

**Нижегородский государственный университет  
им. Н.И.Лобачевского  
Национальный исследовательский университет**

**ТЕМАТИКА: Разработка научной, методической и приборной базы для  
оценки работоспособности и надежности длительно  
эксплуатируемых магистральных газопроводов на основе  
определения уровня старения металла труб**

**Чувильдеев В.Н., проф., директор НОЦ «Нанотехнологии» ННГУ,  
зам. директора НИФТИ ННГУ**

## Нижегородский университет

ННГУ является одним из ведущих университетов России и представляет собой крупный учебно-научный комплекс.



В составе университета **19** факультетов, **136** кафедр, **6** научно-исследовательских институтов, инновационно-технологический центр, а так же ряд центров научно-исследовательской и образовательной направленности.

В ННГУ обучается около **40 000** студентов, около **1 000** аспирантов и докторантов.

В ННГУ работает **300** докторов наук, **900** кандидатов наук, **19** действительных членов и член-корреспондентов РАН, **23** заслуженных деятеля науки РФ, **33** лауреата Государственной премии, премий Президента и Правительства РФ.

# Предложение ННГУ для программ инновационного развития

**Раздел программы:** Безопасность и надежность трубопроводного транспорта

**Проблема:** Изменение физико-механических свойств трубных сталей вследствие деградации их структуры в процессе длительной эксплуатации магистральных трубопроводов.

**Предложение:** Разработка научной, методической и приборной базы для оценки работоспособности и надежности длительно эксплуатируемых магистральных газопроводов на основе определения уровня старения металла труб

## ОБЪЕМ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ

по проблеме исследования старения трубных сталей

**ПЕРИОД:** 1998 – наст. время.

**ОБЪЕКТЫ:** образцы сталей труб с мест аварий, из аварийного запаса, с мест плановых ремонтов

**КОЛИЧЕСТВО ОБРАЗЦОВ:** более 300 темплетов, несколько тысяч образцов

**МАРКИ СТАЛЕЙ:** 12ГСБ–12Г2СБ, 09Г2ФБ–10Г2ФБ, 17Г1С-У, 17Г2СФ, 14Г2САФ, 10Г2С1, 19Г, 14ГН, 14ХГС, 15Г2С, а также металл труб производства Японии, Франции, Чехословакии.

**МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ:** 14 стандартных и новых методик испытаний и исследований

## Работы выполнены на базе Научно-исследовательского физико-технического института ННГУ

### КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

- Высокоразрешающий просвечивающий электронный микроскоп Jeol JEM-2100F.
- Растровый электронный микроскоп Jeol JSM-6490 с блоком микроанализа.
- Универсальный туннельный/атомно-силовой микроскоп «Assigex-2100».
- Интегрированный сверхвысоковакуумный комплекс для исследования топографии и физико-химических свойств поверхности твердых тел Omicron MultiProbe S (в т.ч. сверхвысоковакуумный зондовый микроскоп UHV STM/AFM LF1).

### КОМПЛЕКС ДЛЯ КОРРОЗИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

- Лабораторный комплекс для проведения испытаний на равномерную коррозию при переменном погружении.
- Лабораторные комплексы для проведения испытаний на коррозионное растрескивание под напряжением по схеме «трехточечный изгиб» при различных значениях температур и электрохимических потенциалов.
- Лабораторные комплексы для проведения испытаний на коррозионное растрескивание под напряжением по схеме «консольный изгиб»
- Лабораторные испытательные машины для проведения испытаний на коррозионную усталость по схеме «консольный изгиб».

### КОМПЛЕКС ДЛЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

- Автоматизированная испытательная машина Tinius Olsen H25K-S (2,5 тс), оборудованная системой для проведения сверхпластических испытаний при повышенных температурах (до 1200 °С) и высоких скоростях деформации (1000 мм/мин).
- Универсальная испытательная машина EU-40 (40 тс) для проведения механических и технологических испытаний.
- Лабораторный автоматизированный комплекс для проведения усталостных испытаний при комнатной и повышенной температурах.
- Универсальная испытательная машина типа 2167 P-50 (5 тс) для проведения механических испытаний на растяжение, сжатие, изгиб и малоцикловую усталость при комнатной и повышенной температурах.
- Автоматизированный прецизионный комплекс АСС-1 для измерения микропластических свойств металлов методом релаксационных испытаний.
- Автоматизированный комплекс для исследования внутреннего трения в герцовом (обратный крутильный маятник) диапазоне частот в режимах непрерывного нагрева и изотермического отжига.

