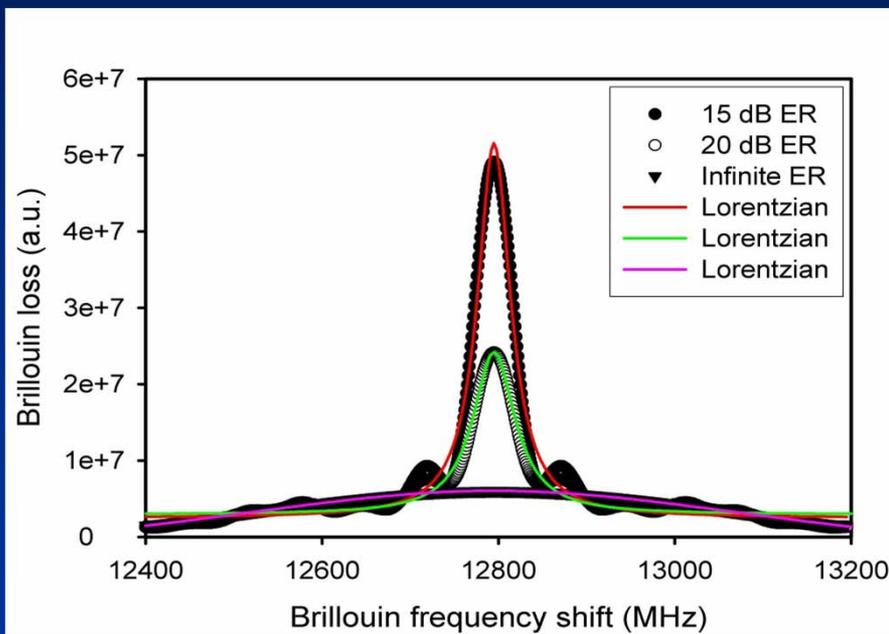
Brillouin gain

Три соединенные дифференциальные уравнения:

