



ПРОРЫВ
РОСАТОМ

О формоизменении ТВС реактора БН-350

Заседание научно-технического совета АО «ГНЦ РФ — ФЭИ»,
посвященное 50-летию энергетического пуска реактора БН-350,
г. Обнинск, 14 июля 2023г.

Забудько Людмила Михайловна

Научный руководитель по разработке и обоснованию плотного
топлива и КМ АО «Прорыв», ктн

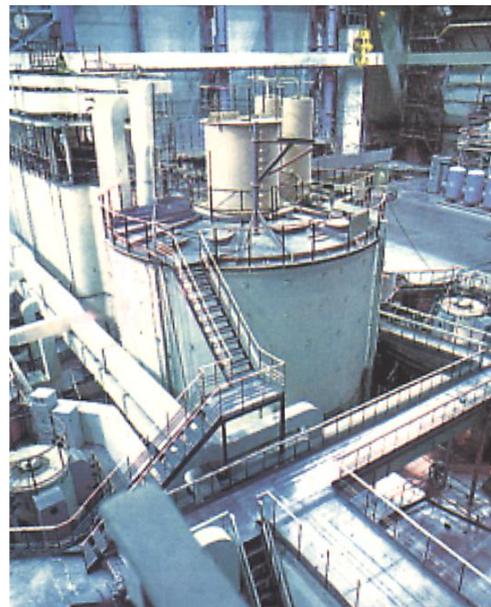
Prototypes & industrial SFRs



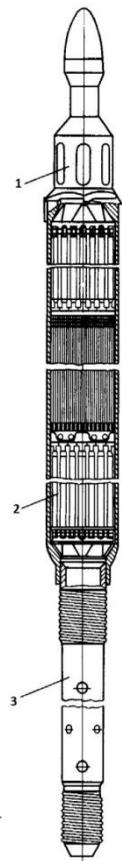
Конструкция ТВС реактора БН-350



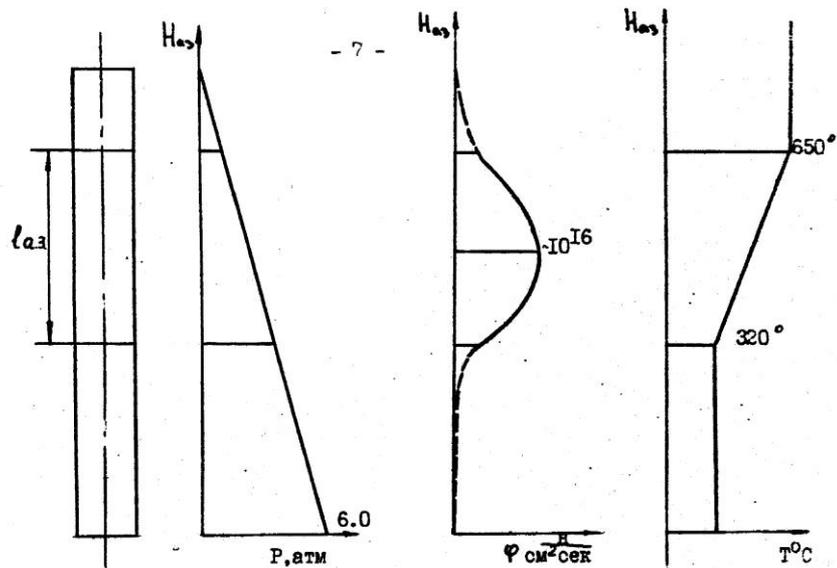
БН-350
(1973-1998 г. Шевченко, теперь г. Актау ,
п/о Мангышлак)



1- головка, 2-пучок твэлов, 3-хвостовик
[Забудько Л.М., Лихачев Ю.И., Прошкин А.А.
Работоспособность ТВС быстрых реакторов.
Энергоатомиздат, М., 1988 (монография).



