

УДК 621.039.534

М.А. Антоненков, П.А. Боков, Д.В. Кузнецов, А.В. Безносков, Т.А. Бокова

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ КОНТАКТНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВИНЦОВОМ И СВИНЕЦ-ВИСМУТОВОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯХ РЕАКТОРНЫХ КОНТУРОВ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

В Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева проводятся экспериментальные и расчетно-теоретические исследования процессов, сопровождающих трение в среде свинца и эвтектики свинец-висмут при температурах 350 – 550°C в элементах механизмов реакторных контуров. Эти исследования необходимы для обоснованного проектирования и эксплуатации циркуляционных контуров, исполнительных механизмов систем управления и защиты реактора, механизмов перегрузки ядерного топлива и др., а также для прогнозирования процессов изнашивания поверхностей элементов трубной системы парогенераторов и активной зоны реактора, в которых возможно контактное трение.

Ключевые слова: высокотемпературный теплоноситель, свинец, трение, изнашивание, контактные поверхности

Проведенные исследования подшипниковых узлов скольжения центробежных, диагональных и осевых циркуляционных насосов в расплавах свинца и эвтектики свинец-висмут при температуре 350 – 550°C выявили особенности работы таких подшипников. К ним относятся: невозможность создания гидродинамических подшипников, вследствие малой вязкости жидких металлов и несмачивания материала контактирующих поверхностей с оксидными защитными покрытиями свинцовым и свинец-висмутовым теплоносителями. Возможна работа в этих теплоносителях подшипников сухого трения, лабиринтно-винтовых и гидростатических подшипников. Последние подшипники являются оптимальными для насосов реакторных контуров. Для обоснования их оптимальных конструкции проводится исследование особенностей гидродинамики течения тяжелых жидкометаллических теплоносителей в щелях (узких каналах) с оксидными покрытиями при варьируемом содержании кислорода и других примесей в теплоносителе, в том числе и в кольцевых щелях с вращающимся валом.

Проводятся экспериментальные исследования процессов контактного трения оболочек стержней-поглотителей нейтронов относительно их чехлов, заполненных расплавом тяжелого жидкого металла, при штатных температурах, моделировании скоростей и усилий перемещения стержня в чехле при контроле содержания кислорода в жидком металле и, соответственно, различных физико-химических состояниях приповерхностного слоя контакта поверхностей твердого и жидкого металлов.

Экспериментальные исследования работы зубчатых зацеплений из стали и чугуна при температурах 450 - 500°C в среде расплава свинца и эвтектики свинец-висмут при контролируемом и варьируемом содержании кислорода в жидком металле позволили определить временные зависимости изнашивания зубьев шестерен и колес в зависимости от их чисел оборотов, удельного давления и др. Исследования позволили определить характер изнашивания поверхностей зубьев в среде жидкого металла в зависимости от условий испытаний.

Проведенные исследования позволяют обоснованно рассчитывать, оптимально проектировать и назначать условия эксплуатации механизмов реакторных контуров со свинцовым (БРЕСТ) и свинец-висмутовым (СВБР) теплоносителями.

Особенности контактного слоя: конструктивный материал – свинец-висмутовый, свинцовый теплоноситель.

Как показывают расчетно-теоретические и экспериментальные исследования авторов, к

основным условиям, определяющим ресурсную работоспособность и трибологию в целом подшипников скольжения насосов и зубчатых зацеплений, работающих в среде высокотемпературных свинец-висмутового и свинцового теплоносителей относятся:

- рабочий диапазон температур;
- наличие и характеристики оксидных покрытий (пленок) на поверхностях конструкционных материалов;
- рабочий диапазон нагрузок в зоне контакта;
- содержание и физико-химический состав примесей в жидком металле;
- рабочий диапазон относительных скоростей контактных поверхностей и омывающего их жидкометаллического теплоносителя, условия его обмена с основной массой теплоносителя в контуре;
- примененные конструкционные материалы;
- исходная шероховатость поверхностей, режим обкатки (начальный период эксплуатации) трущихся пар.

Особенностью работы контактных пар в среде свинцового и свинец-висмутового теплоносителей является невозможность применения традиционных смазочных материалов (масел и др.). Тяжелые жидкометаллические теплоносители при рабочих температурах [400-600⁰С] не могут рассматриваться в качестве смазочного материала, вследствие несмачиваемости ими металлических поверхностей, с покрытиями, обеспечивающими работоспособность конструкционных материалов [1], а также вследствие вязкости теплоносителей. При этом теплоноситель «выдавливается» (вытекает) из зазора между контактирующими твердыми поверхностями. Особенностью трибологии в среде свинцового и свинец-висмутового теплоносителей является высокая эффективность отвода тепла, выделяющегося в зоне контакта. Экспериментально показано, что температурный перепад между поверхностью твердого металла и потоком омывающего его жидкого не превышает 10⁰С.