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

\* Упрощенное уравнение Навье-Стокса, описывающее плотность волны

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



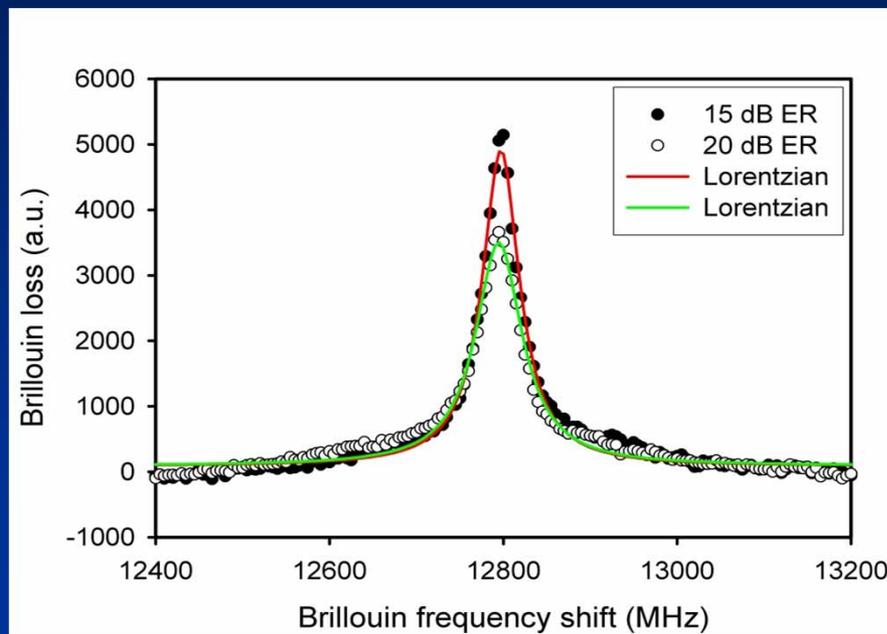
Числовое моделирование

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



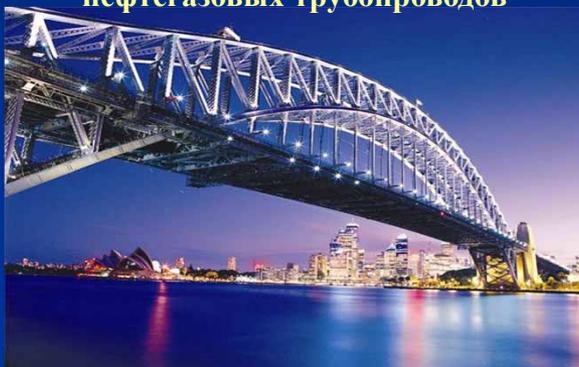
Мониторинг нефтегазовых трубопроводов



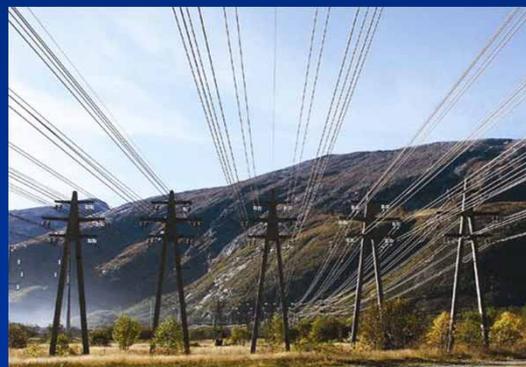
Мониторинг плотин



Мониторинг нефтегазовых скважин



Мониторинг мостов и зданий

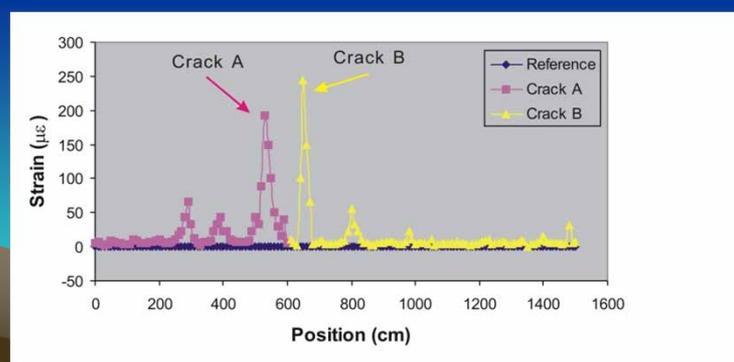


Мониторинг линий электропередач



Мониторинг безопасности границ

Нахождение трещин



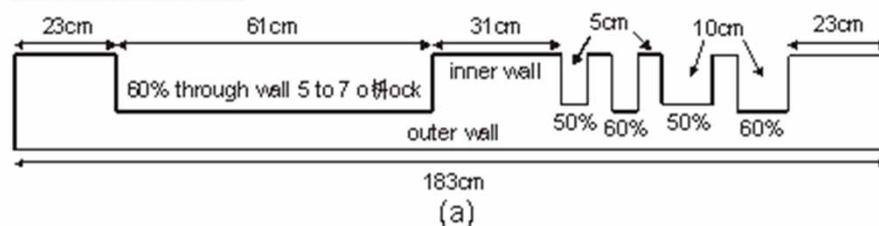
# Распределение оптического волокна и размеры соединенных частей

Parameters of cutouts (defects)

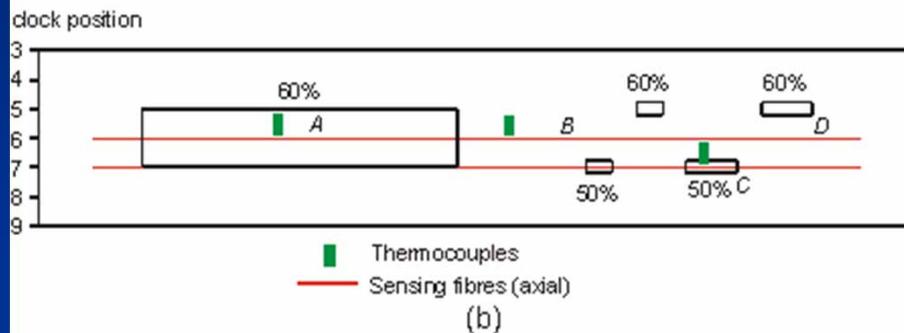
Cutout	Location (o'clock)	Reduced thickness (%)	Width (cm)	Length (cm)
A	5-7	60	5.3	61
C	7	50	1.3	10
D	5	60	1.3	10



