

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ АВАРИЙНОЕ ПОСТУПЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ (МАСЕЛ) В СВИНЕЦ-ВИСМУТОВЫЙ И СВИНЦОВЫЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛИ

А.В. Безносков, И.В. Каратушина

Нижегородский государственный технический университет, г. Н.Новгород



Приводятся результаты экспериментальных и расчетно-теоретических исследований процессов, сопровождающих аварийное поступление органических соединений – масел из системы торцевого уплотнения вала и подшипников циркуляционных насосов энергетических контуров со свинец-висмутовым и свинцовым теплоносителями реакторов деления ядер, термоядерных реакторов и ускорительно-управляемых систем. Исследовались процессы термического разложения веретенного и вакуумного масел в контакте со свинец-висмутовым теплоносителем, в контакте со «шлаками» (оксидами) на свободной поверхности теплоносителя и возможность удержания продуктов пиролиза масла на «горячих» поверхностях циркуляционного контура, а также их влияние на работоспособность оксидных защитных и электроизолирующих покрытий на внутренних поверхностях контура, на характеристики сталей этих поверхностей. Исследования проводились применительно к рабочему диапазону температур 350–550°C энергетических контуров в статических условиях и в циркуляционных изотермических стендах.

ВВЕДЕНИЕ

Концепции применения свинец-висмутового и свинцового теплоносителей в энергетических контурах реакторов деления ядер на быстрых нейтронах, контурах отвода тепла от бланкета реакторов синтеза легких ядер и мишенных контурах ускорительно-управляемых систем инициируют исследования возможности аварийных ситуаций и обеспечения безопасности установок при таких авариях. Аварии с поступлением масла из соответствующих элементов главных циркуляционных насосов имели место в контурах, охлаждаемых эвтектикой свинец-висмут (стенд 27/ВТ-5) транспортных реакторных установок. При использовании в контурах перспективных установок со свинцом или эвтектикой свинец-висмут насосов с масляными уплотнениями вала, герметизирующими газовую систему защитного газа от атмосферы, должна исследоваться рассматриваемая аварийная ситу-

ация. Возможно также поступление консистентной смазки подшипниковых узлов насосов в контур с жидкометаллическими теплоносителями.

Органические масла, которые могут быть использованы в контуре с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем (ТЖМТ), являются продуктами, содержащими нафталановые, парафиновые, ацетиленовые, ароматические углеводороды, состав которых в значительной степени, зависит от состава исходной нефти.

Масло, поступая на свободную поверхность ТЖМТ или в объем циркулирующего теплоносителя, термически разлагается. Продуктами термического разложения могут быть водород, легкие и тяжелые углеводороды, а также твердые углеродо-содержащие продукты.

РАСЧЕТНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Авторами проведен анализ соответствующих процессов. Постулировалось, что при поступлении масла в теплоноситель на основе свинца образуется многокомпонентная система, основными компонентами которой являются водород (H_2), метан (CH_4) и углерод (C) как конечный нелетучий продукт термического разложения масла. Газообразные (H_2 , CH_4) и парообразные (C_nH_m) продукты будут выходить в объем системы защитного газа с возможным последующим удалением из контура. Поэтому при термодинамическом анализе рассматривался случай взаимодействия конечного продукта пиролиза – углерода с примесью кислорода в ТЖМТ. Задачей исследования являлось получение ответа на следующие вопросы:

- как скажется наличие примеси углерода в контуре на состояние и работоспособность оксидных защитных и электроизолирующих покрытий;
- возможны ли в условиях контура реакции взаимодействия углерода с водородом, находящимся в виде примеси в защитном газе или в составе газовой смеси при технологических обработках контура?

На границе раздела ТЖМТ – защитный газ возможны реакции взаимодействия углерода с двуокисью углерода и водородом (рис. 1). Реакция взаимодействия