# Методика релаксационных испытаний. Определение ресурса материала конструкций

Методика релаксационных испытаний позволяет прецизионно определять микропластические характеристики материала. Полученные данные позволяют определить допустимые рабочие напряжения и в сочетании с информацией об уровне рабочих напряжений определить остаточный ресурс материала конструкции.

Автоматизированная установка АСС-1 позволяет проводить экспресс-анализ механических свойств материалов при температурах – 40 - + 500 °С, необходимых для оценки состояния металла и расчета остаточного ресурса.

Патент на изобретение №2204817, 2002 г.

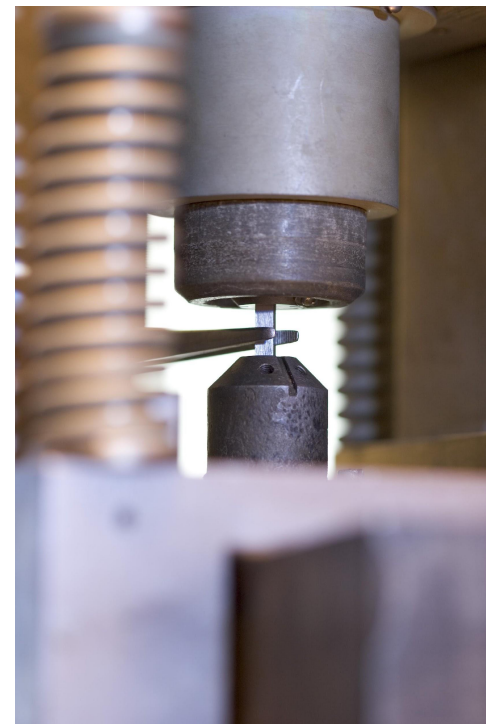
## Оценка уровня старения

$$S(\sigma_o) = \frac{\sigma_o^{\text{исх}} - \sigma_o^{\text{измер}}(t)}{\sigma_o^{\text{исх}} - \sigma_o^{\text{min}}} \cdot 100\%$$