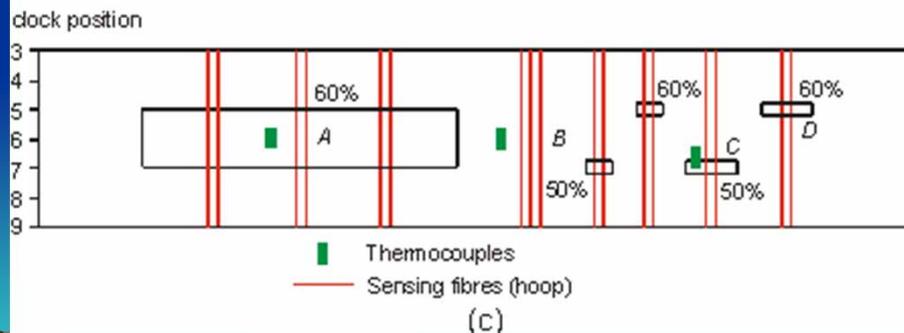
Cross sectional image



Bottom half of pipe

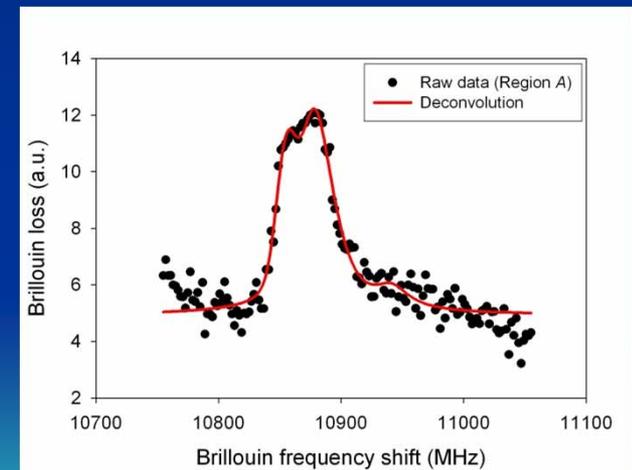
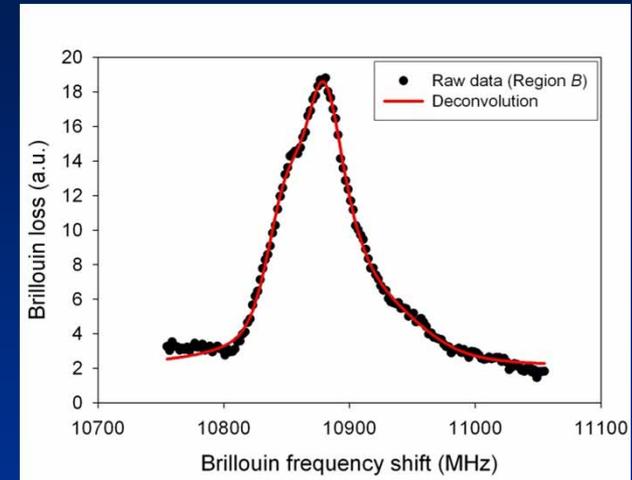