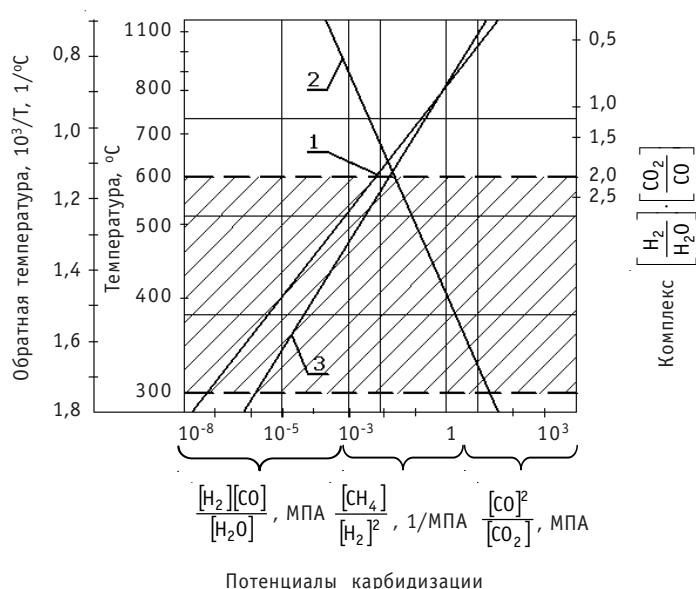


Рис. 1. Температурные зависимости реакций примесей в защитном газе со свободным углеродом (на свободной поверхности ТЖМТ): 1 – реакция $CO_2 + C \rightleftharpoons 2CO$; 2 – реакция $2H_2 + C \rightleftharpoons CH_4$; 3 – реакция $H_2O + C \rightleftharpoons H_2 + CO$; – область рабочих температур

углерода с водородом с образованием метана более вероятно, чем обратная реакция. В рабочем диапазоне температур «выжигание» углерода диоксидом углерода невозможно. На свободной поверхности теплоносителя углерод в виде графита (сажи) может образовываться при условии, что в контуре ТЖМТ образуется СО, что мало вероятно.

В системе защитного газа восстановление оксида углерода водородом может привести к образованию мелкодисперсной фазы сажи и к высаживанию ее на поверхностях трубопроводов и оборудования. Количество сажи зависит от общего количества продуктов разложения и от соотношения парциальных давлений водорода и оксида углерода. «Выжигание» углерода водородом в объеме теплоносителя и на поверхностях контура возможно, но эффективно этот процесс будет происходить при температуре около 500°C (в «горячих» участках контура).

Контакт примеси масла и продуктов его пиролиза, поступающих в пристенный слой ТЖМТ – стенка со сталями осуществляется через оксидные защитные и электроизолирующие покрытия на поверхностях конструкционных материалов и слой возможных отложений частиц примесей. Термодинамический анализ взаимодействия продуктов пиролиза масла – водорода, оксида углерода и углерода в твердой фазе (на свободных поверхностях) или углерода на линии насыщения (в объеме теплоносителя) проводился в предположении, что основой указанного покрытия являются соединения железа (Fe_3O_4), хрома (Cr_2O_3) и никеля (NiO). Получено, что в случаях поступления свободного углерода в пристенный слой, характеристики покрытий будут ухудшаться. Последнее происходит за счет восстановления покрытий, в том числе при технологических обработках с контактом углерода и пузырей с увлажненными водородосодержащими смесями.

Термодинамический анализ системы углерод – растворенные в ТЖМТ примеси конструкционных материалов показал следующее: при контакте свинца или эвтектики свинец-висмут с перлитными, аустенитными и ферритно-мартенситными хромо-никелевыми сталями в присутствии продуктов пиролиза масел в диапазоне рабочих температур возможна карбидизация никеля и при более высоких температурах – железа. При наличии в системе углерода и кислорода для железа и хрома определяющими будут процессы их оксидирования, а для никеля – процесс карбидизации.

В целом, проведенные термодинамические оценки позволяют сделать вывод о том, что поступление масла в реальный контур ТЖМТ не приведет к заметному ухудшению работоспособности оксидных защитных и электроизолирующих покрытий на поверхностях конструкционных материалов. Углерод, образующийся на свободных поверхностях в результате взаимодействия с водородом, образует метан, выводимый в последующем из газовой системы.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В Нижегородском государственном техническом университете были проведены экспериментальные исследования процессов, сопровождающих поступление масла в контур со свинцовым и свинец-висмутовым теплоносителями.

Целью экспериментов являлось

- определение кинетических характеристик разложения масла и выхода газопарообразных продуктов пиролиза в контакте с «чистой» поверхностью ТЖМТ и с поверхностью, покрытой шлаками – оксидами теплоносителя;
- определение возможности удержания продуктов пиролиза масла (образования отложений) на «горячих» поверхностях конструкционных материалов цирку-

ляционного контура с ТЖМТ и соответственно возрастания величины контактного термического сопротивления;

- исследование влияния контакта сформированных оксидных защитных и электроизолирующих покрытий на сталях с продуктами пиролиза масла в циркуляционном контуре и при барботаже на характеристики покрытий.

