

## ОТЗЫВ

научного руководителя на диссертационную работу Воробьёва Егора Евгеньевича «Кинетика ползучести и неустойчивость циркониевых труб под давлением», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»

В 2015 году Воробьёв Егор Евгеньевич окончил НИТУ «МИСиС», с присвоением квалификации инженер по направлению 210602 наноматериалы, в период подготовки диссертации проходил обучение на кафедре металловедения и физики прочности НИТУ «МИСиС» в качестве очного аспиранта.

Работа выполнялась в НИТУ «МИСиС» на кафедре металловедения и физики прочности.

В атомных реакторах циркониевая оболочка тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ), которая разогревается до температуры 350–380 °С от деления урановых топливных таблеток, находится под давлением водяного теплоносителя и после посадки на топливо подвержена внутреннему давлению от его распухания. Эти условия эксплуатации традиционно моделируют испытаниями труб на ползучесть при растяжении и под внутренним давлением. Испытания под наружным давлением немногочисленны, и прогнозы из них в разных работах отличаются существенно. Таким образом, тема настоящей работы Воробьева Е.Е., посвящённая кинетики ползучести и неустойчивости циркониевых труб под давлением, является актуальной.

Целью работы автора является моделирование процесса формоизменения трубы при ползучести под наружным давлением с проведением таких испытаний. Для этого были выполнены следующие задачи:

- Поставлена и решена задача об изменениях формы и размеров труб любого типоразмера и овальности под давлением вследствие ползучести;
- Оработана методика и проведены испытания на ползучесть оболочечных труб ТВЭЛ под внутренним и наружным давлением при условиях их штатной эксплуатации;
- Результатами экспериментов подтверждены основные выводы модели, из найденных в эксперименте уравнений ползучести указана возможность прогноза времени до сплющивания оболочки.

Разработанная модель прогнозирует, что существует единый путь эволюции контура трубы: изменение овальности и длины периметра жестко связаны. Это было подтверждено сериями испытаний на ползучесть 59 труб под внутренним и наружным давлением длительностью до 4000 ч. Указано, что наблюдаемое в проведённых экспериментах сплющивание труб под наружным давлением происходит из-за монотонного роста изгибных напряжений, которые в итоге вызывают локальную текучесть трубы.

Показано, как можно использовать результаты исследований в расчётных кодах и критериях неустойчивости оболочки твэл, что несёт высокую практическую значимость работы.

Воробьёв Е.Е. самостоятельно планировал и разрабатывал методику испытаний, лично проводил лабораторные эксперименты, исследовал решения, обрабатывал и анализировал результаты исследования. Положения диссертационной работы сформулированы автором.

Основные результаты работы автора апробированы научным сообществом на российских научных конференциях и семинарах, опубликованы в 4 работах, каждая из которых входит в перечень журналов, рекомендованных ВАК.

Диссертационная работа Воробьёва Егора Евгеньевича «Кинетика ползучести и неустойчивость циркониевых труб под давлением», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния», представленная на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния», полностью отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присвоения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния».

Научный руководитель, проф., д.т.н.

Никулин С.А.



Подпись  
заверяю

Зам. начальника  
отдела кадров МИСиС

Кузнецова А.Е.

« 06 » 09 2019 г.