Bottom half of pipe

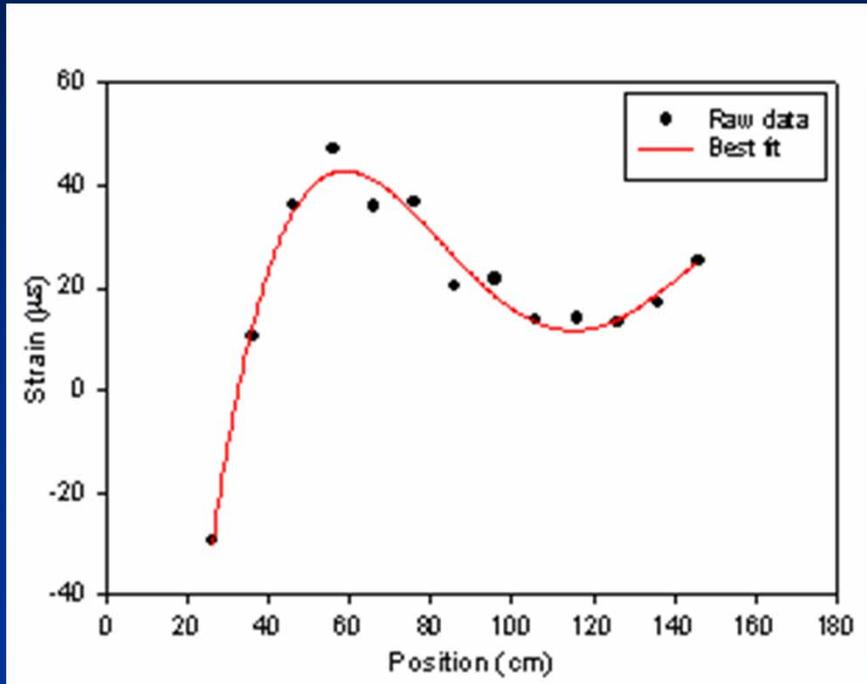


# Форма Спектра

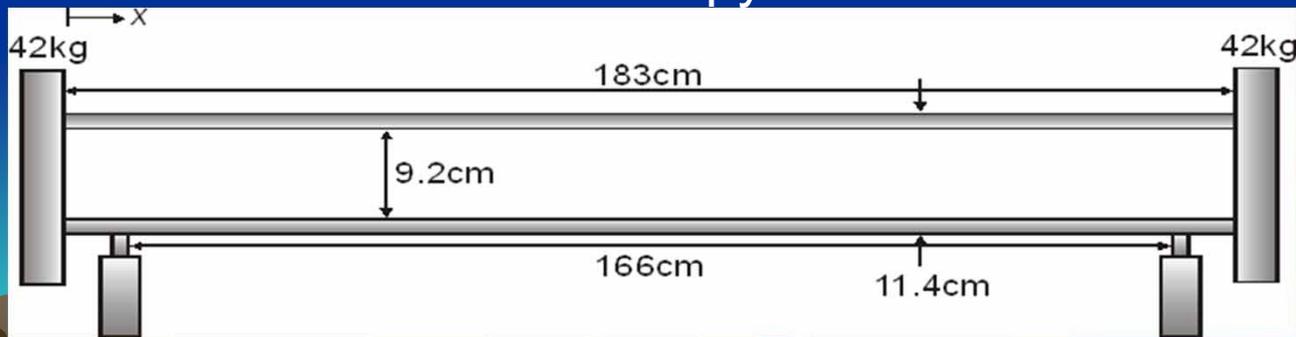
- Спектр в идеальной области демонстрирует более высокую интенсивность
- Волокно испытывает более высокие потери на изгибах в дефектной области
- Когерентное взаимодействие зонда и накачки света создает более сложный спектр
- Эти различия могут быть использованы для выявления дефектных областей