В процессе испытаний использовались

- масла – веретенное типа АУ и вакуумное типа ВМ;
 - жидкие металлы – эвтектика свинец-висмут и свинец, оксиды этих металлов.
- Диапазон температур в зоне контакта сред – 220–450°C.

Исследовались процессы пиролиза масла на свободных поверхностях ТЖМТ, в его объеме и в пристенном слое ТЖМТ – конструкционный материал.

Стенд (ФТ-М1) для проведения статических испытаний представлял собой нагревательную емкость с средством контроля температуры в зоне контакта сред, устройством подачи масла. Газо- и парообразные продукты поступали в конденсатор и конденсатосборник. Объем масла, вводимого в емкость, составлял

- для подачи на поверхность свинца 50 мл;
- для подачи на поверхность эвтектики свинец-висмут 50 мл.

Исследовались характеристики процесса пиролиза масла в диапазоне температур 80–450°C при подаче его в нагревательную емкость из хромоникелевой стали (в отсутствии ТЖМТ), при наличии в емкости «чистых» свинца и эвтектики с очищенными от шлаков свободными поверхностями, а также при поверхностном контакте со свинец-висмутовым и свинцовым теплоносителями, покрытых слоем этих оксидов.

Стенд ФТ-М2 (рис. 2) для проведения испытаний при барботаже продуктов пиролиза масла через объем ТЖМТ включал в себя:

- чехловую трубу с имитатором ТВС, погруженную под уровень ТЖМТ;
- емкость приготовления продуктов разложения масла;
- дозатор масла;
- систему газа;
- трубопроводы и арматуру;

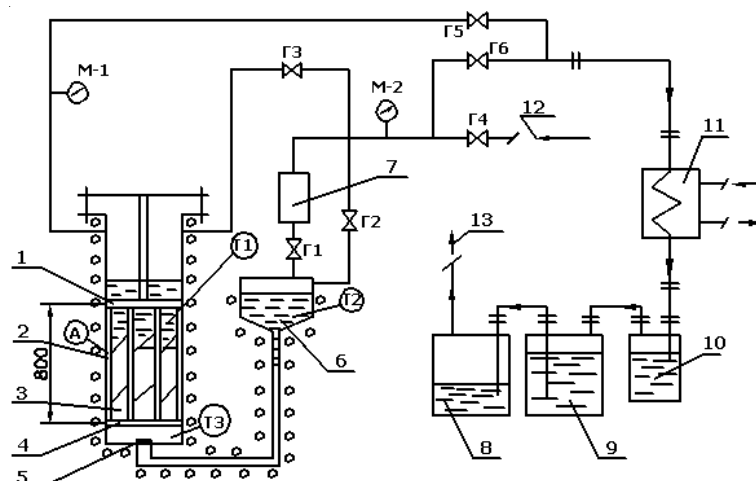


Рис. 2. Схема стенда с барботажом продуктов пиролиза масел через объем ТЖМТ: 1 – решетка верхняя; 2 – труба чехловая; 3 – имитатор ТВС; 4 – решетка нижняя; 5 – сопло раздающее; 6 – емкость приготовления продуктов разложения; 7 – дозатор; 8 – емкость мерная; 9 – емкость вытеснительная; 10 – конденсатосборник; 11 – конденсатор; 12 – газ от редуктора; 13 – сброс газа в газовую систему

- систему контроля продуктов разложения масла, включающую теплообменник, конденсатосборник, вытеснительную емкость.

Имитатор ТВС, устанавливаемый в чехловую трубу, монтировался из семи заглушенных с торцов оболочек из ферритно-мартенситной стали со сформированными оксидными покрытиями. Высота имитатора ТВС ~ 0,8 м, ориентация оси – вертикальная. Дистанционирование оболочек осуществлялось с использованием перфорированных дистанционных решеток.

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. Производилось заполнение дозатора маслом объемом ~ 0,3 дм³ и передавливание аргоном дозы масла в емкость приготовления масла, температура в которой поддерживается 300–330°C. Через ~ 48 ч газо- и парообразные продукты разложения масла сбрасываются в систему их контроля. Оставшийся в емкости объем не разложившихся продуктов аргоном передавливается через сопло под нижнюю решетку имитатора ТВС. Операции ввода масла в дозатор и последующие повторяются дважды через 24 ч. Стенд расхлаживается, производится его ревизия, образцы оболочек передаются на анализ.

