



ВНИИНМ  
РОСАТОМ

# "Burst" тесты оболочек ТВЭЛОВ реакторов типа ВВЭР. Методика испытаний. Первичные результаты

П.В. Федотов, В.И. Кузнецов, В.В. Новиков, А.В. Салатов  
АО «ВНИИНМ» г. Москва, PVFedotov@bochvar.ru  
А.А. Мокрушин, Д.М. Солдаткин, А.А. Урусов, К.К. Полуниин, К.В. Стойков  
АО «НИИ НПО «Луч» г. Подольск

МАЯТ-2021, 25 ноября 2021 г.

**Докладчик: П.В. Федотов**

## Цели и задачи

В настоящем докладе представлены результаты работ, направленных на модернизацию банка данных по свойствам сплава Э110.

АО «НИИ НПО «Луч» совместно с АО «ВНИИНМ» была разработана и метрологически аттестована методика проведения “burst” тестов оболочечных труб из сплава Э110, устанавливающая правила подготовки образцов, требования к оборудованию и приспособлениям, правила проведения процесса испытаний, а также правила оформления и контроля точности результатов испытаний.

# Методика испытаний

Методика заключается в следующем: образец (отрезок оболочки длиной 200 мм с заглушками, внутри которого поддерживается постоянное внутреннее давление от 0,1 до 10 МПа) помещается в трубчатую печь (в которой поддерживается постоянная температура до 1200°C) на заданное время. Изменение температуры образца во время испытаний регистрируется термоэлектрическим преобразователем, установленным на его поверхности. Также фиксируется внутреннее давление в образце и время его разгерметизации. Охлаждение образца от температуры испытания проводится на воздухе со скоростью ~20 °C/с.

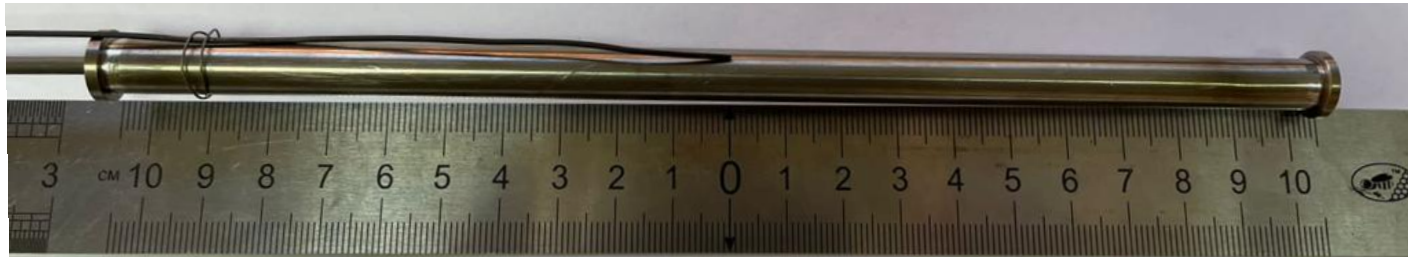
# Методика испытаний



Экспериментальная установка состоит из парогенератора, пароперегревателя (с максимальной температурой 900 °С), высокотемпературной печи с графитовым нагревателем. Графитовый нагреватель внутри печи защищен от окисления втулкой из высокотемпературной керамики. В конструкции установки предусмотрена система подачи аргона для защиты от окисления нагревателя пароперегревателя и нагревателя печи.