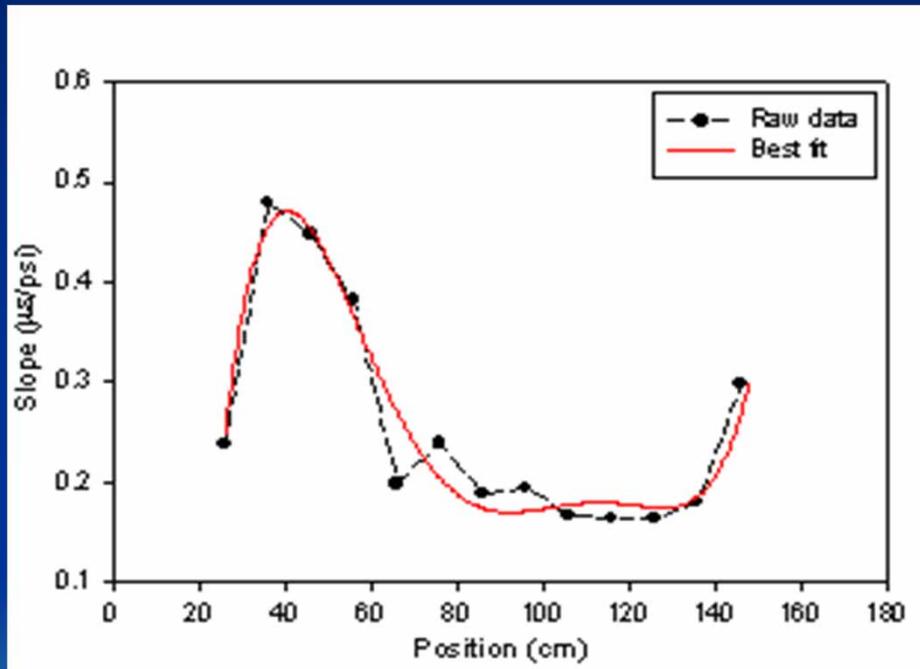
# Осевое распределение деформации - Вдоль трубы под внутренним давлением 200 psi



- 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.