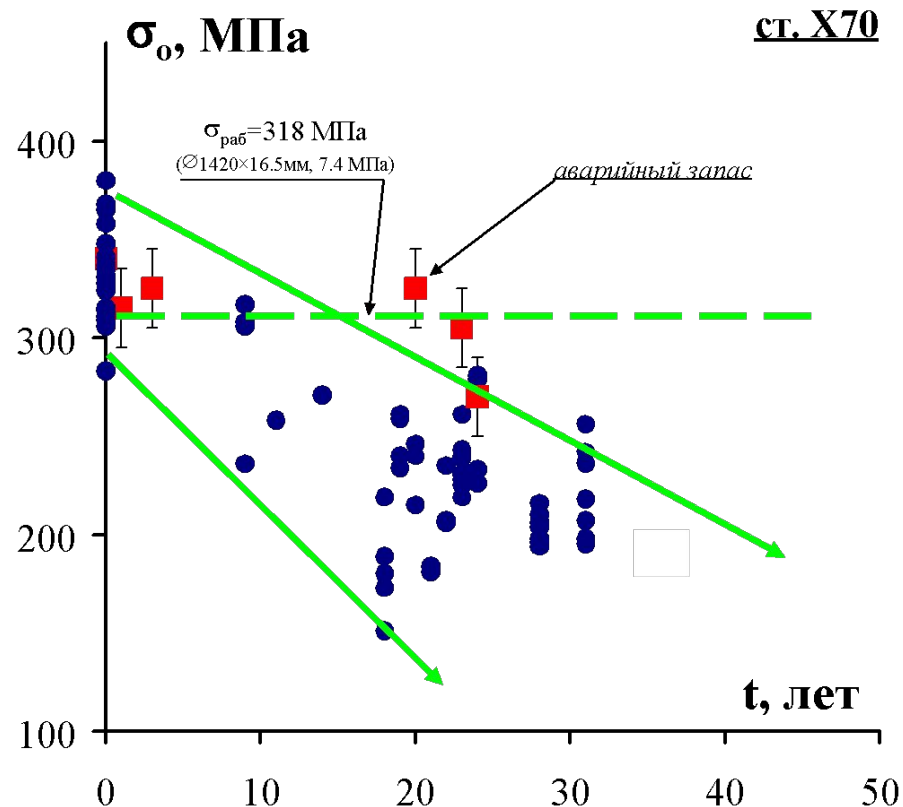
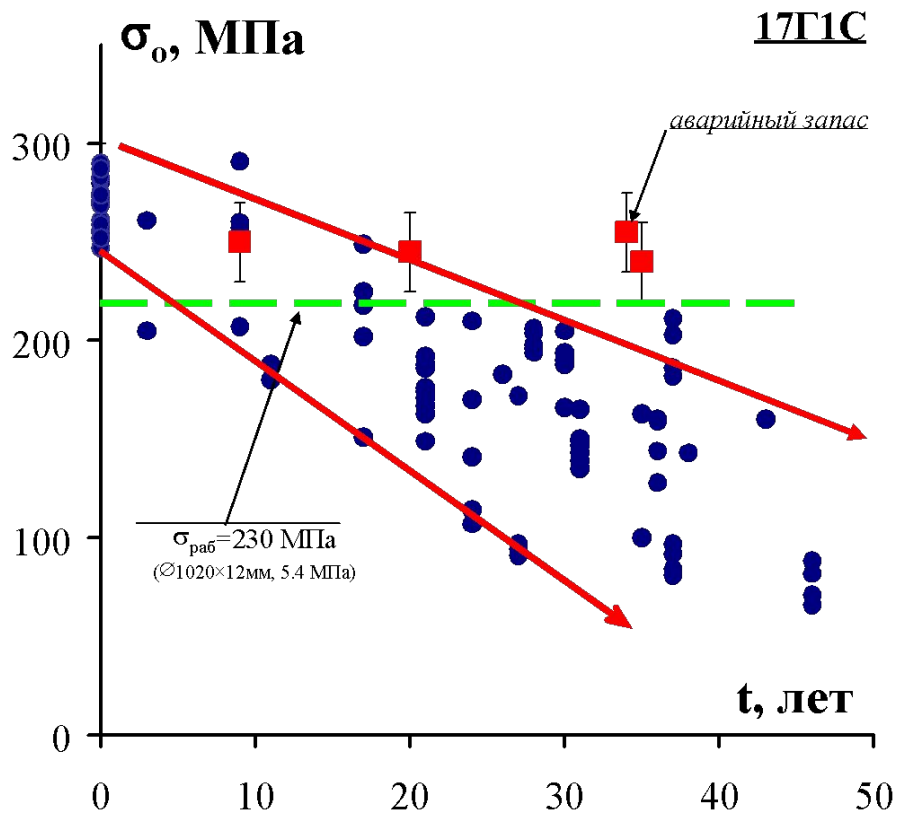
$\sigma_o^{\text{измер}}(t)$  - величина предела макроупругости металла после  $t$  лет эксплуатации

$\sigma_o^{\text{исх}}$  – величина предела макроупругости стали в исходном состоянии

$\sigma_o^{\text{min}}$  – минимальная величина предела макроупругости стали в полностью состаренном состоянии

