

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СРОКА СЛУЖБЫ УЗЛА ПРИВАРКИ КОЛЛЕКТОРА К КОРПУСУ ПАРОГЕНЕРАТОРА ПГВ-1000

ОАО «Концерн Росэнергоатом», Москва

ОАО «НПО ЦНИИТМАШ», Москва

ОАО ОКБ «ГИДРОПРЕС», Подольск Моск. обл.

**Открытое акционерное общество
«Концерн по производству электрической и тепловой энергии
на атомных станциях»
(ОАО «Концерн Энергоатом»)**

УТВЕРЖДАЮ
Заместителя Генерального директора –
– директор по производству и эксплуатации АЭС
_____ А.В. Шутиков
« ____ » _____ 2014 г.

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ ЭКСПЛУАТИРУЮЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ	СТО
---	-----

**Методика оценки срока службы узла приварки коллектора
теплоносителя к корпусу парогенератора ПГВ-1000**

1 РАЗРАБОТАН Открытым акционерным обществом Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения (ОАО НПО «ЦНИИТМАШ») и Открытым акционерным обществом Опытное конструкторское бюро «ГИДРОПРЕСС» (ОАО ОКБ «ГИДРОПРЕСС»)

1 Область применения

1.1 Методика оценки срока службы узла приварки коллектора теплоносителя к корпусу парогенератора должна применяться на стадии эксплуатации.

В качестве критической зоны принята зона перехода от «кармана» коллектора к патрубку Ду1200 (галтель радиусом 20мм), расположенная ниже сварного шва №111.

1.2 Настоящая методика применяется в ОАО «Концерн Росэнергоатом» и его филиалах, а также на предприятиях, выполняющих заказы концерна.

2 Нормативные ссылки

В настоящей методике использованы ссылки на следующие нормативные документы:
ПНАЭ Г-7-002-86 «Нормы расчёта на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок» М., Энергоатомиздат. 1989.

РД ЭО 1.1.2.05.0330-2012 «Руководство по расчету на прочность оборудования и трубопроводов реакторных установок РБМК, ВВЭР и ЭГП на стадии эксплуатации, включая эксплуатацию за пределами проектного срока службы». 2012.

4 Общие положения

4.1 Для оценки срока службы узла приварки коллектора теплоносителя к корпусу парогенератора необходимо провести:

- расчет напряженно-деформированного состояния;
- оценку циклического подрастания дефекта в соответствии с установленными в настоящей методике критериями.

4.2 Расчеты выполняются:

- а) на момент обследования и обнаружения дефектов;
- б) на период до следующих ППР и на прогнозируемый срок службы.

4.6 В основу методики расчета положен учет возможности развития макротрещин вследствие замедленного деформационного коррозионного растрескивания (ЗДКР).

4.9 Проявление ЗДКР наблюдается при одновременном сочетании нескольких факторов – температуры, скорости деформации, наличии в отложениях окиси меди.

При проведении расчетов диапазон температур в котором проявляется ЗДКР принимается от 150 до 300 С, скорость деформации составляет $v \leq 5 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$.

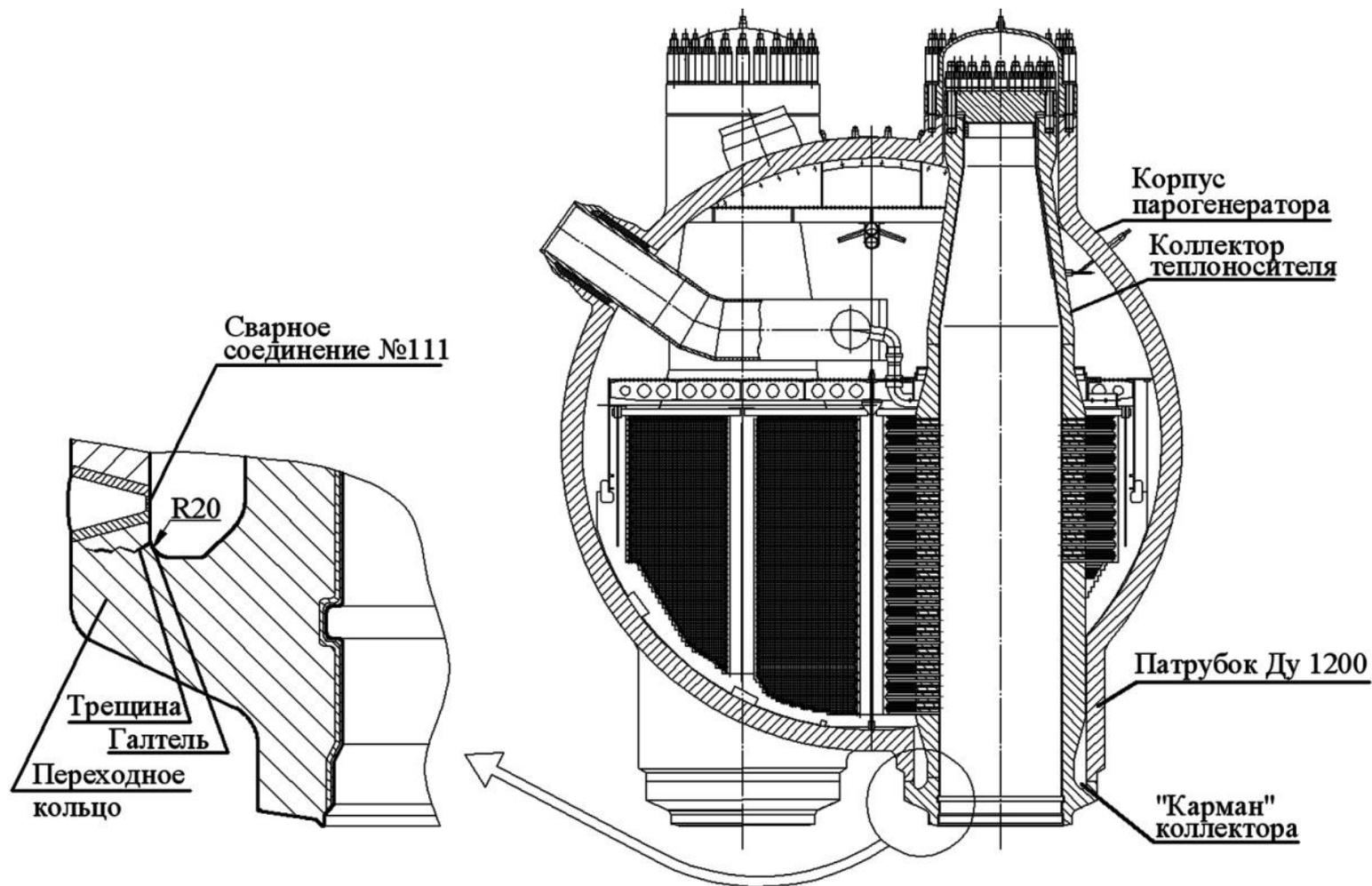
4.11 Оценка срока службы для условий проявления ЗДКР выполняется в предположении наличия исходного дефекта, размеры которого определяются с учетом используемого метода и аппаратуры УЗК.