Работоспособность конструкционных материалов в контакте со свинцовым и свинец-висмутовым теплоносителями в условиях реакторных контуров обеспечивается формируемыми и доформируемыми на поверхностях оксидными защитными покрытиями, обеспечивающими их несмачивание в этих теплоносителях.

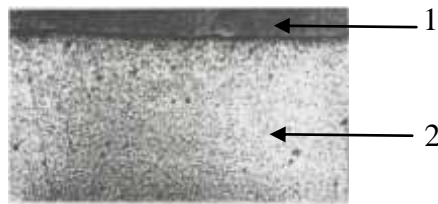


Рис. 1. Фото внутреннего края поперечного шлифа стенки трубы из стали типа 08Х18Н10Т после испытаний в контакте с эвтектикой свинец при температуре 500⁰С:
1 – покрытия с отложениями примесей; 2 – сталь

При этом в районе контакта твердого и жидкого металлов наружный (внешний) слой теплоносителя обладает специфическими свойствами (поверхностным сгущением энергии и др.). Частицы примесей (оксидов теплоносителя и др.) концентрируются на поверхности твердого металла, образуя отложения. Оксидные покрытия и возможные отложения примесей при контакте поверхностей с «выдавленным» (отсутствующим) теплоносителем формируют характеристики «сухого» трения. Они препятствуют непосредственному контакту стальных (оголенных, без покрытий) поверхностей, их свариванию, вырывам или другим видам разрушений.

Характеристики контактных поверхностей в системах с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями могут изменяться в процессе обязательной операции обкатки меха-

низмов для введения их в работу по прямому назначению. Назначение обкатки – формирование защитных покрытий на контактных поверхностях и приработка пар трения, во время которой формируется микро- и макрогеометрия поверхностей контактных пар. Сформированные в процессе обкатки защитные оксидные пленки и отложения примесей выступают в роли твердого смазывающего вещества, существенно (на порядок и более) уменьшающего значение коэффициента трения. Эти покрытия значительно уменьшают, а иногда предотвращают износ контактных поверхностей.

При разрушении защитных оксидных покрытий возможно под действием молекулярных сил разрушение поверхностей контакта за счёт механизмов схватывания – приваривания, сцепления местных соединений и др. Такие процессы с образованием локальных вырывов, канавок и других нарушений геометрии поверхностей неоднократно фиксировались авторами в подшипниках скольжения, на поверхностях зубчатых зацеплений на поверхностях трения оболочек поглотителей нейтронов о поверхность чехла в среде тяжелых жидкометаллических теплоносителей. Эти негативные процессы требуют доформирования (восстановления) защитных оксидных пленок на оголенных участках.

Подшипники скольжения лопастных насосов в контурах со свинец-висмутовым и свинцовым теплоносителями

В реакторных контурах перспективных установок со свинцовым и свинец-висмутовым теплоносителями одной из важнейших и специальных единиц оборудования являются циркуляционные насосы. Для конструктивных схем таких насосов, как правило, погружных осевого типа, характерно наличие «длинного» вала с нижним подшипником скольжения, расположенным в объеме жидкого металла под его свободным уровнем вблизи рабочего колеса насоса. Подшипники скольжения лопастных насосов традиционно подразделяют на гидродинамические, гидростатические и подшипники сухого трения.

Гидродинамические подшипники

Экспериментальные и расчетно-теоретические исследования авторов показали невозможность создания гидродинамических подшипников, работающих в среде свинцового и свинец-висмутового теплоносителей по следующим причинам. Традиционный процесс работы таких подшипников, основанный на создании гидродинамической подъемной силы, подразумевает два необходимых условия: полное смачивание жидкой смазкой поверхностей вала и втулки смазочной жидкостью и большую вязкость этой жидкости.

В подшипниковых узлах контуров со свинцовым и свинец-висмутовым теплоносителями оба этих условия отсутствуют. Вследствие малой вязкости при рабочих температурах, расчет по традиционным методикам (для условий смачивания маслами) дает малые значения относительных и абсолютных величин зазоров между валом и втулкой, не позволяющие создавать такие конструкции.

Стойкость сталей и чугунов в рассматриваемых теплоносителях при рабочих температурах (450-600⁰С) может быть обеспечена только при формировании на поверхностях конструкционных материалов защитных оксидных покрытий (пленок), несмачиваемых теплоносителем. Эффект несмачивания исключает возможность образования гидродинамического клина из жидкометаллического теплоносителя между контактными поверхностями. Он выдавливается из зазора. Силы трения между поверхностью жидкого металла, имеющей свойства свободной поверхности, и оксидной пленкой незначительны и не позволяют удерживать жидкий металл в зазоре между валом и втулкой. Подшипник переходит в режим сухого трения.