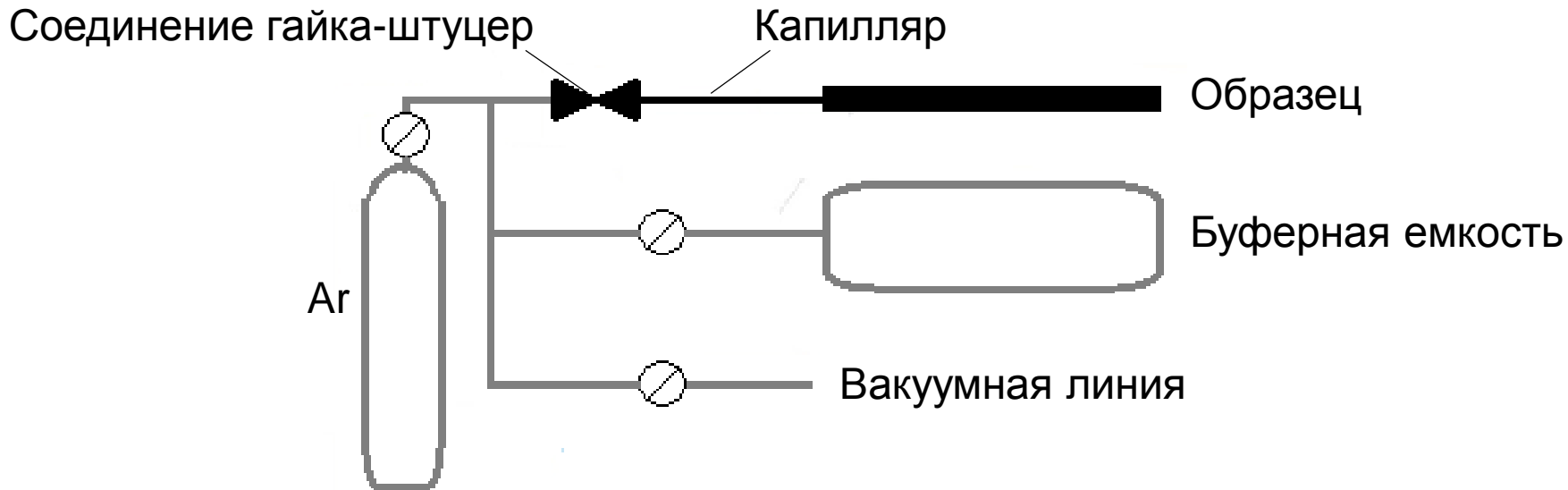
# Методика испытаний

Образец - отрезок оболочки длиной ~100 мм с заглушками, внутри которого поддерживается постоянное внутреннее давление от 0,1 до 10 МПа. На поверхности образца установлен ТЭП типа ХА по ГОСТ Р 50342



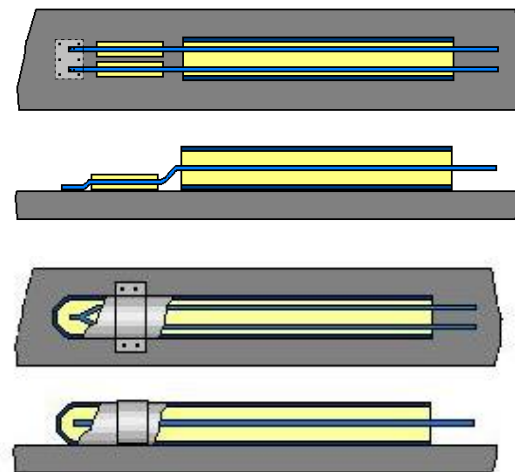
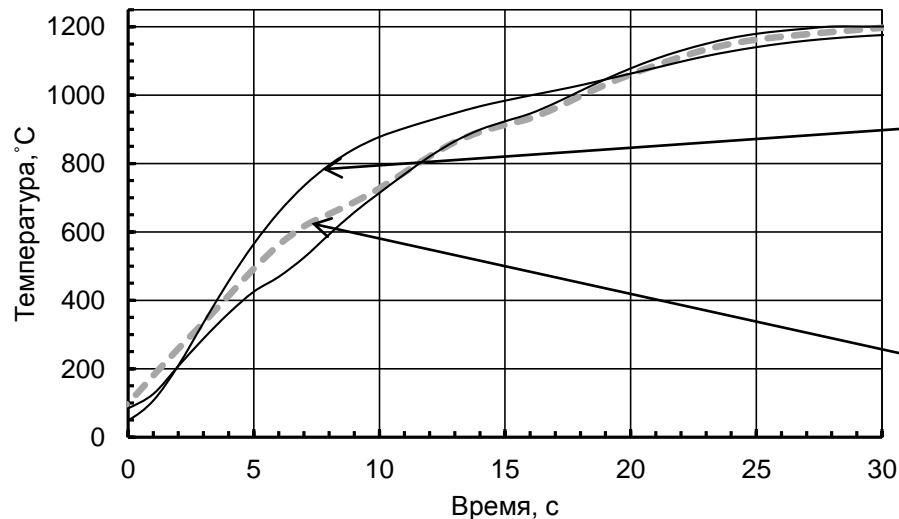
# Методика испытаний