Если по данным УЗК дефект не выявлен, в качестве исходного расчетного дефекта принимается поверхностный полуэллиптический дефект с размерами $a_0 \times c_0$ (где a_0 и c_0 - малая и большая полуоси дефекта).

При расчете кинетики развития дефекта отношение полуосей выбирается из условия получения минимального количества циклов до образования сквозной трещины.

$$a_{0 \max} = 11.6 \text{ мм.}$$

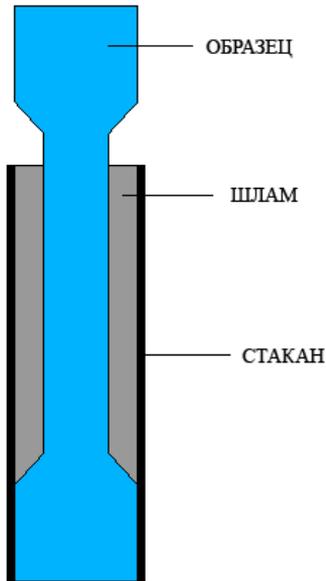
УЗЕЛ ПРИВАРКИ КОЛЛЕКТОРА К КОРПУСУ ПАРОГЕНЕРАТОРА ПГВ-1000



Параметры нагружения в зоне галтели R20 для различных режимов работы ПГ

№ п/п	Расчетное состояние	Диапазон скоростей деформирования, 1/сек	Диапазон изменения температуры, °С	Максимальные напряжения, МПа	Минимальные напряжения, МПа
1	разогрев	$(0-1.2) \cdot 10^{-7}$	20-280	250	0
2	повышение мощности	$(0-0.23) \cdot 10^{-7}$	265=const	265	247
3	снижение мощности	$(0-1.15) \cdot 10^{-7}$	286=const	268	243
4	отключение ГЦН	$(0-2.4) \cdot 10^{-7}$	286-243	283	242
5	включение ГЦН	$(0-0.65) \cdot 10^{-6}$	282=const	264	245
6	срабатывание АЗ	$(0.5-1.8) \cdot 10^{-6}$	286=const	290	240
7	малая течь	$(0.5-1.2) \cdot 10^{-6}$	286-70	298	260
8	разрыв паропровода	$(0-3.2) \cdot 10^{-5}$	286-130	720	-40
9	расхолаживание	$(0-4.2) \cdot 10^{-6}$	250-50	250	0

Исследования ЗДКР при контактировании стали 10ГН2МФА со шламом



1. Испытания цилиндрических образцов на растяжение в условиях контактирования рабочей поверхности со шламом с различным содержанием CuO : 0-100%.

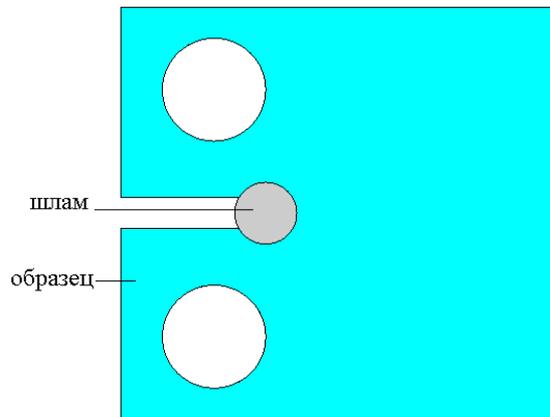
Толщина отложений 0.5; 1.0; 5 мм.