Подшипники сухого трения

Для подшипников скольжения насосов экспериментальных стендов достаточно ресурса работы в несколько лет и менее. В соответствии с обязательными остановками стендов, в соответствии с программами их работ, допустима достаточно простая и быстрая замена (раз в

один – два года) подшипниковых пар, в отличие от условий работы подшипников насосов реакторных контуров.

К особенностям работы подшипников сухого трения в среде свинцового и свинец-висмутового теплоносителей можно отнести следующее:

- обязательное наличие оксидных покрытий (пленок) на поверхностях деталей конструкций;
- интенсивный отвод жидкими металлами теплоты, выделяющейся в зоне трения.

Под режимом сухого трения традиционного понимается режим, при котором между трущимися поверхностями отсутствует жидкая или пластическая смазка, смачивающая поверхности трения. Возможно наличие сухого смачивающего вещества, находящегося в твердой фазе, например, оксидных пленок на поверхностях металлов, а также периодическое или постоянное смывание контактных поверхностей маловязкой жидкостью, не смачивающей поверхности, не являющейся смазкой.

На рис. 2 представлены конструкции насосов НЦС-01 и НЦС-04 разработки Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексева (НГТУ), на которых исследовались и отработывались варианты конструкций подшипников сухого трения в среде перекачиваемых свинца и эвтектики свинец-висмут при температуре 350-510⁰С. Основные характеристики насоса НЦС-04 (в составе стенда ФТ-2 НГТУ): подача 6-8 м³/ч; напор – 4-6 м.ст.ж., рабочая среда – свинец; температура перекачиваемой среды – 350-510⁰С; частота вращения вала – 800-1500 мин⁻¹. Насос – центробежный, погружного типа.

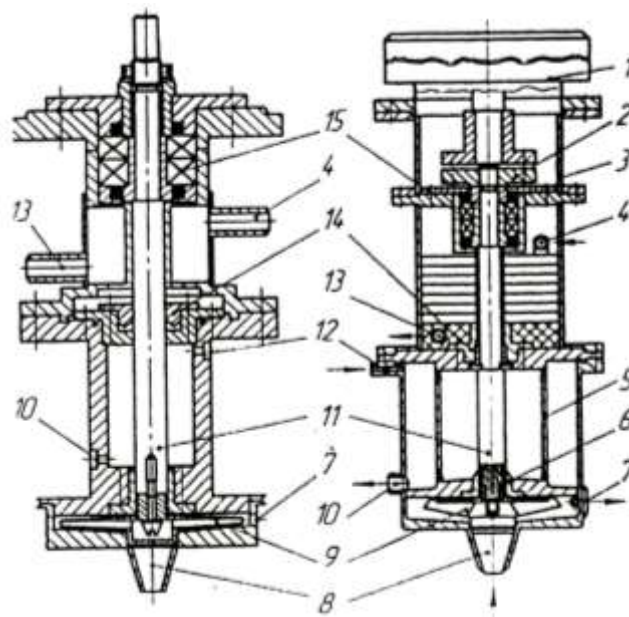


Рис. 2. Конструктивные схемы электронасосов НЦС-01 (а) и НЦС-04 (б):

- 1 – электродвигатель; 2 – муфта; 3 – стакан; 4 – подвод охлаждающей воды;
 5 – кронштейн; 6 – втулка подшипника скольжения (съемная); 7 – штуцер напорный;
 8 – патрубок всасывающий; 9 – колесо рабочее; 10 – отвод организованных протечек;
 11 – вал; 12 – штуцер газовый; 13 – отвод охлаждающей воды; 14 – узел уплотнения вала;
 15 – верхний подшипниковый узел

На рис. 3 представлены в качестве примера фото подшипникового узла сухого трения до начала испытаний и после 950 ч работы в среде свинца при температуре 480-510⁰С. После этой серии испытаний втулка вала имела неравномерный износ как в радиальном, так и в осевом направлениях. Максимальное изменение диаметра вала составило 0,3 мм. На поверхностях втулки и вала подшипника зафиксированы кольцевые царапины и борозды глубиной

1,0 мм и шириной до 2,0 мм. Поверхности, несмотря на явно выраженный характер износа, покрыты плотной оксидной пленкой черного цвета, смачивание поверхности свинцом отсутствует.