○ Параметры облучения ТВС БН



Типичное распределение давления теплоносителя, плотности нейтронного потока и температуры теплоносителя по высоте шестигранного чехла ТВС

Очень жесткие условия эксплуатации ТВС: макс повреждающая доза ≥ 100 сна; макс температура теплоносителя до 600°C - определяют требования к материалам и конструкции ТВС, которые должны обеспечить их работоспособность за время кампании, т.е. отсутствие существенного формоизменения и нарушения целостности конструктивных элементов ТВС (твэлов и шестигранного чехла). В БН-350 макс температура теплоносителя на выходе из активной зоны была не более 420°C .

Радиационное распухание (РР) конструкционных материалов оболочек твэлов и чехлов ТВС, наиболее неприятное последствие облучения высокими повреждающими дозами, открыто английскими исследователями Коутоном и Фултоном в 1967 г. Распухание приводит к изотропному увеличению объема материала.

Тогда же была обнаружена и **радиационная ползучесть (РП)**, второй по важности после РР источник размерной нестабильности элементов ТВС реакторов БН.

Исследования РП и РР чехловых стелей на БН-350

На первых этапах чехлы ТВС БН-350 были изготовлены:

- из аустенитных стали 18Cr-10Ni-Ti, как оказалось, сильно распухающей,
- затем из 16Cr-11Ni-3Mo в аустенизированном состоянии,
- затем из 16Cr-11Ni-3Mo в холодно-деформированном состоянии.

Информация о наличии РР материалов ТВС была впервые получена сотрудниками БН-350 при перегрузке. (Допустимое удлинение ТВС ограничивалось конструкцией перегрузочной машины). Исследования деформации чехлов (из стали 18Cr-10Ni-Ti) в ГК БН-350 начались с конца **1974г.**, когда впервые увидели овализацию поперечного сечения чехла от РП (см. слайд 5). Дальнейшие исследования проводились совместно с сотрудниками ФЭИ.

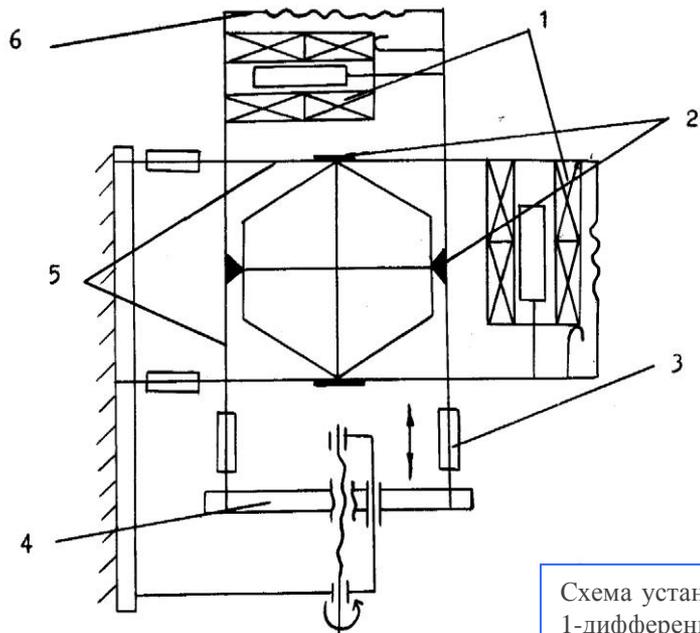
В.Н.Караулов, сотрудник БН-350, разработал установку для проведения измерений геометрии чехлов ТВС в бассейне выдержки (БВ).

[- Прошкин А.А., Лихачев Ю.И., Тузов А.Н., Забудько Л.М., Бондаренко В.В., Караулов В.Н. Анализ экспериментальных данных об изменении формы ТВС быстрых реакторов. Журнал «Ат.энергия», т.50, в.1.с.13, январь 1981

- V.N.Karaulov, A.P.Blynski, I.L.Yakovlev, J.D.B.Lambert. Assembly and fuel pin irradiation behavior in the BN-350 fast reactor. Proceedings of ICONE8 (8th International Conference on Nuclear Engineering), April 2-6, 2000, Baltimore, MD USA.]