2. Испытания образцов на растяжении в условиях контактирования рабочей поверхности с 75% Fe_2O_3 + 25% CuO до стадии, соответствующей началу трещинообразования с последующей промывкой и продолжением испытания в чистой среде (после заливки в автоклав новой дистиллированной воды и повторного барботирования).

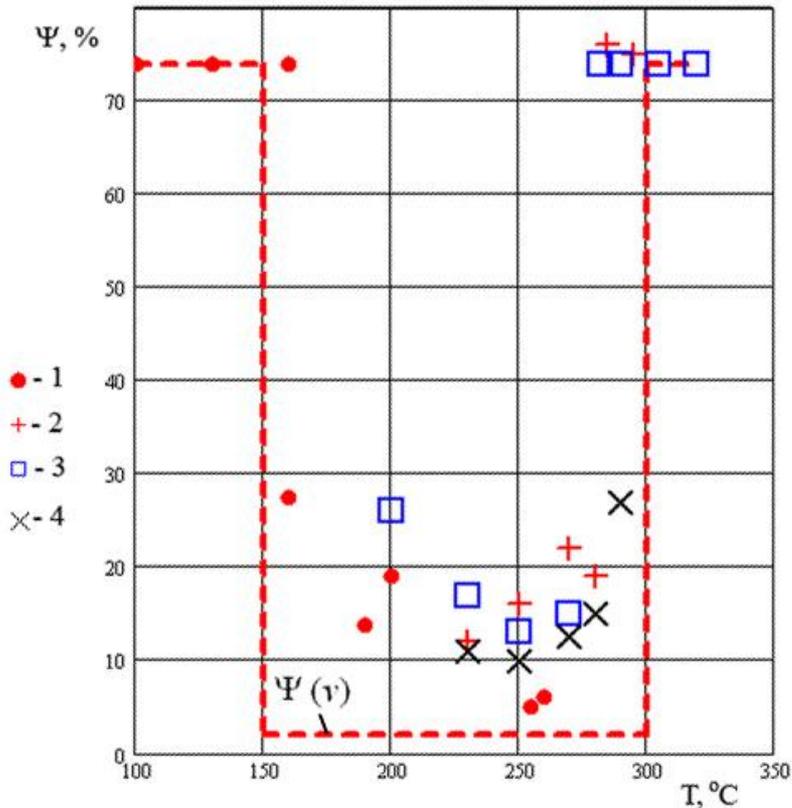
3. Статические испытания компактных образцов с выкружкой, заполненной шламом 75% Fe_2O_3 + 25% CuO .

4. Испытания компактных образцов с исходной усталостной трещиной, заполненной шламом 75% Fe_2O_3 + 25% CuO – с выдержкой до 300 часов при постоянной растягивающей нагрузке.

5. Циклические испытания цилиндрических и компактных образцов при отнулевом цикле мягкого нагружения при контактировании рабочей поверхности со шламом 75% Fe_2O_3 + 25% CuO