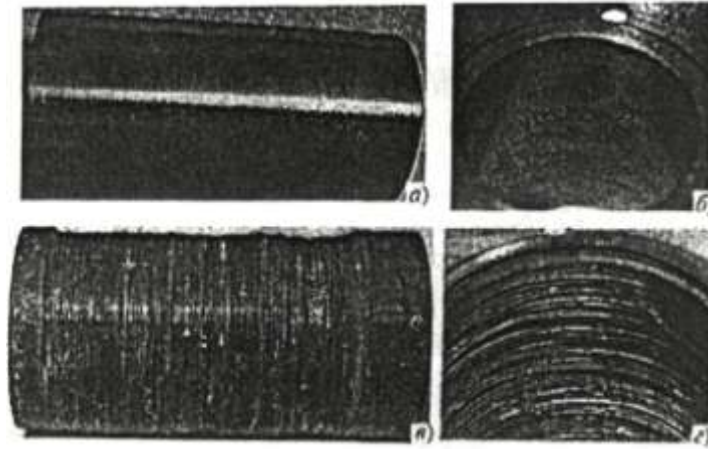


Рис. 3. Втулки вала (а) и подшипник (б) до испытаний, наружная (в) и внутренняя (г) поверхности втулки подшипника после 950 ч работы

Возможной причиной интенсивного изнашивания поверхностей подшипника явилось отсутствие (непроведение) режимов начальной обкатки и целенаправленного формирования защитных оксидных покрытий на этих поверхностях. Кроме начального момента эксплуатации (нескольких десятков часов), замечаний к работе насосов не имелось. Операции по замене подшипникового узла, которые не являлись необходимыми с точки зрения эксплуатации насоса, были совмещены с остановкой стенда, согласно программе испытаний, и осуществлены легко, без каких-либо задержек и затруднений.

Основные характеристики насоса НЦС-1 в составе стенда ФТ-312 (рис. 2): подача 1-2 м³/ч; напор – 2 м ст.ж.; рабочая среда – свинцовый теплоноситель с температурой 450-500⁰С – 1710 ч и эвтектический сплав свинец-висмут с температурой 480-500⁰С – 100 ч; частота вращения вала – 800-1500 мин⁻¹. На рис. 4 представлены фото поверхностей вала и втулки подшипника после указанного цикла испытаний. Втулка вала имела примерно равномерный износ с максимальной величиной 0,4 мм. На её поверхности обнаружен единичный дефект в виде замкнутой борозды глубиной 0,2-0,4 мм, шириной около 0,2 мм. Состояние поверхности втулки подшипника аналогично состоянию втулки вала.

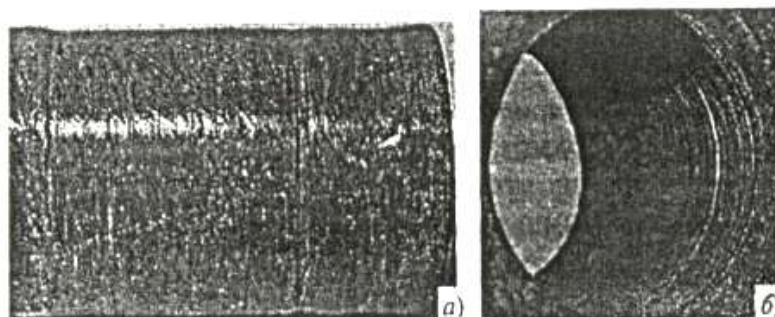


Рис. 4. Поверхности втулок вала (а) и подшипника (б) НЦС-01 после испытаний

Результаты других проведенных авторами испытаний указанных подшипников, а также подшипников сухого трения других насосов, показали аналогичные результаты. Замечаний к работе механизмов из-за подшипников сухого трения не имелось.

Большой износ поверхностей подшипника насоса НЦС-04 по сравнению с аналогичным износом подшипника насоса НЦС-01 объясняется существенной разницей в статических и динамических нагрузках этих насосов при относительно одинаковых рабочих поверхностях подшипников.

Результаты работы указанных и других насосов, разработанных и испытанных в НГТУ, подтверждают возможность применения подшипников сухого трения в насосах для перекачивания свинцового, свинец-висмутового и свинец-литиевого теплоносителей с температурой 510°C (возможно и более высокой) в экспериментальных и сдаточных стендах со временем до замены подшипниковых узлов не менее 1500-2000 ч.

Гидродинамические подшипники

Главные циркуляционные насосы для перекачки свинец-висмутового теплоносителя в реакторных установках опытной и серийных отечественных атомных подводных лодок имели гидростатические подшипники скольжения. Такие подшипники обеспечивают режим жидкостной смазки с использованием в качестве рабочей среды жидкометаллический теплоноситель, подаваемый либо за счёт напора собственного насоса, либо специальным вспомогательным насосом.

Исследования, проводимые авторами, применительно к перспективным реакторным установкам энергоблоков со свинцовым (БРЕСТ) и свинец-висмутовым (СВБР) теплоносителями [2] показали, что для исключения отказов, вследствие забивания зазоров гидростатического подшипника, целесообразно организовывать подачу теплоносителя к его дросселям через приемную камеру, образованную вращающейся и неподвижной стенками. На рис. 5 представлено фото рабочих поверхностей гидростатического подшипника насоса стенда ФТ-1 НГТУ после порядка 40 лет работы с циркуляцией свинец-висмутового теплоносителя один-два месяца в году. Режим работы насоса: подача (эвтектика свинец-висмут) – до $10\text{ м}^3/\text{ч}$, температура – $250\text{-}450^{\circ}\text{C}$ (кратковременно до 500°C), частота вращения вала – 1000 мин^{-1} .