При проведении испытаний, образец подключают к газовой линии, которая состоит из распределительного коллектора, к которому подходит узел подачи аргона, вакуумный узел с форвакуумным насосом и буферная емкость, предназначенная для компенсации давления в процессе нагрева образца. Контроль давления производится с помощью образцового манометра.



# Исследование погрешности измерения температуры

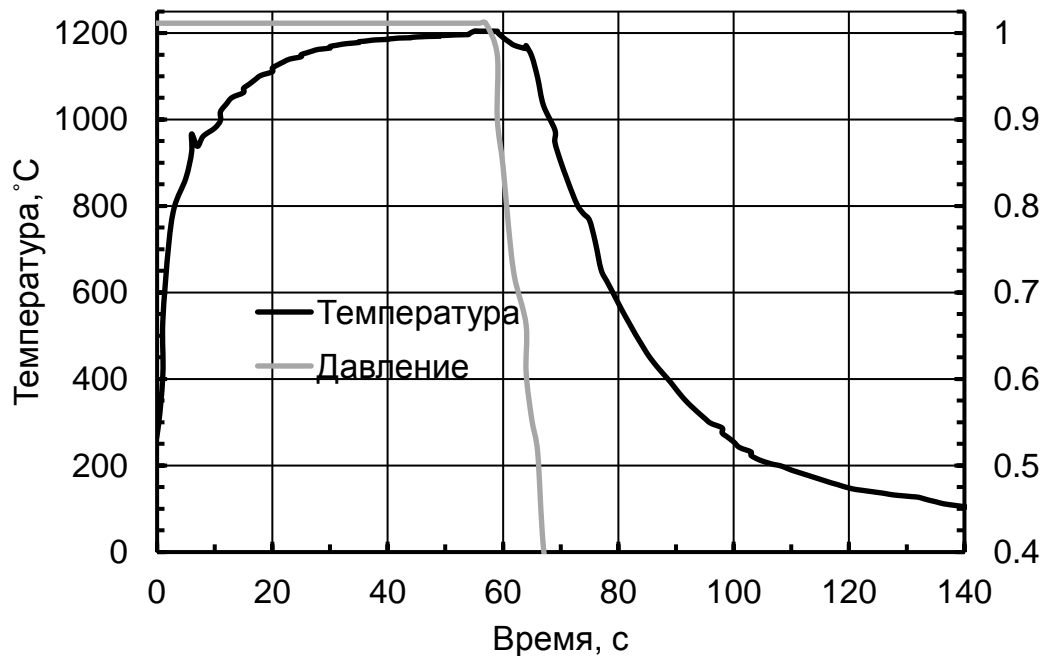
Применение в экспериментах чехловых термопар – возможный источник погрешности.



Значения температуры образца по показаниям чехловых термопар практически не отличаются от таковых для безчехловых.

# Результаты испытаний

Пример испытаний образца при температуре 1200 °С и давлении 1 МПа.



После испытаний проводятся измерения геометрических параметров образца в области разрыва.