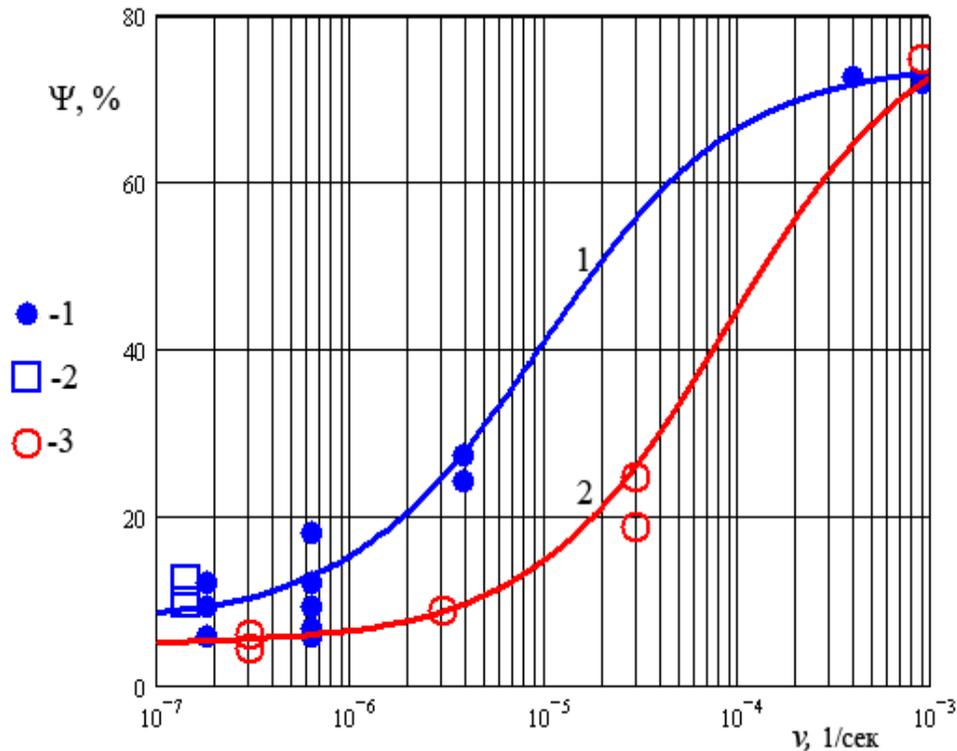


Условия проявления ЗДКР по температуре и скорости деформирования



$$v = 1,4 \cdot 10^{-7} \div 3 \cdot 10^{-7} \text{ 1/сек}$$

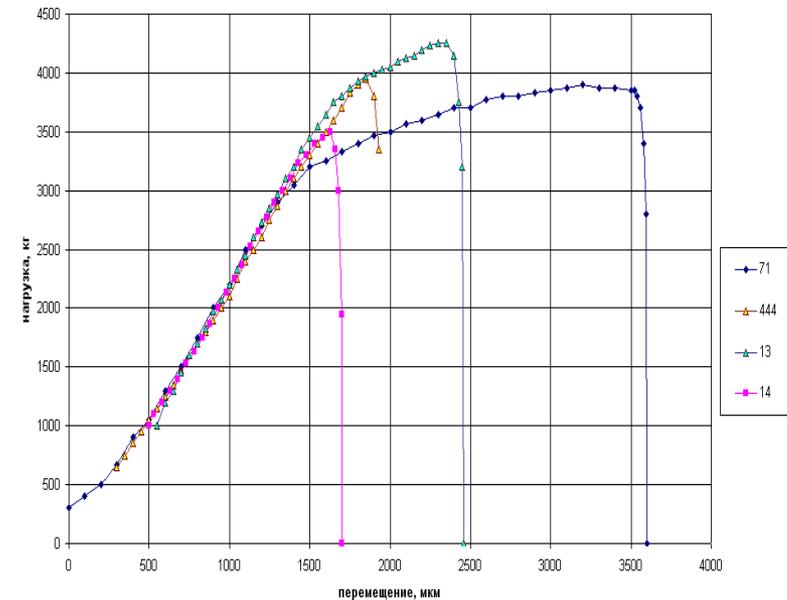
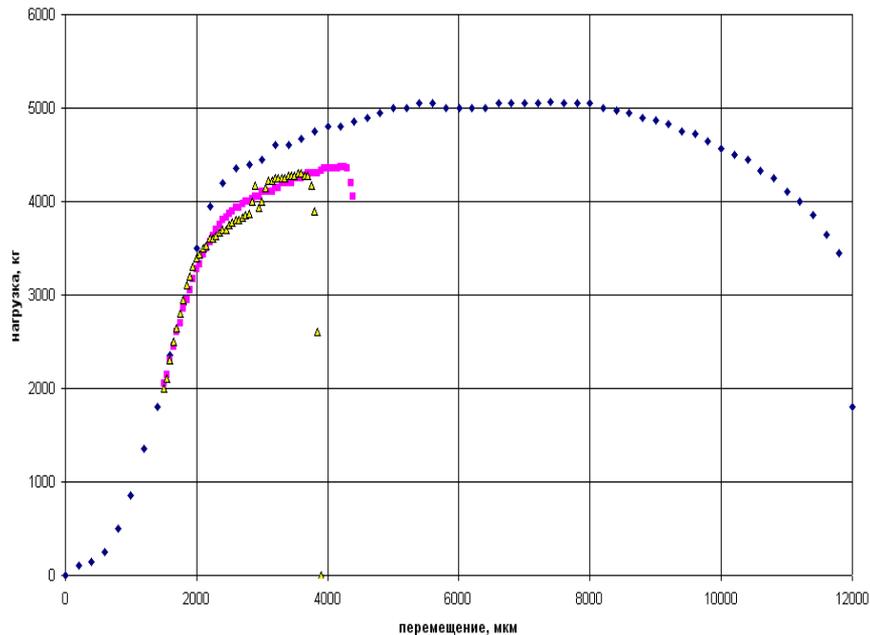
- 1 – бидистиллат, шлам;
- 2 – бидистиллат, $[\text{O}_2] = 2 \text{ мг/кг}$;
- 3 – $[\text{Na}^+] = 0,5 \text{ мг/кг}$; $[\text{Cl}^-] = 0,5 \text{ мг/кг}$; $[\text{O}_2] = 4 \text{ мг/кг}$;
- 4 – бидистиллат, $[\text{O}_2] = 4 \text{ мг/кг}$;



$$v \leq 5 \cdot 10^{-5}$$

- 1- $\text{pH} = 4 \div 11$, с кислородом;
- 2- бидистиллат, $[\text{O}_2] = 4 \text{ мг/кг}$;
- 3- бидистиллат, шлам

Диаграммы деформирования стали 10ГН2МФА при испытании на ЗДКР



Испытания в среде с кислородом без шлама. $[O_2] = 0.73$ мг/кг, $T = 260$ °C :

18 - $v = 10^{-3}$ 1/сек;

17 - $[Cl^-] = 5.0$ мг/кг; $v = 3 \cdot 10^{-7}$ 1/сек,

16 - $v = 3 \cdot 10^{-7}$ 1/сек.

