

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Зайцева Андрея Николаевича  
**«ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМЕННЫХ  
ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ РАДИАЦИОННОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ В УЗЛАХ  
ТРЕНИЯ ТЕРМОЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ»**,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
05.02.04 – Трение и износ в машинах

Диссертационная работа Зайцева А.Н. посвящена повышению надежности и долговечности плазменных электроизоляционных покрытий (ЭИП) в узлах сухого трения термоядерных реакторов. Одновременное действие механических нагрузок (на сжатие и сдвиг), циклически изменяющихся температур в интервале 20-400°C, глубокого вакуума, нейтронного и  $\gamma$ -излучений приводят к преждевременному выходу из строя узлов трения с ЭИП по причине частичного или полного их разрушения (растрескивание, выкрашивание, отслаивание). Известно, что работоспособность покрытий в значительной степени определяется их конструкцией, физико-механическими и трибологическими свойствами. По состоянию на 2017 г. накопленный мировой опыт эксплуатации ЭИП в условиях радиационного облучения не формирует законченную методологию в данной области исследования. В связи с этим поставленная автором цель повышения долговечности ЭИП в указанных экстремальных условиях эксплуатации является весьма **актуальной**. И, судя по автореферату, сформулированные в диссертационной работе задачи для достижения цели успешно решены.

**Научную значимость** имеют результаты исследований, посвященных:

- установлению механизма и разработке адекватных математических моделей изнашивания ЭИП в паре со сплавами (сталь 03X16H15M3, алюминиевая бронза БрАЖ-НМц9-4-4-1) в условиях радиационного воздействия и повышенных температур;
- разработке теоретических основ проектирования ЭИП узлов сухого трения термоядерных реакторов и выработке критерия оценки их надежной работоспособности.

**Практическая значимость** работы не вызывает сомнений. Особый интерес представляет разработанная автором методика расчета критического уровня сдвиговых напряжений в парах трения «ЭИП – сплав» применительно к узлам термоядерной техники. Ее использование позволяет обоснованно конструировать ЭИП с повышенными трибологическими свойствами. Результаты проведенных трибологических испытаний различных плазменных покрытий в паре с указанными сплавами при различных температурах расширяют границы знаний в предметной области и могут быть использованы не только для обеспечения работ по созданию Международного экспериментального термоядерного реактора ITER, но и в рамках других проектов, требующих решения схожих проблем.

В качестве **замечаний** следует обратить внимание на следующее:

1. Для снижения коэффициента трения в паре «ЭИП – сплав» в главе 5 предложено использовать промежуточную пластину из ниобиевых сплавов типа ВН-2, ВН-3, дополнительно подвергнутых ионному карбонитрированию. При этом отмечается повышение коэф-

