

ВЫБОР ЗАПИРАЮЩЕЙ СРЕДЫ УПЛОТНЕНИЯ ВАЛА ГЛАВНЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ НАСОСОВ РУ СО СВИНЦОВЫМ И СВИНЦОВО-ВИСМУТОВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯМИ

А.В. Безносков, Э.Г. Новинский, А.В. Львов, П.А. Боков, Т.А. Бокова
*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
г. Нижний Новгород*



Рассмотрены варианты применения возможных запирающих сред (масла или воды высокой чистоты) в системе уплотнения вращающегося вала (УВВ) главных циркуляционных насосов (ГЦН) основных контуров с реакторами на быстрых нейтронах, охлаждаемых свинцовым и свинцово-висмутовым теплоносителями. Анализ проведен исходя из необходимости оптимизации параметров работы самого уплотнения и с учетом возможного воздействия запирающей среды на эксплуатационные свойства реакторного контура как при нормальной работе, так и при аварийном поступлении значительных количеств масла или конденсата воды из системы УВВ ГЦН в реакторный контур.

Ключевые слова: запирающая среда, уплотнение вала, главные циркуляционные насосы, свинцовый и свинцово-висмутовый теплоноситель.

Key words: locking medium, shaft seals, the main circulating pump, lead and lead-bismuth coolant.

ВВЕДЕНИЕ

К основным элементам реакторных контуров проектируемых в настоящее время отечественных энергоблоков с реакторами на быстрых нейтронах, охлаждаемых свинцовым и свинцово-висмутовым теплоносителями, относятся ГЦН, осуществляющие циркуляцию этих теплоносителей. Важнейшее значение для нормальной работы ГЦН и системы защитного инертного газа реакторного контура имеет надежная работа уплотнения вращающегося вала главных циркуляционных насосов. Основная функция этого конструктивного узла ГЦН – герметизация газового объема реакторного контура при работе насоса во всех режимах его эксплуатации, включая режим горячего резерва. При нарушениях нормальной работы уплотнения вала ГЦН возможно аварийное поступление значительных количеств

– радиоактивного газа, содержащего полоний и другие радионуклиды, из системы защитного газа реакторного контура в помещение;

– масла или воды из системы УВВ ГЦН в реакторный контур, что приводит к недопустимому образованию в нем примесей жидкометаллического теплоносителя.

© **А.В. Безносков, Э.Г. Новинский, А.В. Львов, П.А. Боков, Т.А. Бокова, 2013**

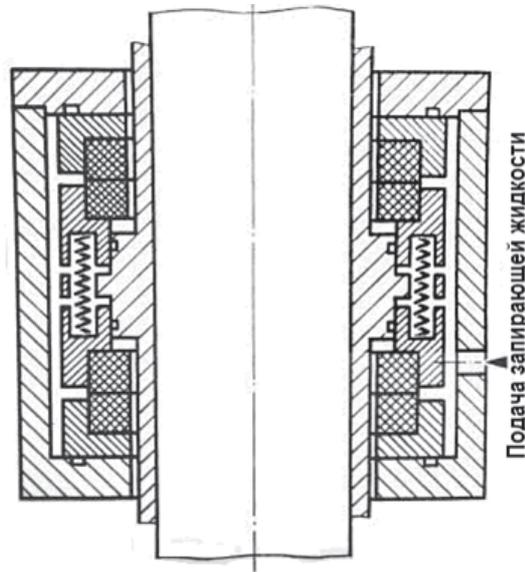


Рис. 1. Схема уплотнения вращающегося вала насоса с газовой подушкой

На рисунке 1 показана принципиальная конструктивно-компоновочная схема узла уплотнения вращающегося вала, принятая для обеспечения герметичности по валу отечественных циркуляционных насосов реакторов с жидкометаллическим теплоносителем и подушкой защитного инертного газа.