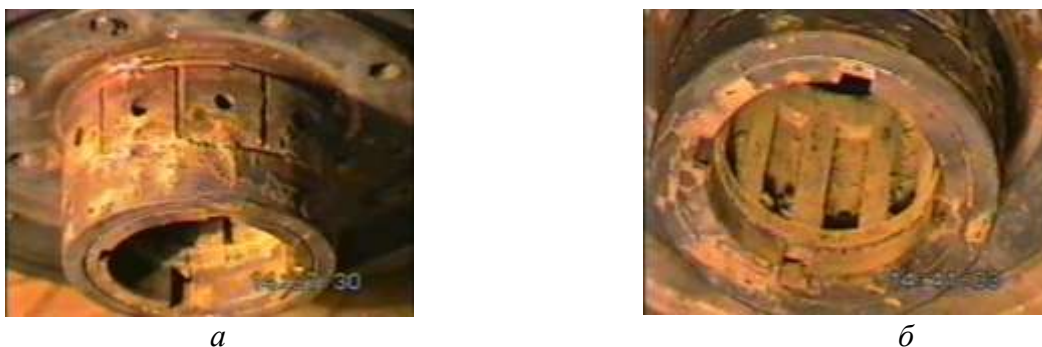


Рис. 5. Фотография гидростатического подшипника насоса стенда ФТ-1:
а – дросселирующие отверстия; *б* – рабочая поверхность с напорными камерами

Вначале эксплуатации стенда при разборке насоса неоднократно фиксировалось забивание полостей вертикальных пазов (полостей) гидростатического подшипника оксидами теплоносителя. После введения периодических технологических обкаток контура на стенде, оксиды из пазов исчезли, что фиксировалось при разборках насоса (рис. 5), и подшипник перешел в расчётный режим работы.

Гидростатические подшипники скольжения являются, вероятно, оптимальными, практически безыносными (при соблюдении требований по технологии теплоносителя) конструкциями подшипников скольжения, работающими в среде свинцового и свинец-висмутового теплоносителей. В настоящее время в НГТУ проводятся исследования и отработка таких подшипников применительно к реакторным установкам БРЕСТ и СВБР (рис. 6).

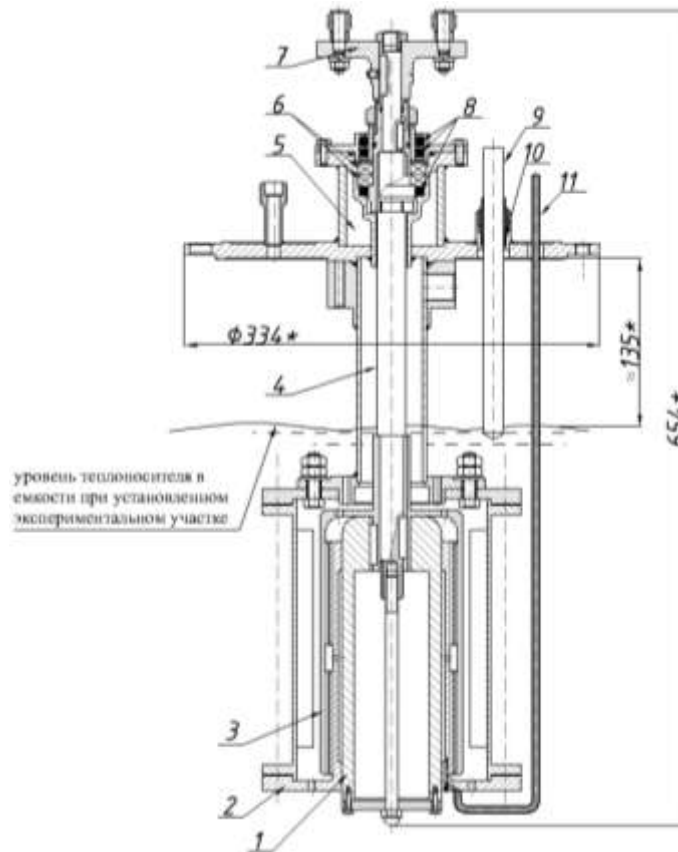


Рис. 6. Выемная часть экспериментального участка:

1 – вал ГСП; 2 – винт лабиринтно-винтового насоса; 3 – втулка лабиринтно-винтового насоса; 4 – вал; 5 – холодильник; 6 – шарикоподшипники; 7 – втулочно-пальцевая муфта; 8 – манжеты; 9 – датчик активности кислорода; 10 – гермоввод; 11 – отбор давления из рабочей камеры ГСП

Контактное трение оболочек стержней-поглотителей активной зоны реакторов на быстрых нейтронах

В НГТУ проводятся экспериментальные исследования процессов контактного трения оболочек стержней-поглотителей нейтронов относительно их чехлов с проточными или непроточными свинец-висмутовым или свинцовым теплоносителями (рис. 7).