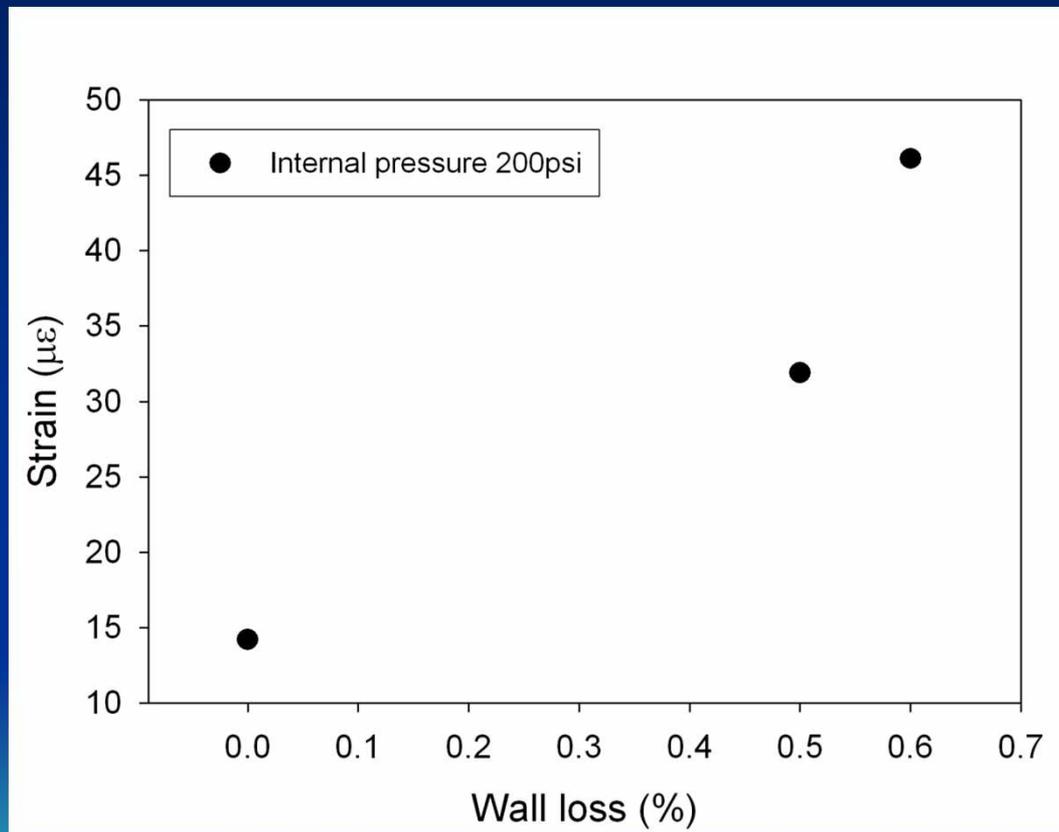


# Осевое напряжение- давление от наклона - Вдоль трубы



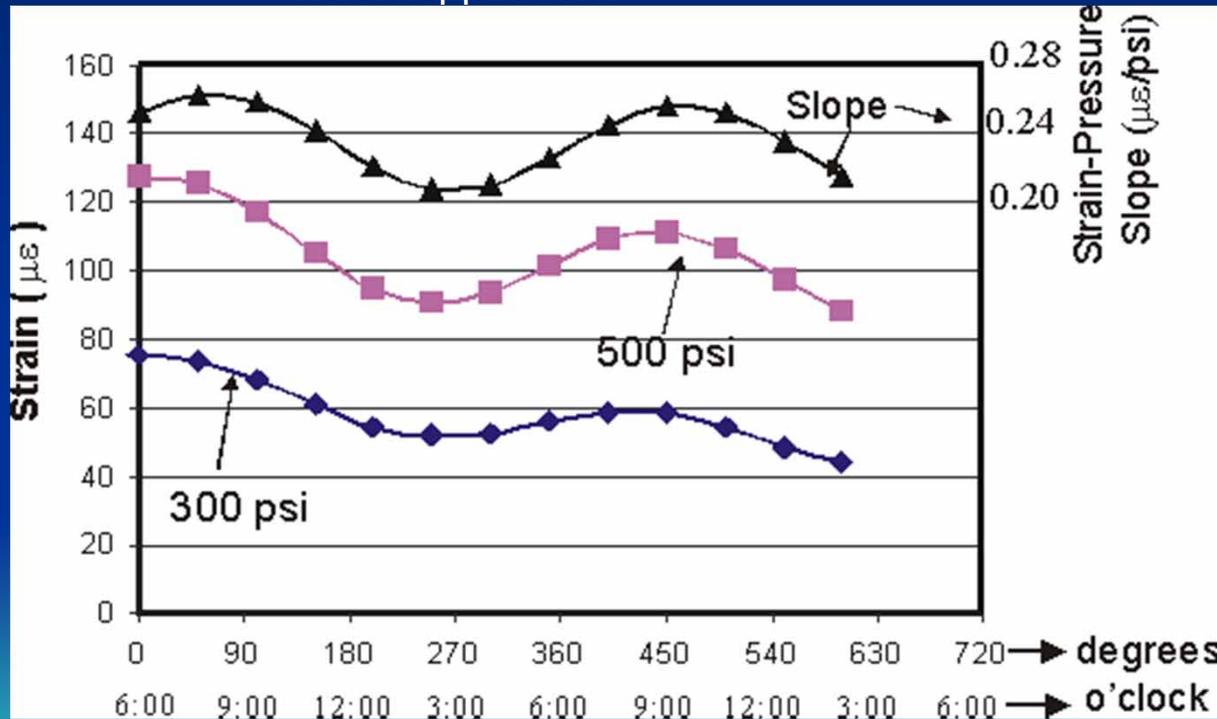
- Максимальное  $0.48 \mu\epsilon/\text{psi}$  ближе к середине уменьшается по направлению к краям дефекта А.
- Наклон остается постоянным  $0.16 \mu\epsilon/\text{psi}$  вблизи середины не затронутой области В.
- Локальная концентрация напряжений и импульса с перекрытием в 13 см приводит к пульсации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