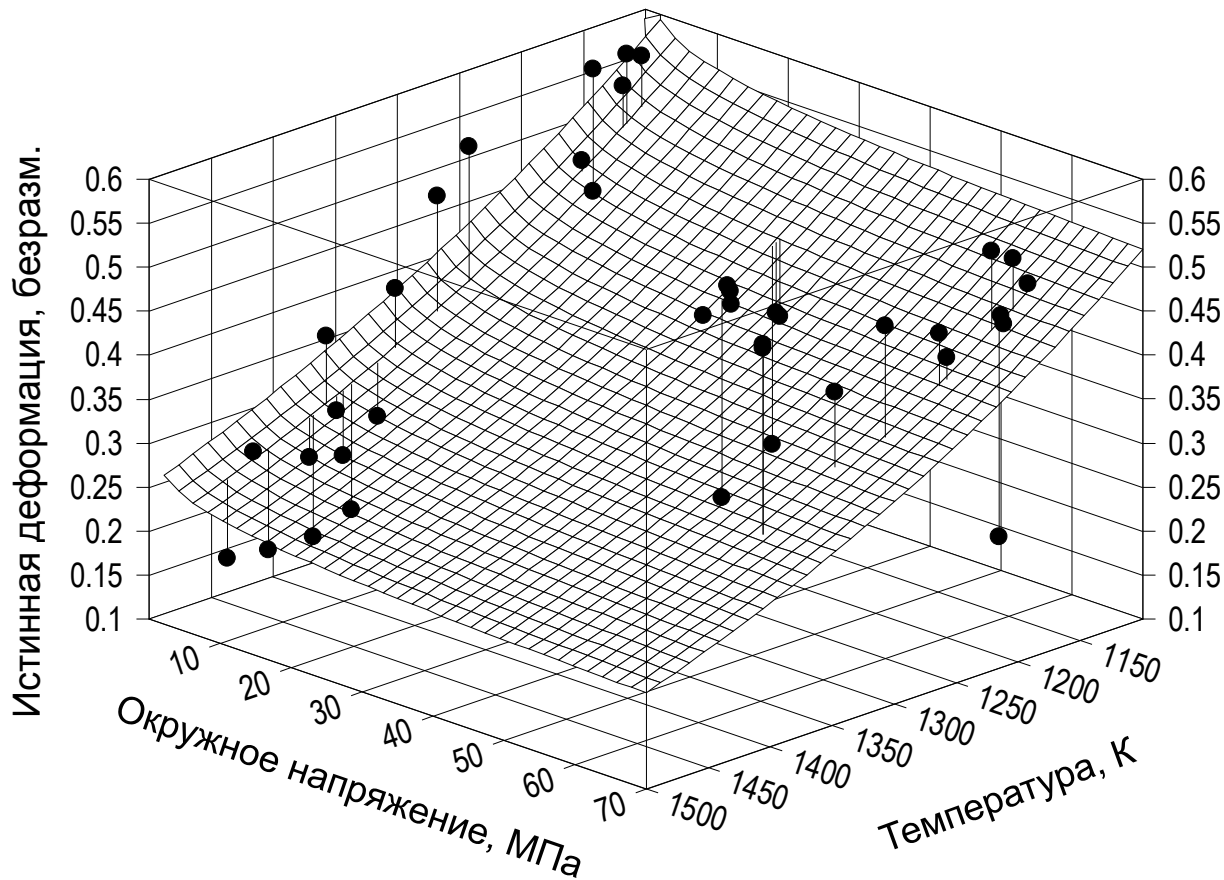
# Результаты испытаний

Пример результатов испытаний при температурах от 900 до 1200 °С и давлениях от 1 до 10 МПа.