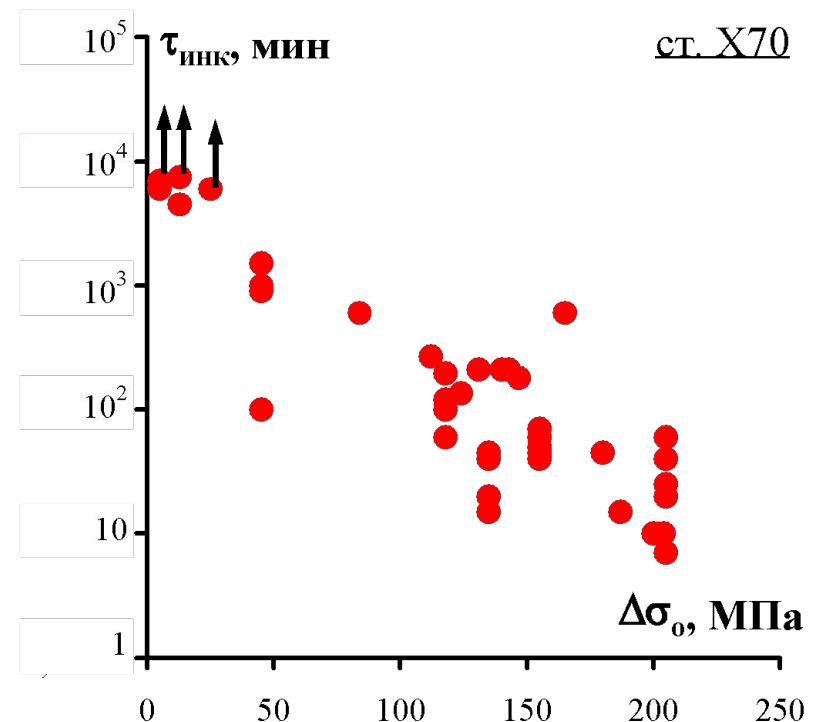
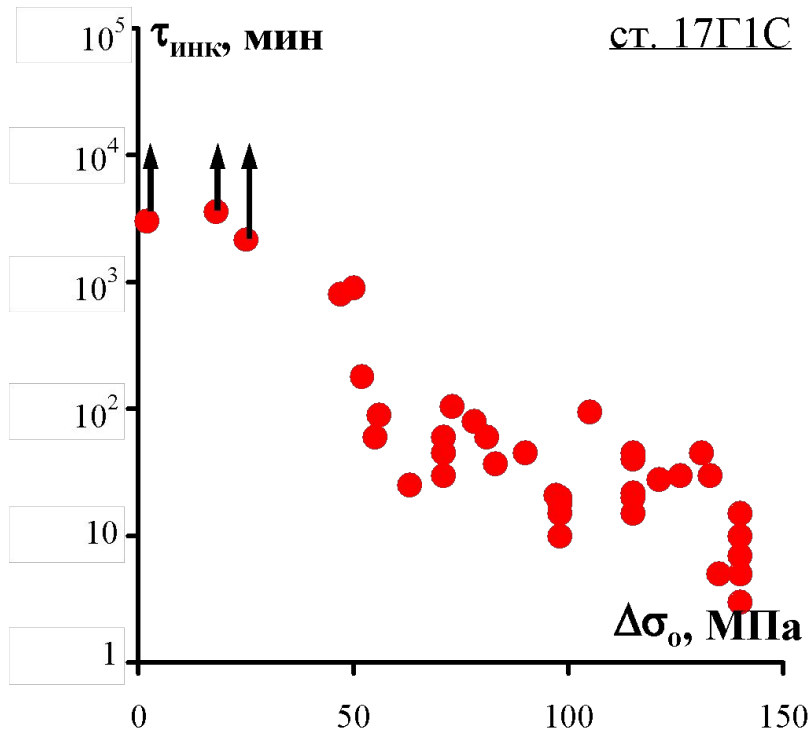


# Прогноз интенсивности старения



**Зависимость предела макроупругости сталей от времени эксплуатации МГ**

# Влияние уровня старения на стресс-коррозионную стойкость трубных сталей

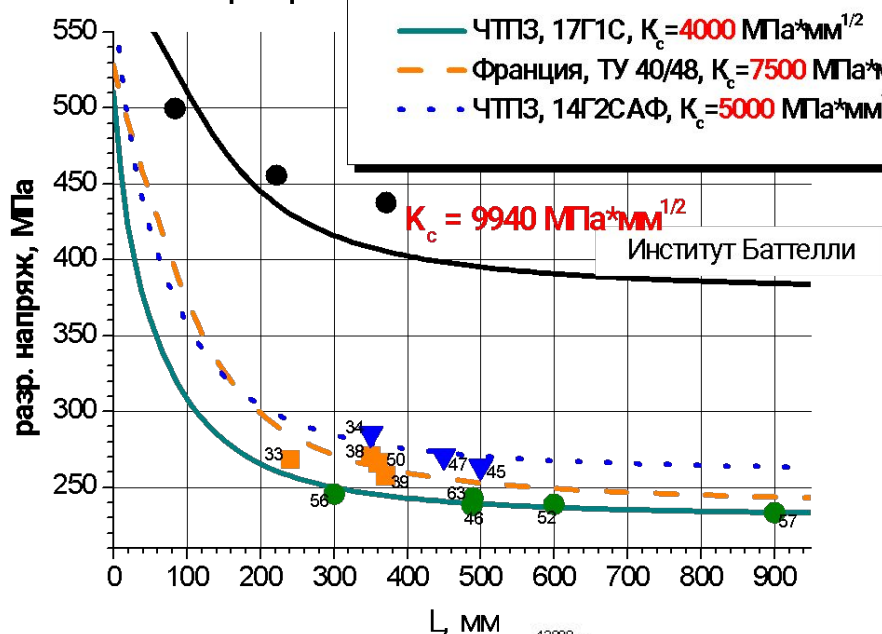


Зависимость времени инкубационного периода КРН  $\tau_{\text{инк}}$  (время до появления первой трещины) от уровня старения