Целью работ является исследование процессов и характеристик изнашивания контактных поверхностей в исполнительных органах систем управления и защиты реакторов типа БРЕСТ и СВБР. Испытания проводятся при штатных материалах и штатных температурах (450-600⁰С), моделировании скоростей перемещения стержней-поглотителей относительно их чехлов и усилий перемещений стержней-поглотителей. В процессе исследований контролируется и варьируется содержание кислорода в теплоносителе, и, соответственно, состояние оксидных защитных покрытий (пленок) на приповерхностном слое контакта поверхностей жидкого и твердого металлов. Обнаружено, что в результате гидродинамических усилий со стороны жидкого металла происходит радиальное перемещение стержней-поглотителей в пределах допусков в чехлах. Это может приводить к изменению (пульсациям) реактивности и локальных энерговыделений, а также интенсифицирует процессы изнашивания поверхностей. Зафиксирована интенсификация изнашивания оголенных, не защищенных пленками поверхностей, и резкое снижение, вплоть до прекращения изнашивания при формировании и доформировании защитных оксидных покрытий. Рекомендуется исключить работу таких исполнительных органов системы регулирования мощности реактора в непроточном режиме с глубоким раскислением теплоносителя между стержнем-поглотителем и его чехлом.

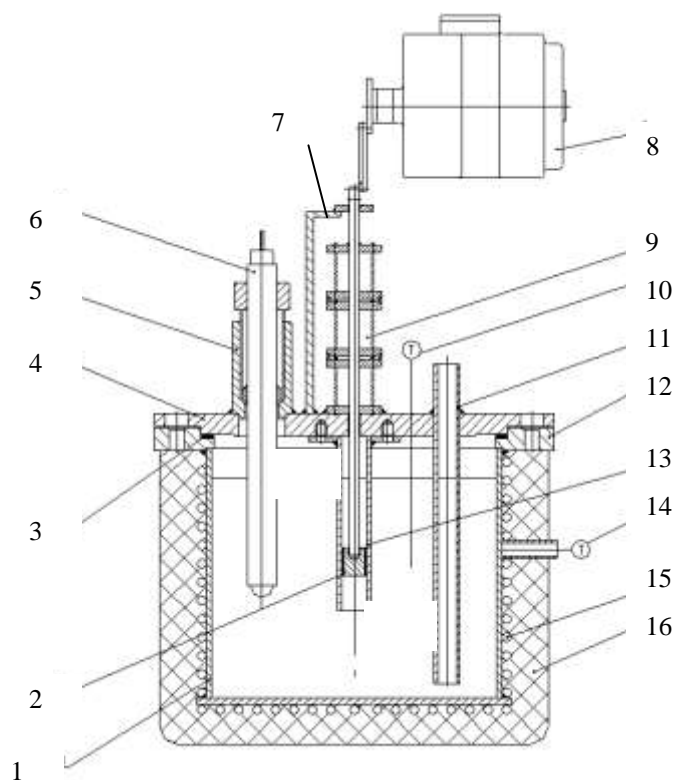
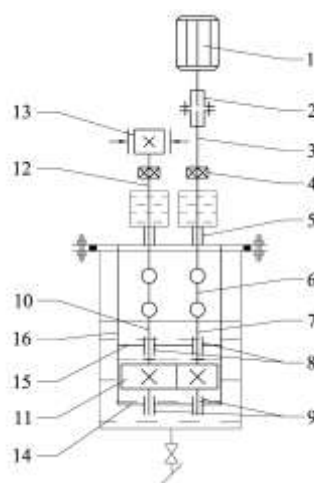


Рис. 7. Схема экспериментального стенда:

- 1 – емкость; 2 – оболочка поглотительного элемента; 3 – прокладка; 4 – крышка;
 5 – узел уплотнения датчика термодинамической активности;
 6 – датчик термодинамической активности; 7 – штанга; 8 – двигатель; 9 – сильфон;
 10 – погружной термопреобразователь; 11 – трубка; 12 – фланец; 13 – чехол;
 14 – термопреобразователь; 15 – электрообогрев; 16 – теплоизоляция; 17 – вентиль



а



б

Рис. 8. Фотография (а) и схема (б) экспериментальной установки по исследованию работы зубчатых зацеплений из стали и чугуна в свинцовом и свинец-висмутовом теплоносителях:

- 1 – электродвигатель; 2 – муфта пальчиковая; 3 – вал привода шестерни; 4 – радиально-осевой шарикоподшипник; 5 – радиальный подшипник скольжения; 6 – карданный вал;
 7 – шестерня; 8 – радиально-упорный подшипник; 9 – радиальный подшипник; 10 – вал колеса;
 11 – колесо; 12 – вал тормоза; 13 – ленточный тормоз; 14 – нижняя опорная плита;
 15 – верхняя опорная плита; 16 – штанга крепления

В НГТУ проводился комплекс исследований работы зубчатых зацеплений из стали и чугуна в свинцовом и свинец-висмутовом теплоносителях. Условия испытаний: температура 450-500⁰С; контролируемое и варьируемое содержание кислорода в теплоносителе 10⁻⁵-10⁰; число оборотов вала $n = 300-1500 \text{ мин}^{-1}$; окружная скорость шестерни и колеса в районе контакта – 1,3-4,7 м/с; передаточное число $u=2$; защитный газ – аргон, водород, аргоно-водородная смесь; - передача – прямозубая, цилиндрическая, наружного зацепления с эвольвентным профилем; межосевое расстояние зацепления – 50 мм. На рис. 8 приведен пример конструктивной схемы испытательного стенда. На рис. 9 представлены примеры износа элементов зубчатых зацеплений в среде тяжелых жидкометаллических теплоносителей. Условия испытаний: температура свинца 450⁰С; термодинамическая активность кислорода в свинце на линии насыщения, скорость вращения шестерни 500 об/мин (окружная скорость шестерни на делительной окружности 1,05 м/с); контактное напряжение 758 МПа, число циклов нагружения зуба $13,8 \cdot 10^6$; сталь 40Х13 после закалки в масле ($HRC 47 - 49$).



Рис. 9. Фотография вершины зуба шестерни со следами пластической деформации и отслаивания стали

Состояние зубьев в процессе испытаний контролировалось неразрушаемым способом через 24-100 ч работы. При этом стенд останавливался, расхолаживался, после чего фиксировалась геометрия зубьев зацепления путем снятия из отпечатков. Фиксирование осуществлялось вдавливанием зубьев в расплавленную сургучную массу. После её застывания и обработки получали слепок соответствующего зуба. Затем производили цифровую фотосъемку торца слепка, обработку полученных изображений и измерение характерных размеров зуба по фотографии слепка. После этих замеров, установку собирали и вводили в дальнейшую работу. На рис. 10 представлен пример фото зубчатых колес до и после одной серии испытаний.



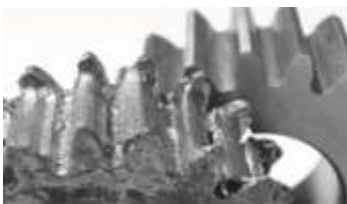



Узел	Этап эксперимента		
	Первый		Второй
Шестерня			
Зубчатое колесо			

Рис. 10. Фотографии зубчатых колес до и после проведения экспериментов

Исследования проводились в несколько этапов с различными их условиями. На рис. 10 представлены примеры изменения относительной ширины и зуба на длительной

окружности и относительной площади S зуба шестерни для нескольких этапов одной серии экспериментов. На рис. 11 показаны изменения ширины b зуба на делительной окружности (а) и относительной площади S зуба (б) шестерни на этапе эксперимента. Определялись виды изнашивания контактных поверхностей [3].