Испытания со шлаком $75\%Fe_2O_3 + 25\%CuO$.

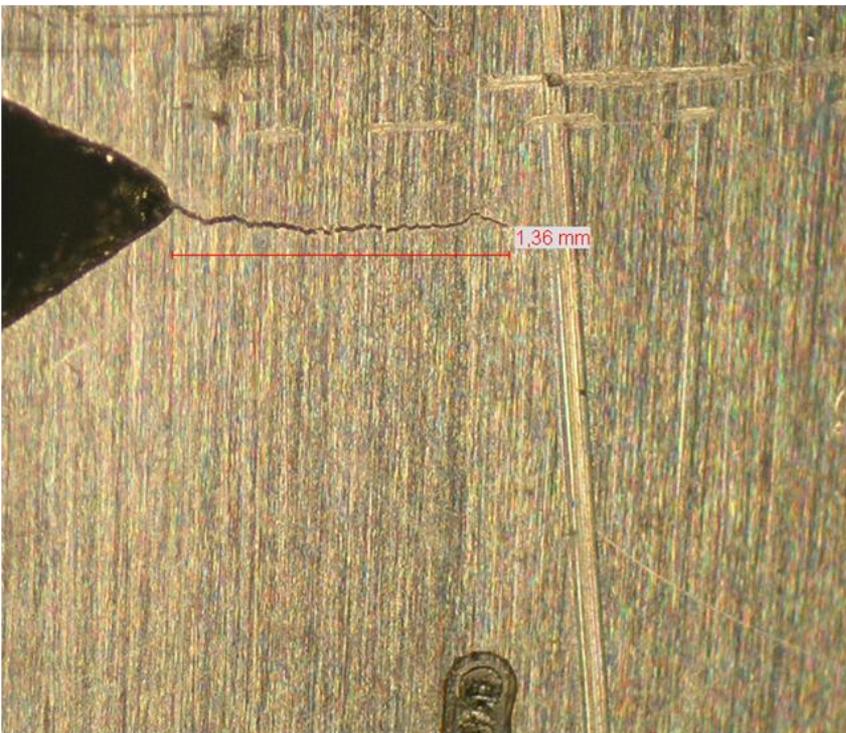
$T = 260$ °C; $v = 3 \cdot 10^{-7}$ 1/сек;

металл различных плавков

$$\varepsilon_{f \text{ ЗДКР}} = 0.4 - 1.2\%$$

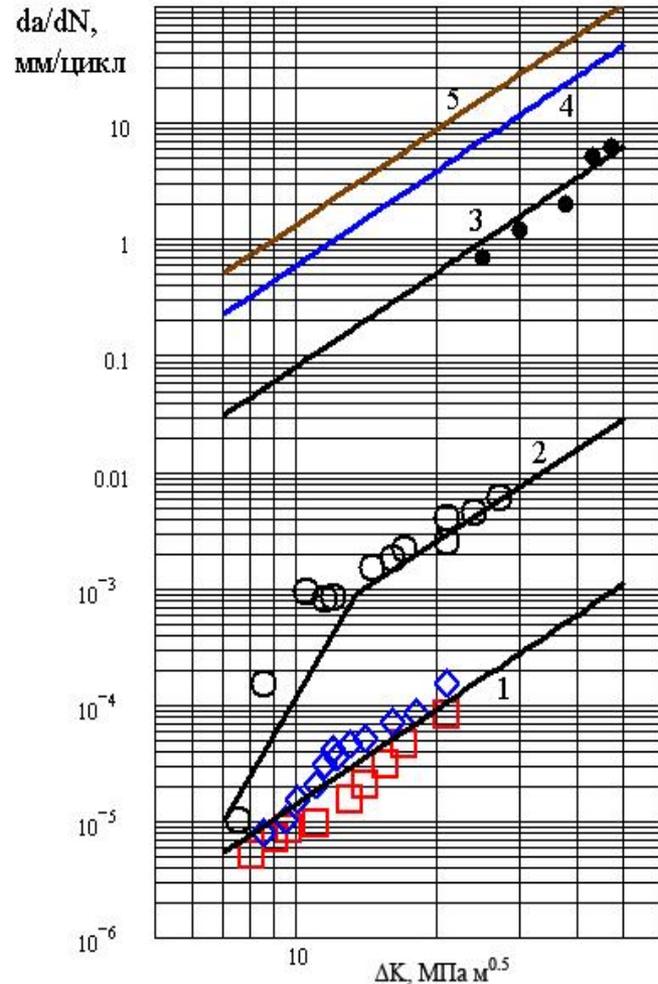
Испытания компактных образцов с начальной трещиной на коррозионное растрескивание при постоянной нагрузке

Выдержка в автоклаве до 300ч.