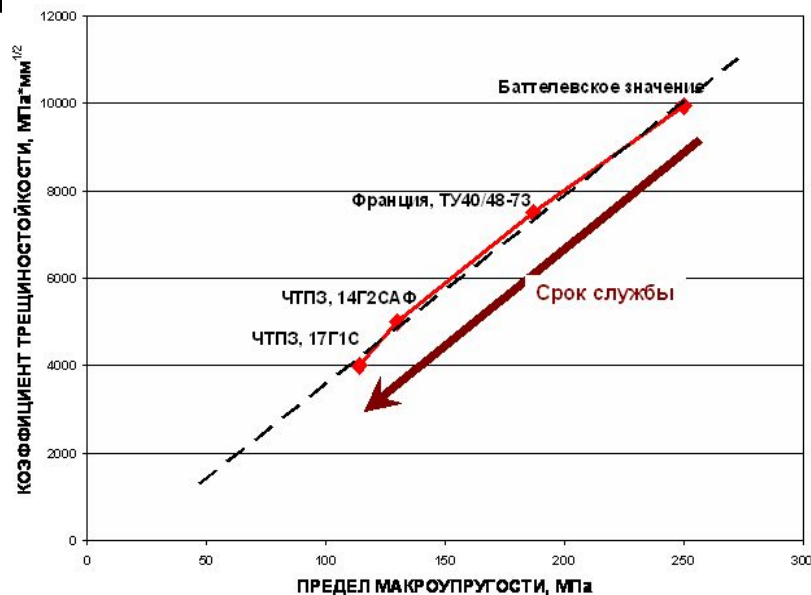
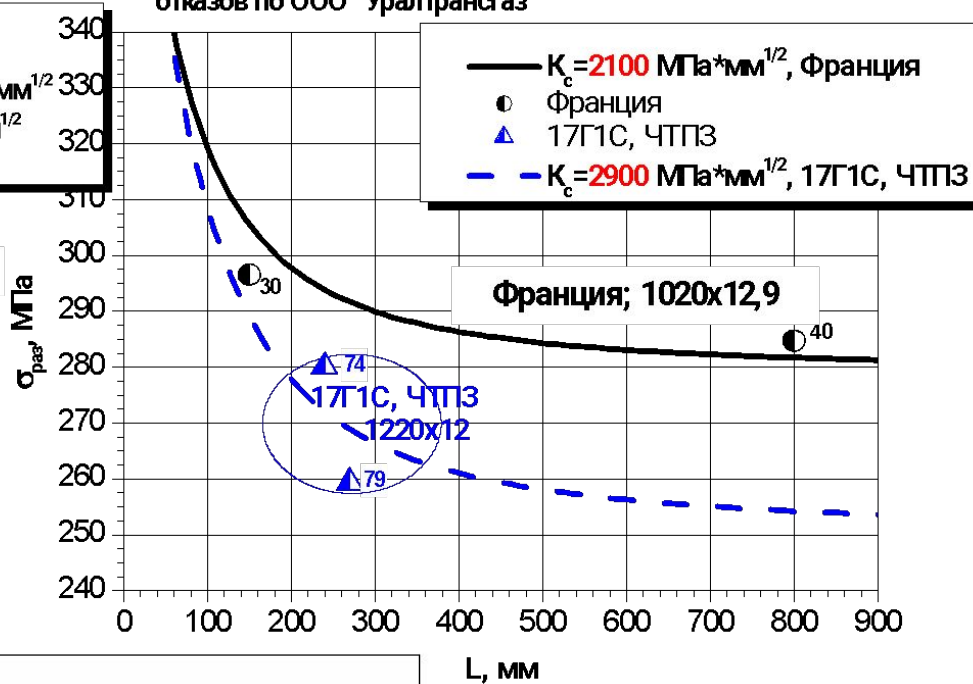