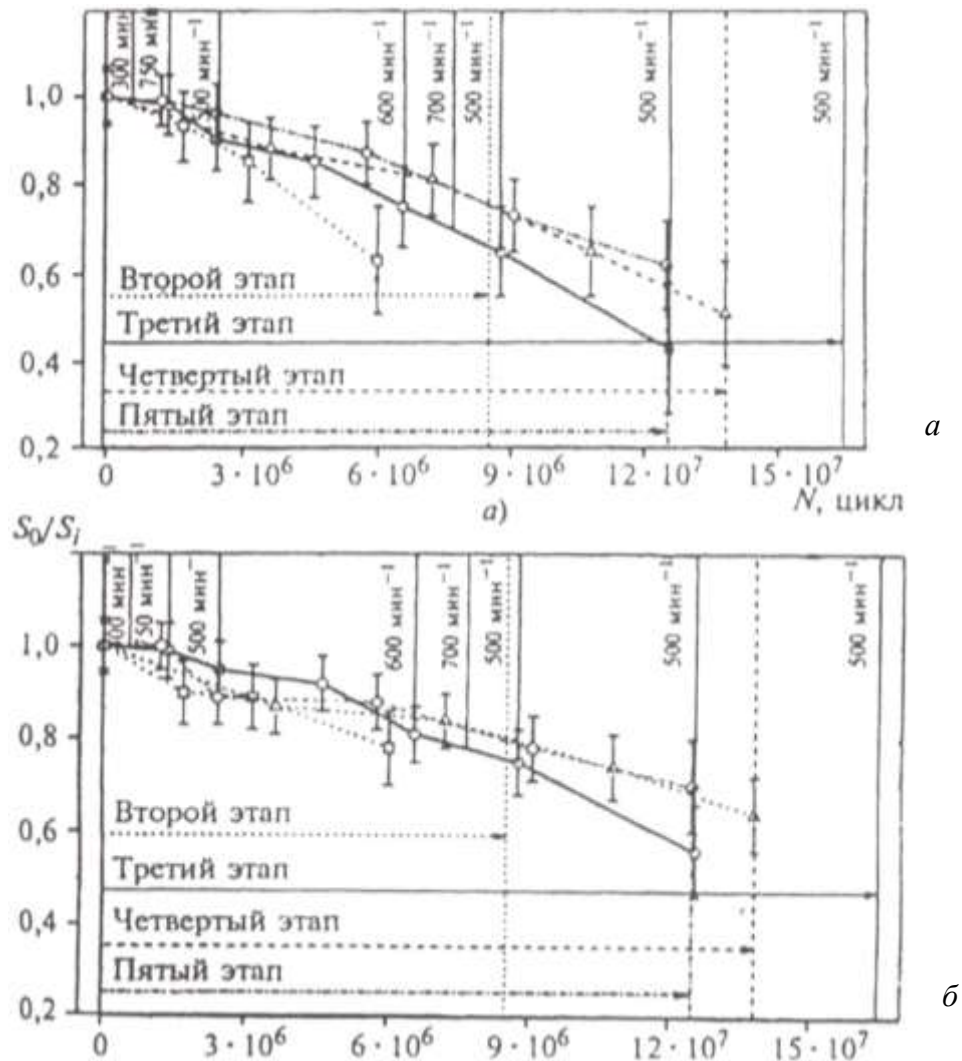


Рис. 11. Изменения ширины зуба b на делительной окружности (а) и относительной площади S зуба (б) шестерни на этапе эксперимента:

..... второй этап; ---o--- третий (частота вращения шестерни 300 мин^{-1} – время работы 2% от времени эксплуатации; 500 мин^{-1} – 61%; 600 мин^{-1} – 25%; 700 мин^{-1} – 6%; 750 мин^{-1} – 6%); ---Δ--- - четвертый; ---◇----- - пятый. Горизонтальные стрелки – время эксплуатации на соответствующем этапе

В результате работ экспериментально доказана возможность работы зубчатых зацеплений, изготовленных из стали и чугуна в свинцовом и свинец-висмутовом теплоносителях при следующих условиях: температура $450\text{-}500^\circ\text{C}$; содержания кислорода в жидком металле, близкое к насыщению; контактное напряжение в зацеплении около 800 МПа ; частота вращения 500 мин^{-1} и менее; окружная скорость на длительной окружности до $2,5 \text{ м/с}$ в течение более 500 ч [4].

Возможным направлением увеличения ресурса зубчатых зацеплений является применение более жаростойких сталей, чем 40X13, и чугунов, более чем С420, а также повышение качества обработки контактных поверхностей и точности изготовления зацеплений.

Библиографический список

1. **Безносков, А.В.** Тяжелые жидкометаллические теплоносители в атомной энергетике / А.В. Безносков, Ю.Г. Драгунов, В.И. Рачков. – М.: ИздАт, 2007. С. 434.
2. Специфика циркуляционных насосов реакторных контуров со свинцовым и свинец-висмутовым теплоносителями / А.В. Безносков [и др.] // Изв. вузов. Ядерная энергетика. 2009. №4.
3. Виды изнашивания контактных поверхностей в высокотемпературных свинцовом и свинец-висмутовом теплоносителях / А.В. Безносков [и др.] // Атомная энергия. 2009. № 12.
4. Особенности работы подшипников скольжения и зубчатых зацеплений в тяжелом жидкометаллическом теплоносителе / А.В. Безносков [и др.] // Вестник машиностроения. 2009. №2.

*Дата поступления
в редакцию 02.02.2010*

М.А. Antonenkov, P.A. Bokov, D.V. Kuznetsov, A.V. Besnosov, T.A. Bokova

**PECULIARITIES OF FRICTION AND DEPRECIATION
OF CONTACT SURFACES IN HIGH-TEMPERATURE LEAD AND LEAD-BISMUTH
COOLANTS OF REACTOR CIRCUITS**

Experimental and calculation-theoretical studies of the processes accompanying friction in the medium of lead and lead-bismuth eutectic at the temperatures 350 – 550°C in the elements of reactor circuit mechanisms are carried out at the Nizhny Novgorod State Technical University. These studies are required for adequate design engineering and maintenance of circulation circuits, executing mechanisms of control and reactor shielding systems, and mechanisms of overcharging of atomic fuel. This research is also needed to predict the processes of depreciation of surface elements of the steam generator pipe system and of the reactor core, in which contact friction can occur.

Key words: high-temperature coolant, lead, friction, depreciation, contact surfaces