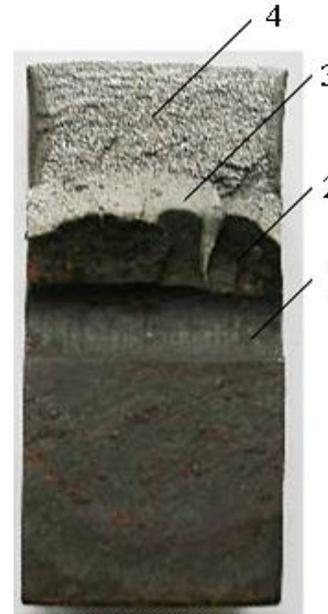
Условия испытаний	Длина трещины		
	K_1 , МПа м ^{0.5}	L_0 , мм	L_k , мм
[O ₂] = 4.5 мг/кг без шлама	30	1.36	1.39
	60	2.58	2.57
	90	1.10	1.11
Шлам 75% Fe ₂ O ₃ + 25% SiO	60	1.40	1.40
	90	1.17	1.17

Скорость роста коррозионных трещин при низкоскоростном циклическом нагружении



$$\frac{da}{dN} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{2K_{I\epsilon a}}{\epsilon_f} \right)^2 \quad \varphi_{ЗДКР} = \frac{\left(\frac{da}{dN} \right)_{ЗДКР}}{\left(\frac{da}{dN} \right)_{воздух}} = \left(\frac{\epsilon_{f\text{воздух}}}{\epsilon_{fЗДКР}} \right)^2$$

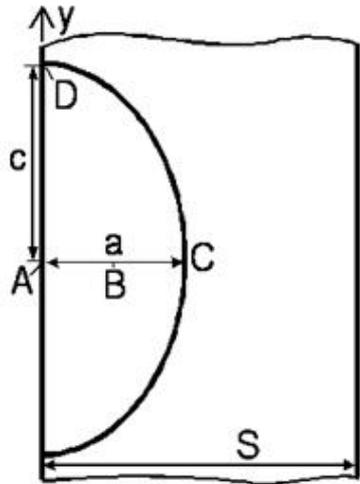
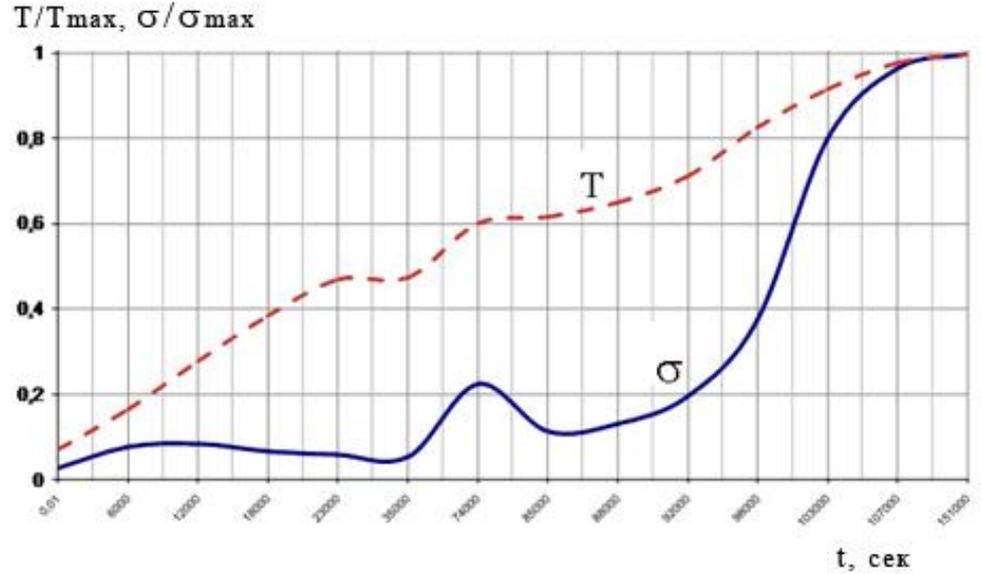
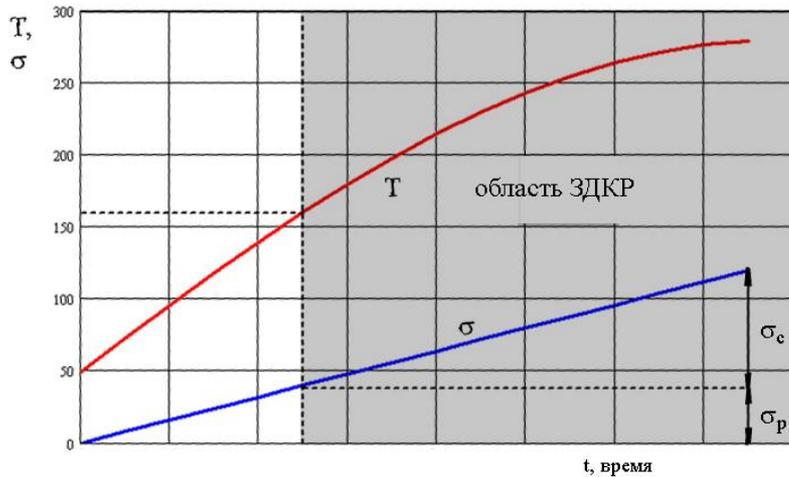
	m	C
Нормальные условия	2,7	$5.4 \cdot 10^{-8}$
ЗДКР	2.7	$1.19 \cdot 10^{-3}$