# Влияние старения на трещиностойкость

Альбом аварийных разрушений  
ООО "Севергазпром"

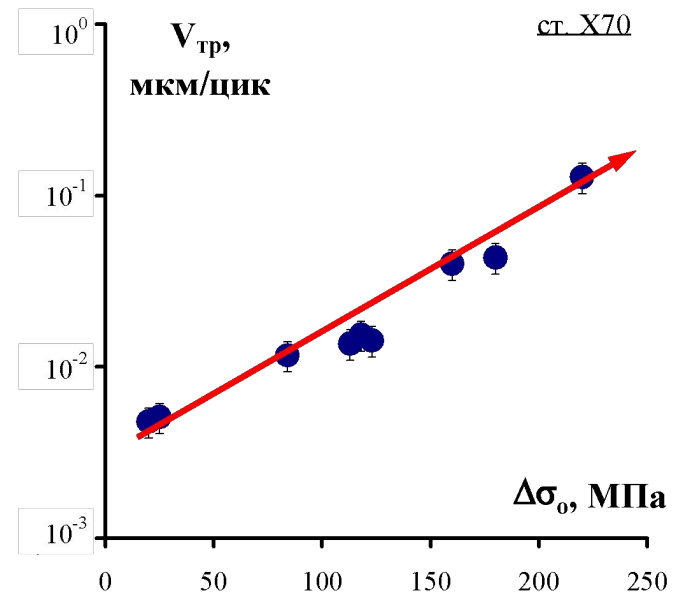
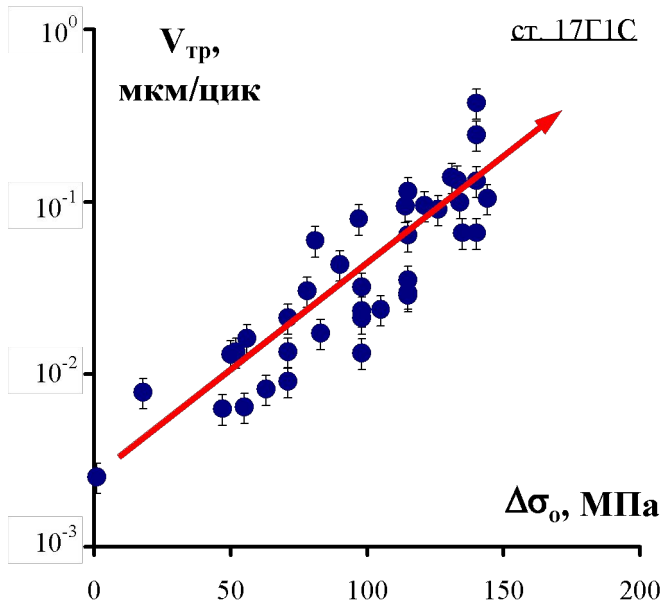
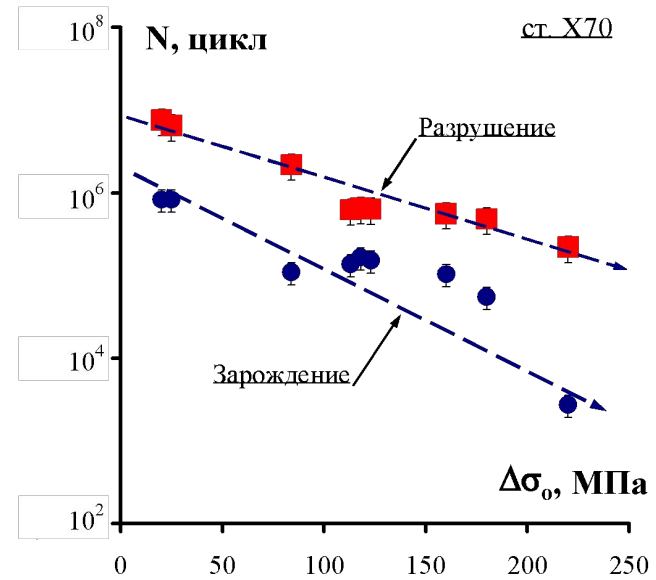
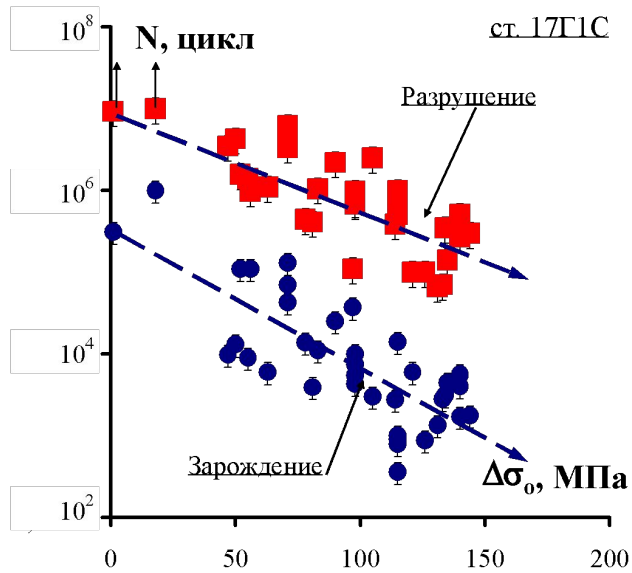