| №  | $\epsilon$ , % | $T_{\text{исп}}$ , °С | $T_{\text{разр}}$ , с | $T_{\text{разр}}$ , С | $P$ , МПа |
|----|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| 15 | 32,83          | 1200                  | 43                    | 1179                  | 1,02      |
| 16 | 18,24          | 1200                  | 40                    | 1167                  | 1,02      |
| 17 | 17,84          | 1200                  | 41                    | 1131                  | 1,02      |
| 18 | 19,82          | 1200                  | 39                    | 1100                  | 1,02      |
| 19 | 18,94          | 1200                  | 42                    | 1200                  | 1,02      |
| 20 | 27,79          | 1200                  | 54                    | 1107                  | 1,02      |
| 21 | 34,78          | 1200                  | 43                    | 1112                  | 1,02      |
| 22 | 29,22          | 1200                  | 54                    | 1134                  | 1,02      |
| 23 | 47,36          | 1100                  | 54                    | 1120                  | 1,02      |
| 24 | 31,81          | 1100                  | 77                    | 1079                  | 1,02      |
| 25 | 51,36          | 1100                  | 55                    | 1065                  | 1,02      |
| 26 | 74,35          | 900                   | 472                   | 881                   | 1,02      |
| 27 | 79,92          | 900                   | 422                   | 905                   | 1,02      |
| 29 | 79,13          | 1000                  | 135                   | 866                   | 1,02      |
| 30 | 72,83          | 1000                  | 130                   | 1005                  | 1,02      |
| 31 | 80,45          | 1000                  | 133                   | 878                   | 1,02      |
| 32 | 56,43          | 1100                  | 26                    | 905                   | 1,02      |
| 33 | 62,70          | 1100                  | 26                    | 914                   | 1,02      |
| 34 | 65,51          | 1100                  | 27                    | 1031                  | 1,02      |
| 35 | 52,70          | 1200                  | 14                    | 1019                  | 9,81      |

| №  | $\epsilon$ , % | $T_{\text{исп}}$ , °С | $T_{\text{разр}}$ , с | $T_{\text{разр}}$ , С | $P$ , МПа |
|----|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| 36 | 66,45          | 1200                  | 14                    | 1081                  | 9,92      |
| 37 | 69,99          | 900                   | 52                    | 901                   | 10,05     |
| 38 | 67,36          | 900                   | 49                    | 885                   | 10,07     |
| 39 | 63,08          | 1000                  | 50                    | 988                   | 10,09     |
| 40 | 60,87          | 1000                  | 24                    | 867                   | 9,92      |
| 41 | 58,31          | 900                   | 86                    | 899                   | 10,20     |
| 42 | 56,66          | 1000                  | 29                    | 897                   | 10,20     |
| 43 | 58,33          | 1200                  | 16                    | 945                   | 10,09     |
| 44 | 65,72          | 1200                  | 16                    | 1081                  | 9,92      |
| 45 | 53,56          | 1200                  | 21                    | 939                   | 10,10     |
| 46 | 53,12          | 1200                  | 21                    | 939                   | 5,06      |
| 47 | 22,58          | 1100                  | 21                    | 895                   | 10,05     |
| 48 | 20,71          | 1100                  | 24                    | 945                   | 5,10      |
| 49 | 25,57          | 1100                  | 25                    | 903                   | 5,06      |
| 50 | 49,58          | 1000                  | 43                    | 936                   | 5,06      |
| 51 | 51,99          | 1000                  | 42                    | 937                   | 5,07      |
| 52 | 49,35          | 1000                  | 42                    | 958                   | 5,06      |
| 53 | 45,58          | 900                   | 76                    | 900                   | 5,06      |
| 54 | 44,86          | 900                   | 71                    | 897                   | 5,06      |

# Применение результатов испытаний



$$\varepsilon_{\text{руп}}(P, T) = a \cdot \exp(b \cdot T) \cdot P^{c+d \cdot T} \cdot C$$

Критерий разгерметизации  
оболочки.

# Заключение

- В настоящем докладе представлены результаты работ, направленных на модернизацию банка данных по свойствам сплава Э110.
- АО «НИИ НПО «Луч» совместно с АО «ВНИИНМ» была разработана и метрологически аттестована методика проведения “burst” тестов оболочечных труб из сплава Э110.
- В настоящее время проведена серия из 60 испытаний при температурах 900, 1000, 1100 и 1200°С и значениях внутреннего давления 0.1, 0.5, 1, 5 и 10 МПа.
- В результате испытаний определены параметры разгерметизации образцов (температура, время, давление, деформация), используемые, в частности, при разработке критериев разгерметизации оболочек твэлов реакторов типа ВВЭР в условиях LOCA.

**Спасибо  
за внимание**