Стенд для проведения испытаний с вводом продуктов пиролиза масла в объем циркулирующего ТЖМТ (ФТ-1МЗ) был смонтирован на основе базового стенда ФТ-1. Стенд ФТ-1МЗ включал

- систему приготовления и заполнения циркуляционного контура эвтектикой свинец-висмут;
- циркуляционный контур с центробежным электронасосом, буферной емкостью, мерным баком, трубопроводы, арматуру;
- систему защитного газа;
- систему охлаждения;
- систему электроснабжения;
- систему управления;
- систему сбора и обработки информации.

Экспериментальный участок включал

- описанную выше чехловую трубу с имитатором ТВС (рис. 2);
- емкость приготовления продуктов разложения масла;
- систему контроля продуктов разложения масла;
- датчик контроля термодинамической активности кислорода в эвтектике поставки ГНЦ РФ-ФЭИ.

Методика проведения экспериментов заключалась в следующем. Вводился в действие циркуляционный насос и осуществлялась циркуляция эвтектики свинец-висмут при температуре 300°C через чехловую трубу с имитатором ТВС со средней скоростью 0,5–1,0 м/с. Емкость приготовления продуктов разложения масла разогревалась до 300°C и заполнялась порциями по 0,4–0,6 дм³ масла ВМ-4. Производилась выдержка около 2 ч, после чего продукты пиролиза масла вводились в поток циркулирующего теплоносителя при помощи эжектора. Операции подачи порций масла повторялись до ввода продуктов разложения всего объема масла в масляном баке (2 дм³) в циркулирующий теплоноситель. Сброс газо- парообразных продуктов разложения масла осуществлялся через коллектор низкого давления системы газа в систему контроля продуктов разложения масла. Производилась временная выдержка до стабилизации выхода продуктов разложения масла, после этого температура циркулирующей в контуре эвтектики устанавливалась 400°C. Производилась временная выдержка до стабилизации выхода продуктов разложения масла. После окончания испытаний стенд расхлаживался, проводилась ревизия стенда, образцы оболочек твэлов имитатора ТВС передавались на анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Кинетические характеристики разложения масла в контакте с ТЖМТ

Исследования процесса разложения веретенного и вакуумного масел в контакте в поверхность нагревательной емкости из хромоникелевой стали 08Х18Н10Т в диапазоне температур 80–450°C показали следующее.

Газообразными продуктами пиролиза масел являются смесь водорода, метана и других не идентифицированных летучих продуктов, суммарным объемом 69% для масла ВМ-4 и 59% для масла АУ.

Доля продуктов, конденсирующихся при нормальных условиях, составила 20 и 32% соответственно.

Доля твердой фазы – спеченных частиц (кокса) составила 10 и 9% соответственно. Баланс по массе исходных и конечных продуктов удалось свести с максимальной погрешностью 20%.

На рис. 3 и 4 приведены температурно-временные зависимости выхода газообразных продуктов и конденсата при пиролизе турбинного масла и зависимости нормированного выхода объема этих продуктов к суммарному объему газа и конденсата.

Процессы разложения турбинного и вакуумного масел – аналогичны. Температура разложения этих масел по газу составляет 240°C для масла ВМ-4 и 320°C – для веретенного масла; температура, при которой начинается интенсивное выделение конденсата – 380°C. Существенного влияния на характер разложения масел контакт со свободной поверхностью свинца и эвтектикой свинец-висмут не зафиксировано (рис. 3 и 4). Температура пиролиза масел в контакте с эвтектикой и свинцом, при которой начинается интенсивное выделение газа, составляет для масла ВМ-4 – 300°C, для АУ – 320°C, интенсивное выделение конденсата – 380 и 400°C соответственно. Скорость разложения масел в контакте с ТЖМТ при прочих равных условиях несколько выше, чем без такого контакта.

Исследования разложения веретенного масла в эвтектике свинец-висмут с использованием акустического зондового датчика Д-001 (конструкции НГТУ) показали следующее (рис. 5). Дискретное увеличение температуры до 370°C приводит к полному прекращению акустического контакта между волноводами вследствие