Статистические данные аварийных отказов по ООО "Уралтрансгаз"



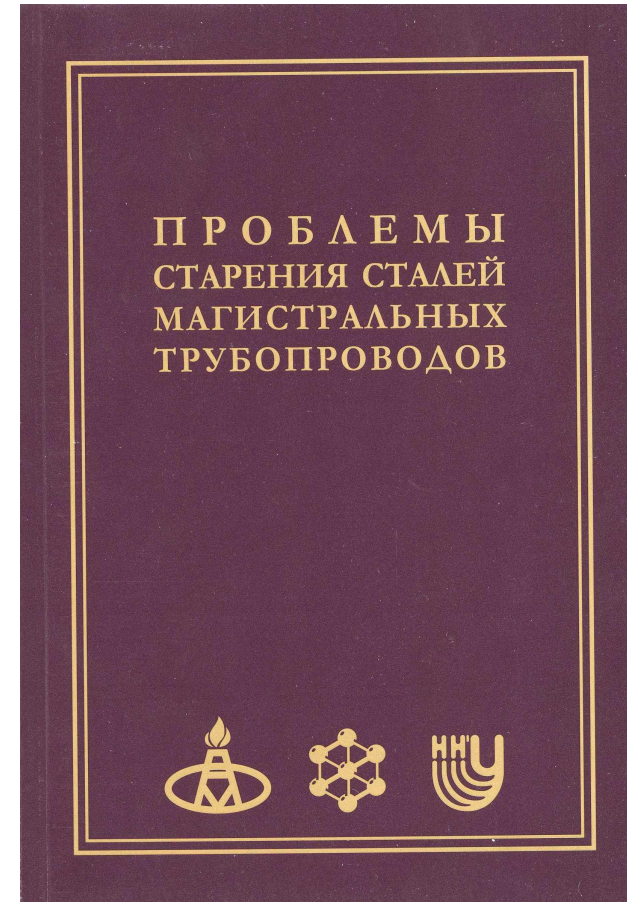


# Влияние уровня старения на усталостную прочность трубных сталей



# Заключение по результатам исследований

1. В процессе эксплуатации структура стали изменяется (деградирует) .
2. Процессы изменения структуры стали связаны с «уходом» углерода из решетки феррита и образованием хрупкой сетки карбидов на границах зерен феррита – процессом старения стали .
3. Скорость процесса старения зависит от параметров структуры и технологии изготовления стали – она максимальна для сталей контролируемой прокатки и минимальна для нормализованных и горячекатанных сталей .
4. Изменение структуры стали (старение) в процессе эксплуатации само по себе не приводит к разрушению, но оно приводит к изменению критических параметров и скоростей повреждающих процессов и, следовательно, создает условия для быстрого разрушения труб .



# **ПРОЕКТ: Разработка научной, методической и приборной базы для оценки работоспособности и надежности длительно эксплуатируемых магистральных газопроводов на основе определения уровня старения металла труб**

## **Ожидаемые результаты проекта:**

- 1. База данных по результатам исследований и испытаний трубных сталей, содержащая информацию об уровне и интенсивности их старения.**
- 2. Методика оценки уровня старения металла труб МГ на основе анализа результатов релаксационных испытаний.**
- 3. Методика оценки технического состояния и срока безопасной эксплуатации металла труб МГ с учетом уровня старения трубных сталей.**