Позднее документация на установку была передана на БН-600 [Е.А.Козманов, А.Н.Огородов, В.В.Чуев. Методическое обеспечение первичных послереакторных исследований элементов активной зоны реактора БН-600. Сборник научных трудов «Исследования конструкционных материалов элементов активной зоны быстрых натриевых реакторов». Екатеринбург: УрО РАН, 1994. ISBN 5-7691-0473-2, с.3-48.]

Установка для измерения геометрии чехлов в БВ БН-350



Устройство перемещается с постоянной скоростью по высоте ТВС с непрерывной регистрацией отклонений поперечных размеров “под ключ” и по диагонали чехла. Проводя замеры по диагонали чехла и размера “под ключ” до и после облучения, получаем составляющие его деформации, обусловленные отдельно РП и РР.

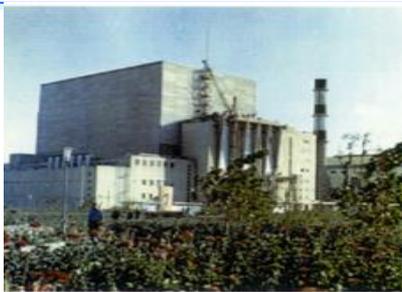
Статистическая обработка полученных данных дает возможность установить зависимость изменения размера “под ключ” обусловленную РП, от повреждающей дозы, внутреннего давления теплоносителя и температуры. Соотношения для РР получаются путем непосредственной статистической обработки экспериментальных данных геометрически подобного изменения размера “под ключ”. Этот подход был использован ПРИ обработке данных об изменении формы чехлов БН-350, облученных до доз 20сна, 25 сна, 50 сна.

Схема установки для измерения размеров и формы шестигранного чехла ТВС в бассейне выдержки (БВ): 1-дифференциально-трансформаторные датчики, 2-щупы, 3- плоская пружина, 4-механизм перемещения, 5- рычаги, 6- пружина сжатия [Е.А.Козманов, А.Н.Огородов, В.В.Чуев. Сборник «Исследования конструкционных материалов элементов активной зоны быстрых натриевых реакторов». Екатеринбург: УрО РАН, 1994. ISBN 5-7691-0473-2, с.3-48.]

Заключение

Разработанные в конце семидесятых годов прошлого столетия сотрудниками ФЭИ и БН-350 подходы к получению экспериментальных данных по набуханию и радиационной ползучести шестигранных чехлов ТВС быстрых натриевых реакторов позволили получать экспресс информацию об их формоизменении под облучением при высоких повреждающих дозах в быстром реакторе .

Последующий анализ экспериментальных данных по формоизменению чехлов БН-350 и БН-600 полностью подтвердил правомочность данного подхода для получения оценок и зависимостей РР и РП чехловых материалов. Полученные на БН-350 результаты для чехловой стали 16Cr-11Ni-3Mo в аустенизированном состоянии, которая была использована в стартовой зоне БН-600, позволили еще до старта БН-600 откорректировать проектный ресурс ТВС во избежание их заклинивания. Позднее материал чехла был заменен на более радиационноустойчивый 16Cr-11Ni-3Mo в холодно деформированном состоянии, сейчас чехлы и БН-600 и БН-800 изготовлены из слабо набухающей стали ферритно-мартенситного класса ЭП450-Ш и не лимитируют ресурс ТВС.



БН-350 (1973)



БН-600 (1980)



БН-800 (2015)



ПРОРЫВ
РОСАТОМ

Спасибо за внимание

Забудько Людмила Михайловна

Научный руководитель по разработке и обоснованию плотного топлива и КМ АО «Прорыв», ктн