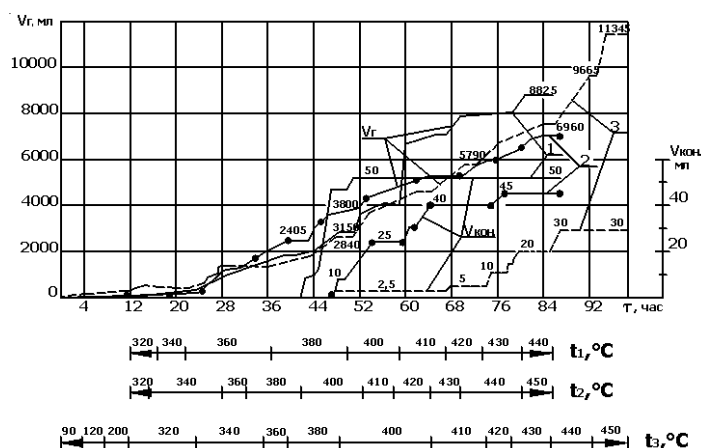


Рис. 3. Выход газообразных продуктов и конденсата при пиролизе турбинного масла: 1, t_1 – пиролиз масла АУ; 2, t_2 – пиролиз масла АУ при контакте с ТЖМТ; 3, t_3 – пиролиз масла АУ при контакте с ТЖМТ и его оксидами

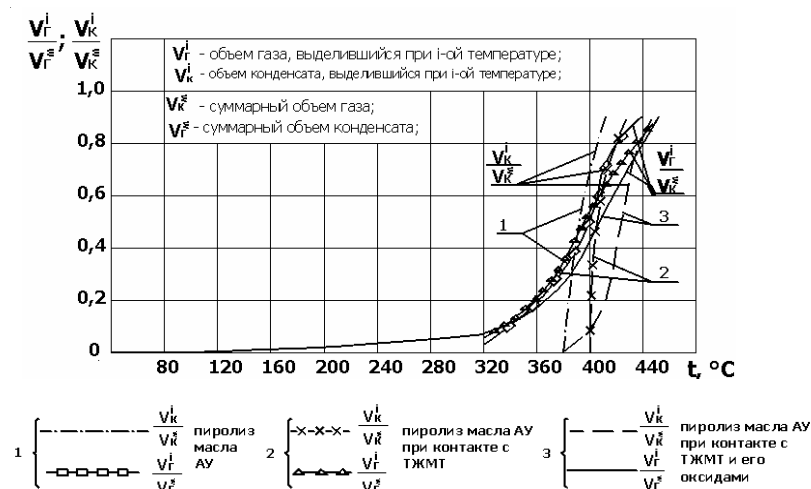
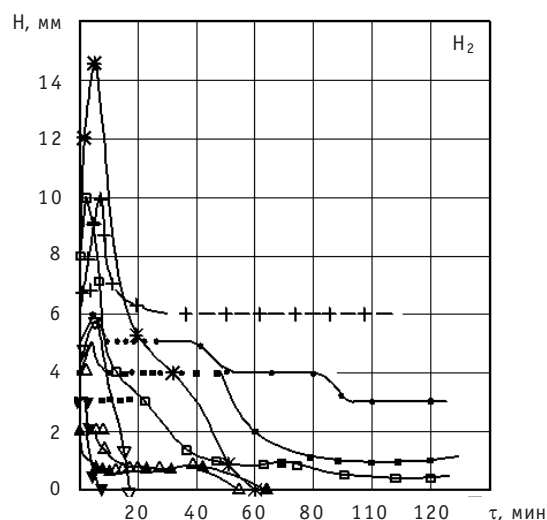


Рис. 4. Нормированный выход газообразных продуктов и конденсата при пиролизе турбинного масла

выгорания масла с 1 ч при температуре 340°C до 7 мин при 370°C в атмосфере водорода над свободным уровнем ТЖМТ и от 1,5 ч при 310°C до 7 мин при 350°C в атмосфере аргона. При температурах больших 380°C масло, находящееся в зазоре между волноводами $\delta=1,0$ мм, погруженными в ТЖМТ, испаряется практически мгновенно (за время погружения).

Процессы термического разложения масел, подаваемых на свободную поверхность свинца и эвтектики свинец-висмут, покрытую слоем твердой фазы их оксидов толщиной от долей до нескольких миллиметров принципиально не отличается от аналогичных процессов при «чистой» поверхности ТЖМТ. Зафиксирована разница в значениях пороговой температуры образования газообразных продуктов пиролиза (рис. 2 и 3). Без контакта с ТЖМТ указанная величина для масла ВМ-4 и АУ составляет 300 и 320°C соответственно. При контакте с поверхностью ТЖМТ,

Рис. 5. Изменение амплитуды сигнала ультразвукового датчика при выгорании капли веретенного масла между его волноводами (над свободной поверхностью ТЖМТ – водород): + - $t = 250^\circ\text{C}$; ● - $t = 280^\circ\text{C}$; □ - $t = 310^\circ\text{C}$; ■ - $t = 310^\circ\text{C}$; ▲ - $t = 340^\circ\text{C}$; ▴ - $t = 340^\circ\text{C}$; ▽ - $t = 370^\circ\text{C}$; ▼ - $t = 370^\circ\text{C}$; * - $t = 350^\circ\text{C}$

покрытой их оксидами, она составила 220 и 200°C соответственно. При взаимодействии масел с оксидами при прочих равных условиях выделяется заметно большее количество газо-и парообразных продуктов разложения, вероятно, за счет более интенсивного процесса пиролиза и за счет восстановления оксидов. Количество выделившегося конденсата в этих случаях было меньше, чем при подаче масла на «чистую» поверхность ТЖМТ.