- 1- выкружка
- 2- коррозионная трещина
- 3 усталостная трещина на воздухе
- 4- долом

- 1 - на воздухе, $r = 0$; 2 - в воде, ASME CODE;
- 3 - испытания в воде со шламом, 260°C , $f = 1$ сутки/цикл, $r = 0$;
- 4, 5 - расчетные кривые для воды со шламом, 260°C , $f = 1$ сутки/цикл, $r = 0$; $r = 0.7$

Схематизация циклов нагружения на основе метода разделения размахов напряжений (деформаций)



$$dl / dN = F_c \cdot C_c \cdot \Delta K^{m_c} + F_p \cdot C_p \cdot \Delta K^{m_p}$$

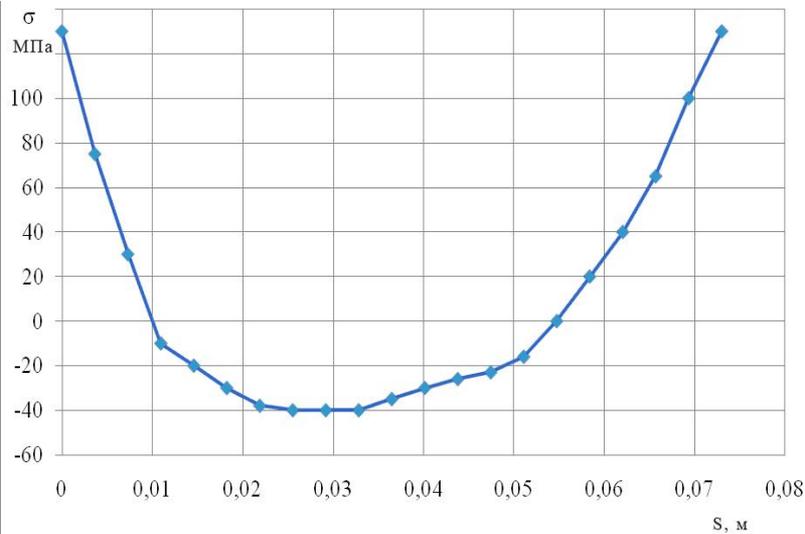
$$F_c = \frac{\sigma_c}{\sigma_c + \sigma_p}$$

$$F_p = \frac{\sigma_p}{\sigma_c + \sigma_p}$$

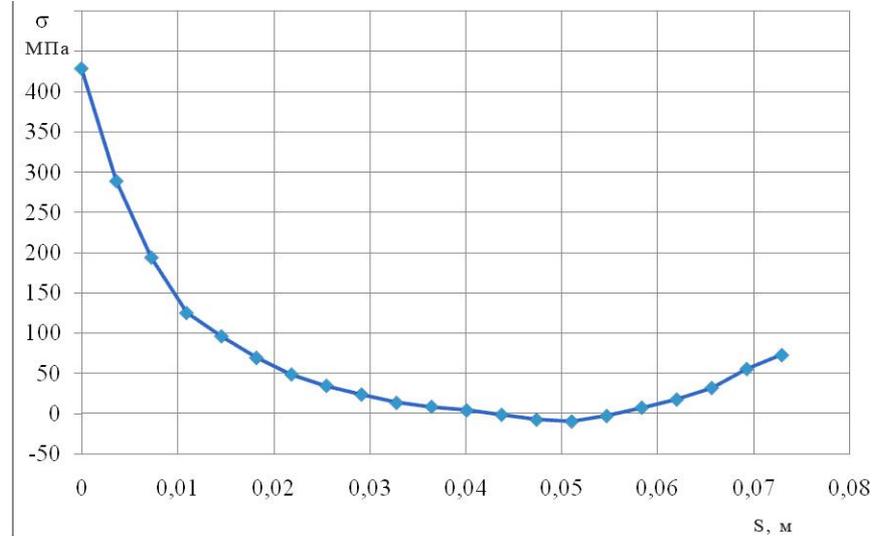
$$K_I = Y \cdot \sigma_{eq} \cdot \sqrt{a/1000}$$