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

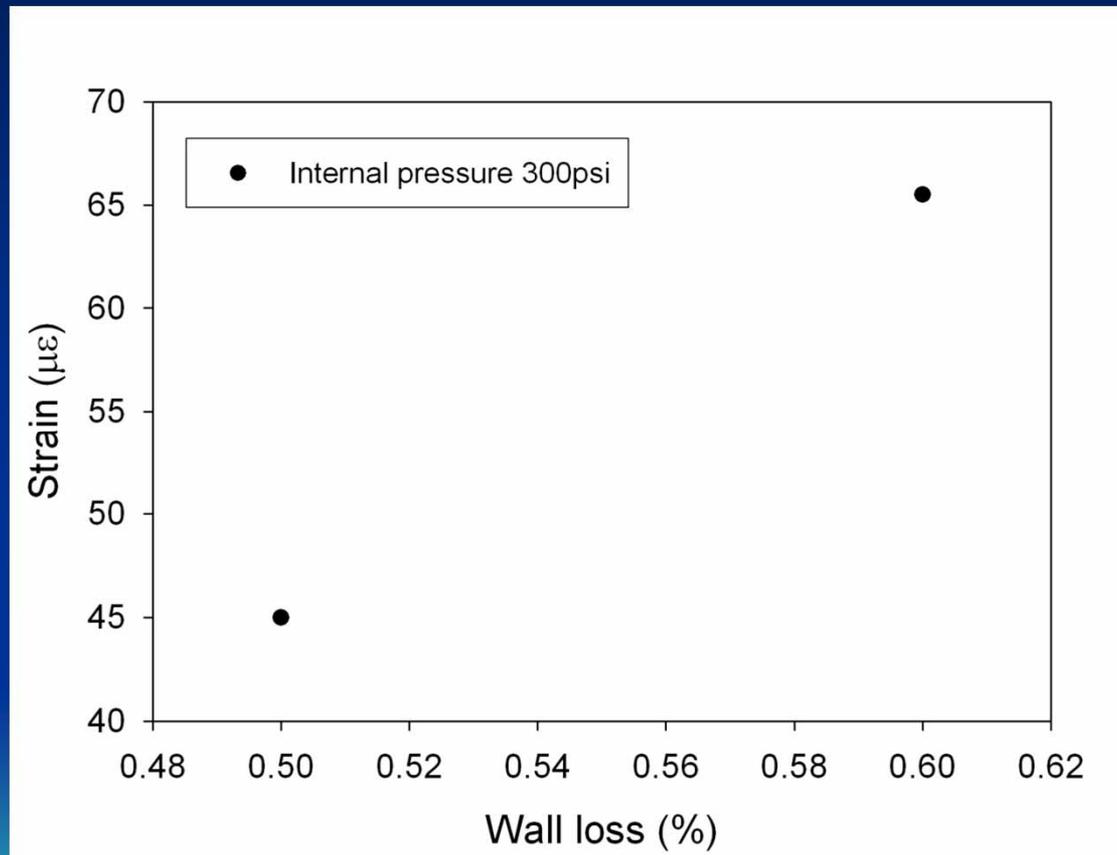


# Круговое распределение деформации

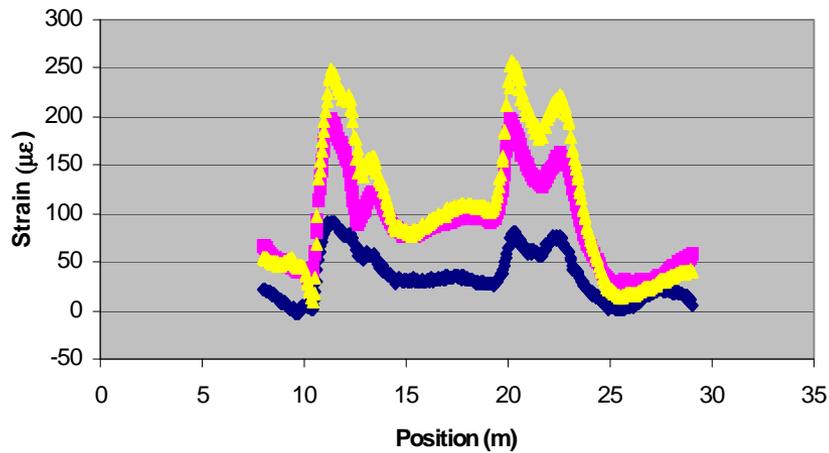
Круговое распределение деформации распределения деформаций обруча вокруг одной окружности трубы охватывающей дефектную область А (60% данной стены, 5,3 см в ширину и 61см в длину). Два максимальных напряжения, соответствующие одному полному витку, наблюдаются.