Зафиксировано интенсивное восстановление оксидов свинца и эвтектики свинец-висмут (очистка поверхности от шлаков) при подаче масла на поверхность. Это делает возможным использование масла в качестве среды для очистки ТЖМТ от их оксидов.

Барботаж продуктов пиролиза масел при их подаче под имитатор ТВС, заглубленный в ТЖМТ

В процессе испытаний отмечалось влияние процесса барботажа продуктов разложения масел на показания датчиков термодинамической активности кислорода в ТЖМТ (рис. 6).

До моментов подачи продуктов пиролиза масла в контур значения термодинамической активности кислорода в эвтектике составляли $a = 10^{-1} - 10^0$. В процессе первой серии барботажа они уменьшились до $a \sim 10^{-5}$. Незначительное кратковременное увеличение этой величины в конце процесса барботажа объясняется продувкой объема аргоном, содержащим примесь кислорода. Далее система переходила в стабильное состояние при $a \sim 10^{-1}$. Раскисление теплоносителя за счет

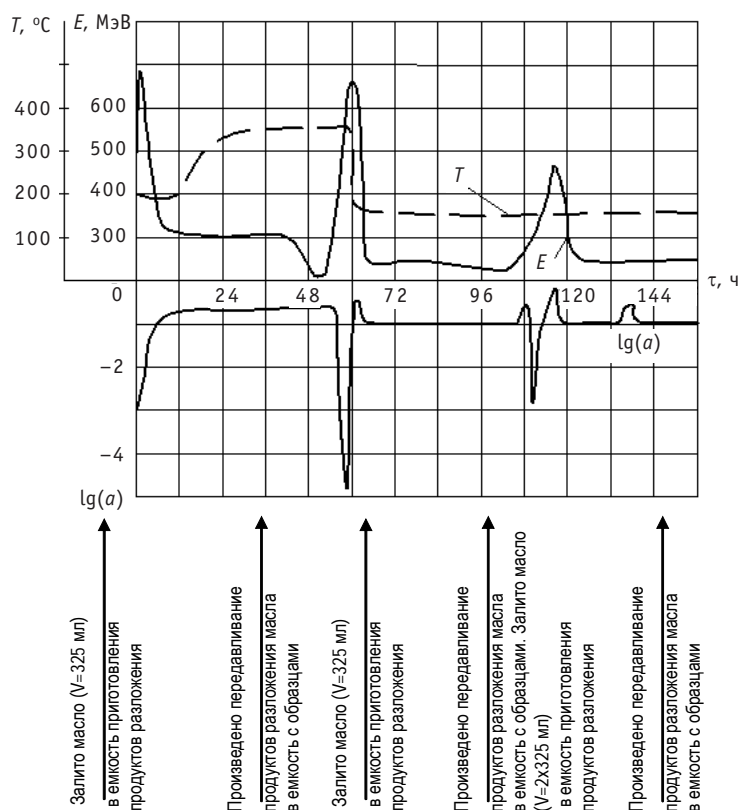


Рис. 6. Зависимости $E = f(\tau)$ и $a = f(\tau)$ в процессе и после барботажа продуктов разложения масла ВМ-4 через слой ТЖМТ в объеме ТВС

продуктов разложения масла, находящегося над свободным уровнем ТЖМТ не фиксируется. Этот факт можно объяснить отсутствием обмена теплоносителя в затесненных каналах имитатора ТВС. Последующие серии барботажа показывали аналогичные результаты с кратковременным раскислением теплоносителя в районе установки датчика контроля кислорода и к незначительному раскислению всего объема жидкого металла. Последнее объясняется низкой температурой (300–320°C) ТЖМТ в процессе испытаний. В газовой системе контура после серий подач масла наблюдалось увеличение давления газа за счет образования газообразных продуктов разложения со средним темпом около 0,02 ндм³/ч при средней температуре 330°C. Во время ревизии стенда после окончания экспериментов из чехловой трубы было слито около 5 дм³ неразложившегося продукта пиролиза масла. На поверхностях конденсатора стенда и на внутренних поверхностях трубопроводов и оборудования системы газа обнаружен конденсат продуктов разложения.