Принцип работы УВВ заключается в следующем. На валу насоса и на его корпусе устанавливаются элементы (вращающиеся и неподвижные кольца), прижимаемые торцевыми поверхностями тем или иным способом. Между рабочими поверхностями колец, выполняемых из материалов с малым коэффициентом трения, предусмотрен зазор от нескольких микрон до десятков микрон, заполненный запирающей средой, для создания в корпусе гидравлического затвора. В качестве среды возможно применение масла или воды высокой чистоты, обеспечивающих жидкостное трение контактных поверхностей и исключающих выход защитного газа реакторного контура в атмосферу или поступление кислорода воздуха в систему газа.

Замкнутая полость между контактными поверхностями соединяется с напорным бачком, заполненным запирающей жидкостью, а протечки через ее две пары трения (контурная и атмосферная) собираются в сливных бачках.

Такой тип конструкции вращающегося вала принято называть «двухступенчатым торцевым уплотнением».

ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗМОЖНЫХ ЗАПИРАЮЩИХ СРЕД

Целью работы является сравнительное исследование возможного влияния рабочих сред (масла, воды) на работу самого уплотнения и реакторного контура с учетом имеющегося опыта эксплуатации уплотнений вращающихся валов ГЦН реакторных контуров.

Традиционной средой, используемой и в настоящее время в системах уплотнений валов ГЦН отечественных реакторных контуров со свинцово-висмутовым и натриевым теплоносителями, является органическое масло (турбинное, вакуумное или др.).

К достоинствам масла как рабочей среды в системах уплотнения валов ГЦН относятся высокая вязкость, хорошая адгезия к возможным материалам кон-

тактных поверхностей, отсутствие коррозионного воздействия на материалы уплотнения, ГЦН и контура.

В процессе эксплуатации реакторной установки со свинцово-висмутовым теплоносителем АПЛ проекта 705 [1] имели место поступление масла из напорного масляного бака в реакторный контур и его контакт со свободной поверхностью теплоносителя в результате ошибочных действий эксплуатационного персонала.

Опыт эксплуатации ГЦН стационарных РУ с натриевым теплоносителем показывает, что необходимо анализировать последствия возможной аварии с поступлением среды из системы УВВ в контур, что должно быть определяющим критерием при выборе запирающей среды [3].

В НГТУ им. Р.Е. Алексеева проводились исследования процессов контактного взаимодействия масел различных марок со свинцово-висмутовым и свинцовым теплоносителями с температурой 250–450°C при подаче масла на свободные поверхности, очищенные от шлаков и покрытые слоем шлаков на основе оксида теплоносителя, а также непосредственно в его объем (под свободный уровень) [2]. Общим для всех процессов подачи масла является его термическое разложение и образование газов (водорода, метана и др.) и испарение жидкой фазы углеводородов, образующихся в процессе пиролиза масла при рабочих температурах жидкометаллического контура и конденсирующихся при нормальных условиях. Образование водорода и его газа – паровых соединений – приводило к восстановлению оксидов теплоносителя (в случае их наличия) и раскислению тяжелого жидкометаллического теплоносителя.