$$\frac{da}{dN} = C_0 \Delta K_{eff}^m$$

Остаточные и рабочие напряжения в зоне шва №111

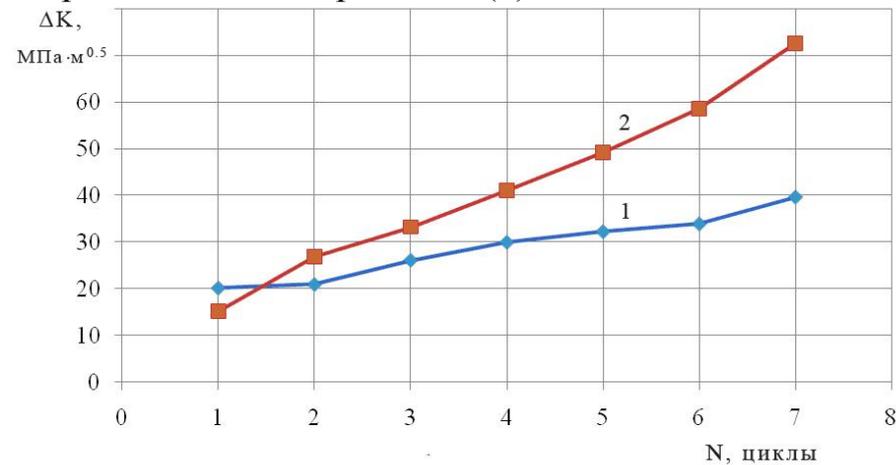


а



б

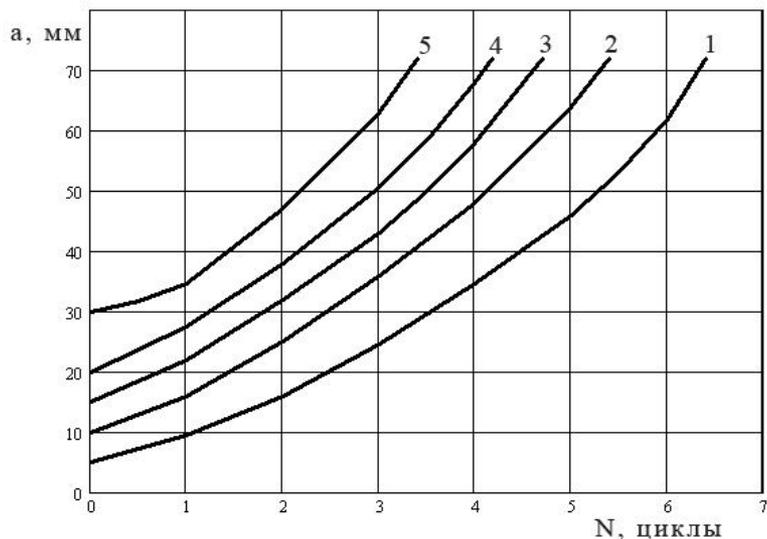
Распределение осевых остаточных напряжений после сварки и заводской термообработки (а) и суммарных осевых напряжений (б) по толщине стенки.



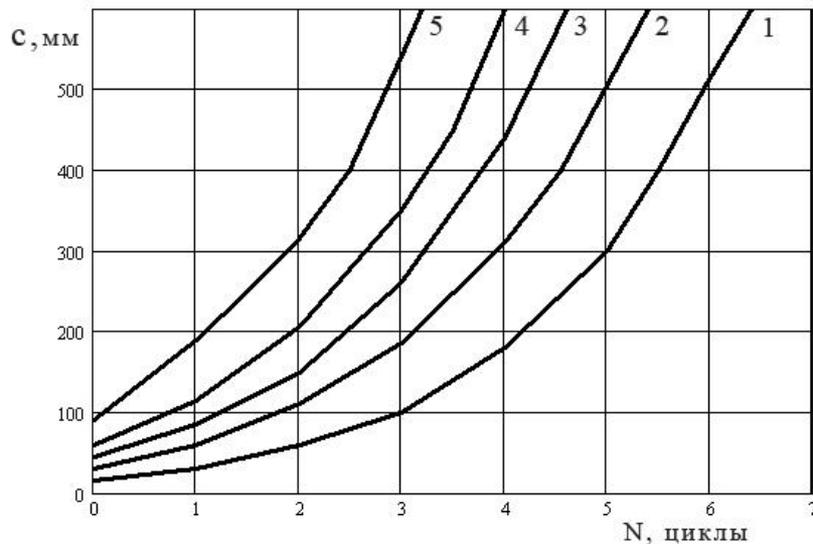
Изменение КИН для точек С (1) и D (2) трещины от количества циклов исходное состояние-номинал.

Исходный дефект глубиной 2 мм и длиной 10 мм.

Результаты расчета кинетики развития дефектов с различными начальными размерами до образования сквозной трещины (галтель R20)



а



б

Изменение глубины (а) и протяженности (б) трещины в зависимости от числа циклов разогрев-расхолаживание для трещин с различными исходными размерами

$a_0 \times c_0$: 1 – 5x15мм; 2 – 10x30мм; 3 – 15x45мм; 4 – 20x60мм; 5 – 30x90мм.

При глубине исходной трещины 5-20мм для прорастания ее в сквозную в условиях проявления ЗДКР требуется 4-6 циклов разогрев-расхолаживание (или соответственно 4-6 лет при одном таком цикле в год).

Для прорастания дефекта до сквозного за одну кампанию его глубина должна составлять более 40 мм.

Методика прошла 1-е рассмотрение в НТЦ ЯРБ.

Получены замечания в части уточнения расчетных режимов и учета, помимо ЗДКР других механизмов развития трещин (расклинивающий эффект оксидов в трещине, гидроудары и др.).

Замечания учтены, методика откорректирована для повторного рассмотрения .

Оценка расклинивающего эффекта оксида железа Fe_3O_4 , имеющего несколько больший удельный объем, чем сталь - около $0.18 \text{ см}^3/\text{г}$ (для стали $0.13 \text{ см}^3/\text{г}$), выполненная на основе МКЭ моделирования при установленных раскрытиях трещин в зоне разрушения, (порядка 10 мкм) дает значения коэффициента интенсивности напряжений K_1 менее $5 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{0.5}$ при глубине трещин до 50% от толщины стенки.