Подача продуктов разложения масла ВМ-4 в циркулирующую в разветвленном контуре эвтектику свинец-висмут

В процессе и после ввода в циркулирующий через проточную часть эжектора теплоноситель в газовой системе стенда происходит увеличение давления за счет поступающих газо- и парообразных продуктов разложения масла.

После подачи продуктов разложения масла в теплоноситель с температурой около 300°C показания датчиков содержания кислорода в ТЖМТ находились в диапазоне 10^{-4} – 10^3 и практически не изменились. При дальнейшем увеличении температуры циркулирующей эвтектики фиксируется раскисление теплоносителя и увеличение давления в системе газа вследствие поступления в нее продуктов разложения масла.

Ревизия контура показала наличие жидких продуктов разложения масла ВМ-4 и конденсата воды как в элементах газовой системы, так и в верхних застойных участках сборок нагревателя и чехловой трубы контура циркуляции эвтектического сплава свинец-висмут. Результаты визуального осмотра поверхности оболочек элементов имитатора ТВС показали, что по всей высоте всех семи оболочек не зафиксировано отличие состояния поверхности от исходного. Отложений шлаков или продуктов разложения масла ни на поверхностях оболочек, ни в зазорах между ними, ни в дистанционирующих решетках не обнаружено.

Результаты рентгенофазового анализа оксидных защитных и электроизолирующих покрытий на образцах, вырезанных из различных по высоте участков элементов ТВС после испытаний на барботажном и циркуляционном стенде, показывают следующее.

Таблица 1

| Место вырезки образца на анализ | Фазовый состав (в порядке понижения интенсивности линий) | |
|---------------------------------|--|---|
| | Барботажный стенд ФТ-М2 | Циркуляционный стенд ФТ-1М3 |
| Эталон (исходное состояние) | Me ₃ O ₄ , Bi, основа (α-фаза), феррит свинца (очень, очень слабо) | Me ₃ O ₄ , Bi |
| Нижний участок | Pb-Bi, основа (α-фаза), Me ₂ O ₃ (ближе к Cr ₂ O ₃), Me ₃ O ₄ (очень, очень слабо) + неизвестная фаза (идентифицировать не удалось) | Pb, Bi, Me ₂ O ₃ (ближе к Cr ₂ O ₃), Me ₃ O ₄ (следы), следы шпинели |
| Средняя часть | Pb-Bi, Me ₃ O ₄ , Me ₂ O ₃ (ближе к Cr ₂ O ₃), основа (α-фаза), PbO (очень, очень слабо) | Bi, Me ₃ O ₄ , Me ₂ O ₃ (ближе к Cr ₂ O ₃) |
| Верхний участок | Pb-Bi, Me ₃ O ₄ , PbO (слабо), Me ₂ O ₃ (ближе к Cr ₂ O ₃), основа (α-фаза) | Pb, Bi, Me ₃ O ₄ , PbO, шпинель |

Рентгенофазовый анализ покрытий на образцах, выполненный на аппарате ДРОН, после испытаний в составе барботажного и циркуляционного стенов не показал наличия углерода в покрытиях. Анализ показывает, что по высоте образца, начиная снизу, в оксидном покрытии фиксируется перестройка фазы Me_3O_4 в фазу Me_2O_3 (ближе к Cr_2O_3). Контакт с продуктами пиролиза масла несколько улучшает характеристики покрытия, повышая его стойкость.

По результатам металлографических анализов образцов до и после испытаний заметных различий в материале образцов не обнаружено. Результаты ревизии стенов после испытаний не показали коррозионных повреждений стали 08Х18Н10Т при температуре до 400°C.

На указанных стендах выполнялись операции по очистке свободных поверхностей и объемов над свободным уровнем ТЖМТ с температурой до 330°C от термически не разложившихся продуктов пиролиза вакуумного и турбинного масел парами воды и этилового спирта. Испытания показали принципиальную возможность очистки этими средами. Эффективность очистки этими способами значительно меньше, чем термическое разложение жидкой фазы продуктов. При увеличении температуры на 50–70°C жидкая фаза практически полностью переходит в газо-парообразную фазу и выходит в объем газовой системы контура.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный термодинамический анализ процессов взаимодействия продуктов разложения масла с теплоносителем на основе свинца показал, что попадание масла в контур с ТЖМТ не приведет к заметному ухудшению работоспособности электроизолирующих и защитных оксидных покрытий на поверхностях конструкционных материалов, а образующийся при этом на свободных поверхностях среды углерод будет выжигаться водородом с образованием метана и последующим выводом его из газовой системы.