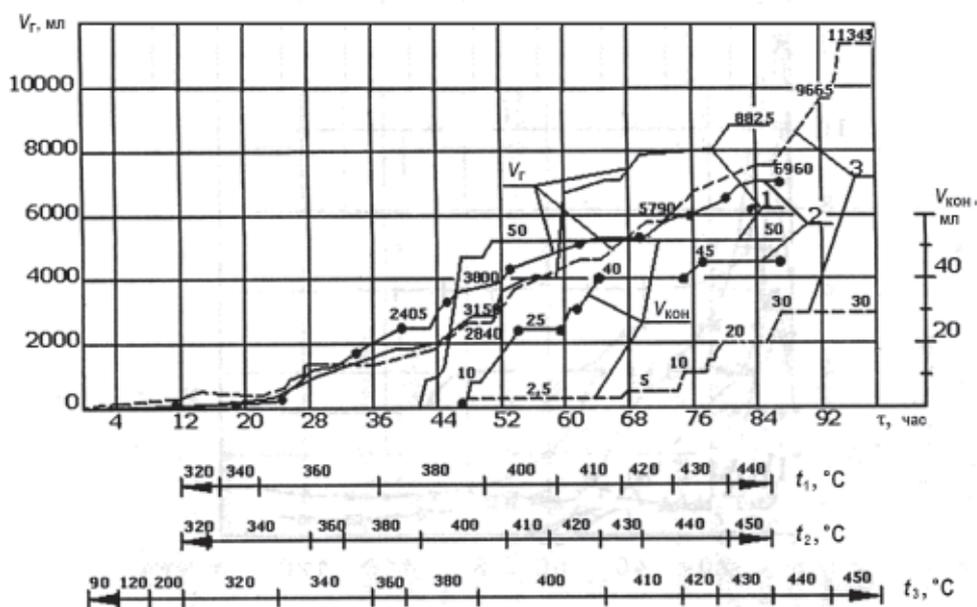


Рис. 2. Выход газообразных продуктов и конденсата при пиролизе турбинного масла: 1, t_1 – пиролиз масла АУ; 2, t_2 – пиролиз масла АУ при контакте с ТЖМТ; 3, t_3 – пиролиз масла АУ при контакте с ТЖМТ и его оксидами

Представленные на рис. 2, 3 примеры характеристик процессов термического разложения масла при взаимодействии с жидкометаллическими теплоносителями показывают, что такие процессы при рабочих температурах контуров приводят к полному разложению масел в контакте с теплоносителем. При этом не происходит образования на стальных поверхностях, контактировав-

ших с маслом под уровнем теплоносителя, каких-либо образований или углеродосодержащих отложений (нагаров или др.), негативно влияющих на работоспособность материалов контура. Зафиксировано некоторое улучшение структуры и состава защитных оксидных покрытий на стали ЭИ-852 имитатора ТВС с имитаторами твэлов, что видно из табл.1.

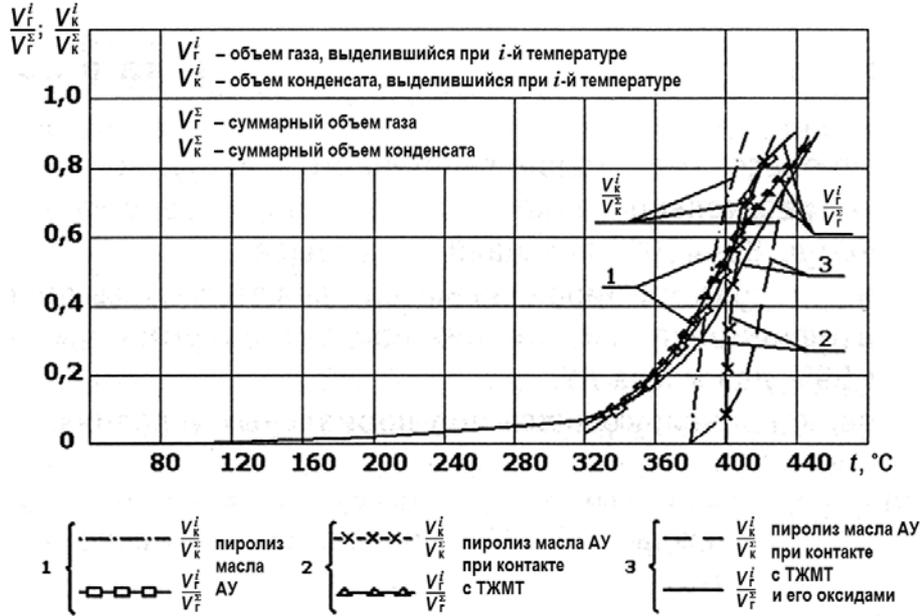


Рис. 3. Нормированный выход газообразных продуктов и конденсата при пиролизе турбинного масла (130 X 88.5)