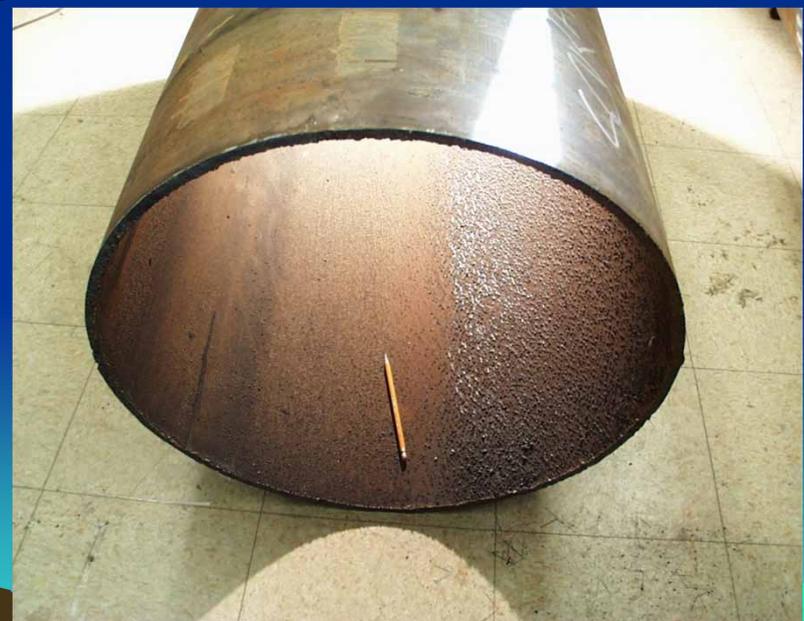
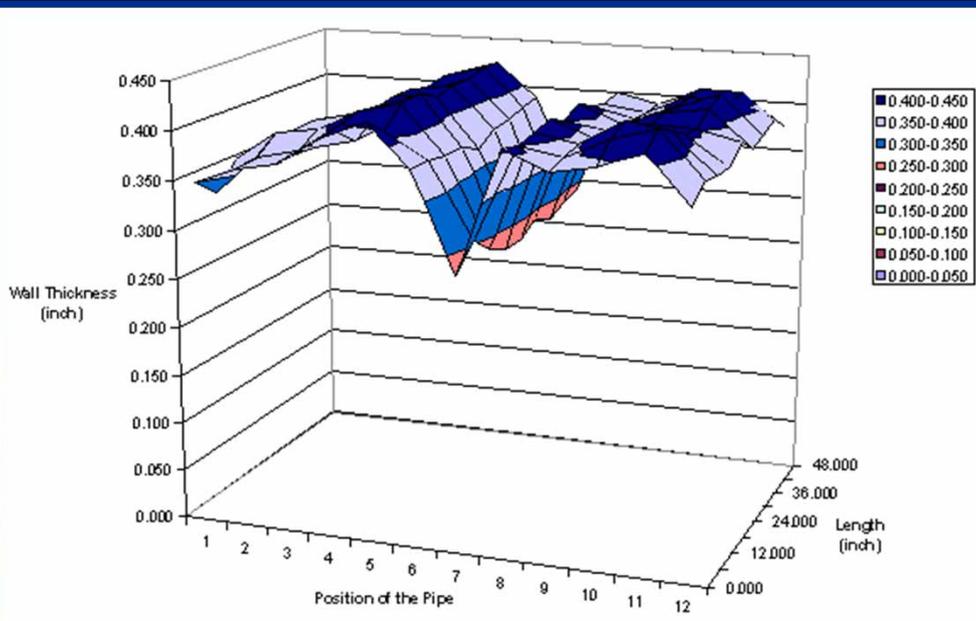
# Сравнение круговой деформации- Дефекты вокруг C (50%) и D (60%)



# Мониторинг эрозии трубопровода системой DSTS



$$\epsilon \propto \frac{p}{H}$$



# 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

Спасибо за внимание.

Вопросы?