Эксперименты по определению кинетических характеристик разложения масел (вакуумного ВМ-4 и веретенного АУ ГОСТ 1642-75) при контакте с ТЖМТ показали, что разложение масел происходит с образованием водорода, летучих газообразных (60–70%) и конденсирующихся при нормальных условиях (20–30%) продуктов, а также незначительного количества (около 10%) спеченных твердых частиц (кокса).

Зафиксировано интенсивное восстановление оксидов свинца и эвтектики свинец-висмут (очистка поверхности от шлаков) при подаче масла на поверхность.

По результатам металлографических анализов образцов до и после испытаний на статических и циркуляционных стендах заметных различий в материале образцов не обнаружено. Результаты ревизии стенов после испытаний не показали коррозионных повреждений стали 08Х18Н10Т при температуре до 400°C.

Предложены и исследованы способы очистки ТЖМТ от масла и продуктов его разложения.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке проектной и эксплуатационной документации энергетических контуров с эвтектикой свинец-висмут и со свинцом.

Поступила в редакцию 13.12.2006

enrichment process. These difficulties can become practically insuperable depending on ^{232}U concentration.

УДК 621.039.54

Exploring of Non-Wasted Fuel Cycle of the Ball-Poured Core of the Sodium-Cooled Fast Reactor \ G.B. Usynin, A.A. Kravchenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2007. – 6 pages, 3 tables, 2 illustrations. – References – 4 titles.

The calculation of the non-wasted fuel cycle of the ball-poured fast reactor is presented. This fuel cycle contains two types of the reprocessing of the fuel – full and particular. By the full reprocessing pyroprocessing and other chemical operations are used. By the particular reprocessing, only physical and mechanical, and the part of the gas and flying fusion products are extracted.

УДК 621.039.543.6

The Input of an (α, n) Reaction Estimation to an Integral Neutron Intensities of WWER-1000 Spent Fuel \ I.V. Shamanin, M.E. Silaev, S.V. Bedenko, V.V. Martynov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2007. – 8 pages, 1 table, 3 illustrations. – References – 15 titles.

All nuclear processes resulting to neutron generation within a spent fuel are examined. Total neutron intensity per weight unit of WWER-1000 spent fuel caused by (α, n) reactions and spontaneous fissions of uranium and transuranium nucleus proceeding were determined. Inputs of (α, n) reactions to entire neutron intensity of WWER-1000 spent fuel was estimated according with his burn-up degree.

УДК 621.039.553.34

Analysis of Possible Types of Natural Convection Flows in a Closed Circuit \ Yu.M. Ashurko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2007. – 11 pages, 7 illustrations. – References – 5 titles.

The paper is devoted to the analysis of the possible types and mechanisms of occurrence of natural convection flows of a single-phase incompressible liquid in a closed circuit. It has been shown that alongside of a common-circuit coolant natural circulation the local closed circuits of natural circulation can exist in some parts of the circuit. The conditions of occurrence of local natural circulation of the coolant in horizontal and vertical parts of the closed circuit and principles of a superposition of the common-circuit and local natural circulation are described.

УДК 621.039.534

Experimental Research of the Processes Accompanying Emergency Receipt of Organic Connections (oil) to the Lead-Bismuth and Lead Heat-Carrier \ A.V. Beznosov, I.V. Karatushina; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2007. – 10 pages, 1 table, 6 illustrations.

Results of experimental and theoretical researches of the processes accompanying emergency receipt of organic connections – oil from the back sealing system of a shaft and circulating pumps bearings of lead-bismuth and lead heat-carrier power contours of nuclear reactors, thermonuclear reactors and accelerating-control systems are presented.

УДК 621.039.534

Results of Simultaneous Dissolution of UO_2 and ZrO_2 by Molten Zircaloy \ A.M. Svyatkin, V.V. Tikhomirov, V.V. Yakovlev, V.P. Smirnov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2007. – 10 pages, 1 table, 8 illustrations. – References – 6 titles.

Based on the experimental examination performed at RIAR rates of ZrO_2 and UO_2 dissolution by molten Zircaloy at 2100 and 2200°C were estimated. A high-temperature facility for specimen testing has been developed; experiments and post-testing examinations of the obtained compositions were carried out. The results were introduced into the experimental data array of the SVECHA calculation