Таблица 1

Результаты рентгенофазового анализа взаимодействия масла с эвтектикой свинец-висмут в циркуляционном контуре стенда НГТУ

Место вырезки образца на анализ	Фазовый состав (в порядке понижения интенсивности линий)
Исходное состояние (эталон)	Me ₃ O ₄ , Bi, основа (α-фаза), феррит свинца (очень слабо)
Нижний участок	Pb-Bi, основа (α-фаза), Me ₂ O ₃ (ближе к Cr ₂ O ₃), Me ₃ O ₄ (очень слабо) + неизвестная фаза (идентифицировать не удалось)
Средняя часть	Pb-Bi, Me ₃ O ₄ , Me ₂ O ₃ (ближе к Cr ₂ O ₃), основа (α-фаза), PbO (очень слабо)
Верхний участок	Pb-Bi, Me ₃ O ₄ , PbO (слабо), Me ₂ O ₃ (ближе к Cr ₂ O ₃), основа (α-фаза)

Наряду с этим фиксировался массоперенос и конденсация продуктов пиролиза масла на «холодных» поверхностях оборудования и трубопроводах системы защитного газа. Эти покрытия органическими соединениями поверхности в дальнейшем могут являться естественными фильтрами-ловушками «пылевидных» примесей (частиц оксидов теплоносителя и др.) в системе защитного газа. Локальная концентрация частиц может ухудшать радиационную обстановку вблизи таких участков.

При нормальной (не аварийной) работе системы уплотнения валов ГЦН с

использованием масла возможен массоперенос паров и капель масла за счет процессов диффузии или с потоком газа к свободной поверхности теплоносителя с последующим контактом этих сред. Критический размер капли масла, транспортируемый в любом направлении потоком газа, может быть определен из равенства

$$\rho_m g V = K_f \rho_g W^2 S / 2 ,$$

где ρ_m и ρ_g – плотности масла и газа; V – объем капли; W – скорость потока; S – площадь минимального (наибольшего) сечения капли. Для сферической формы коэффициент сопротивления K_f порядка 0,5.

Оценка величины масла, транспортируемого от уплотнения вала насоса к свободной поверхности теплоносителя реакторного контура, показывает следующее. Для условий: газ – гелий, давление – около 2 кгс/см² (ата), температура – 50°С. Масло веретенное АУ, температура – 50°С. В этих условиях зависимость возможного уноса капли радиусом r (м) от скорости W (м/с) будет составлять $r \approx 10^{-6} W^2$. Учитывая скорость газа в зазорах уплотнения и насоса, не превышающую 10⁻² м/с, быструю коагуляцию капель, термодиффузию, адгезию к элементам конструкций насоса, эффектом уноса можно пренебречь. Над свободной поверхностью масла веретенного АУ при температуре 50°С в равновесном состоянии насыщения содержится 0,4 г/м³ паров масла в газе (парциальное давление ~ 2мм рт.ст.). Принимая, что расход газа через газовую полость насоса порядка 5·10⁻³ м³ (определено для условий ГЦН транспортной РУ) и весь этот газ насыщается парами масла, получаем максимальную величину подвода масла к свободным уровням жидкометаллического теплоносителя в ГЦН порядка 10⁻² г/час. Учитывая, что практически эта величина меньше из-за «проноса» части паров и их конденсации в трубопроводах и оборудовании системы защитного газа, отмеченным эффектом также можно пренебречь.

В настоящее время отечественной промышленностью освоен выпуск торцевых уплотнений вала ГЦН, отвечающих специфическим требованиям реакторных контуров с различными жидкометаллическими теплоносителями.

Вода высокой чистоты (дистиллят) является традиционной, широко используемой средой в уплотнениях валов ГЦН реакторных установок с водяным теплоносителем (ВВЭР, РБМК) [4]. Такие уплотнения нашли применение в конструкциях насосов для исследовательских стендов со свинцово-висмутовым и свинцовым теплоносителями.

С точки зрения смазочных свойств вода имеет худшие характеристики по сравнению с маслами, однако достаточные для обеспечения работы уплотнения вращающегося вала по прямому назначению.

Поступление паров и капель воды из уплотнения вала ГЦН и их контакт со свободной поверхностью свинцового и свинцово-висмутового теплоносителей реакторного контура возможны при нормальной работе насоса за счет аналогичных описанным процессам диффузии и захвата паров и капель воды потоком защитного газа. Нельзя исключать возможность аварийного поступления конденсата из системы уплотнений вала на поверхности конструкций ГЦН и свободную поверхность теплоносителя в баке насоса.

В реакторных контурах со свинцовым и свинцово-висмутовым теплоносителями вода является «естественной» примесью. Пары воды образуются в процессе технологических обработок контура восстановительными газовыми смесями в результате реакции восстановления водородом оксидов свинца или висмута. Пары воды могут поступать в реакторный контур при обнаруживаемом месте течи пара, воды и неустраняемой межконтурной неплотности па-

рогенератора. Дополнительное поступление воды из системы уплотнения вала ГЦН в реакторный контур, вероятно, несущественно скажется на его эксплуатационных характеристиках.

В зависимости от температуры зоны контакта водяного пара и жидкометаллического теплоносителя водяной пар может быть окислителем или раскислителем теплоносителя.

С точки зрения использования в системе уплотнения вала ГЦН вода имеет меньшую вязкость и несколько худшую адгезию к контактными поверхностям уплотнения вала; по этим свойствам вода «проигрывает» маслу. Негативным результатом использования воды в системе уплотнения вращающегося вала насоса является возможность «вымывания» консистентной смазки из подшипников ГЦН, располагаемых выше свободного уровня теплоносителя. На стенде ФТ-1 НГТУ зафиксирован случай незапуска циркуляционного насоса, перекачивающего свинцово-висмутый теплоноситель, вследствие заклинивания подшипника качения, расположенного между уплотнением вала и уровнем теплоносителя. Последующая ревизия показала отсутствие консистентной смазки в подшипнике, наличие конденсата и существенное коррозионное разрушение поверхностей его элементов после длительного перерыва в работе насоса, при незакрытии арматуры от бачков с водой к уплотнению вала и нарушения периодичности подпитки подшипника насоса консистентной смазкой.

ВЫВОДЫ

1. Для обеспечения надежной работы самого уплотнения, подшипников и других элементов ГЦН предпочтительным для использования в системе уплотнения вала ГЦН является масло.

2. С точки зрения влияния на эксплуатационные характеристики контура использование в системе УВВ в качестве рабочей среды масла и воды высокой чистоты приблизительно равнозначно. В случае использования воды должно быть гарантированно недопущение вымывания консистентной смазки из подшипников ГЦН.

3. Для обеспечения пожарной безопасности ГЦН и окружающего помещения отсутствие масла является предпочтительным.

Литература

1. Безносков А.В., Драгунов Ю.Г., Рачков В.И. Тяжелые жидкометаллические теплоносители в атомной энергетике. – М.: ИздАт, 2007, 434 с.
2. Безносков А.В., Бокова Т.А. Оборудование энергетических контуров с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями в атомной энергетике: учеб. пособие / А.В. Безносков, Т.А. Бокова. Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород: 2012, 536 с.
3. Безносков А.В., Дмитриев С.М., Новинский Э.Г., Зиновьев В.Б. и др. Увеличение ресурса торцовых уплотнений. Нижний Новгород, НГТУ. Отчет по научно-исследовательской работе. Инв. №267/93 пи (02940.00.31.26), 1993.
4. Митенков Ф.М., Новинский Э.Г., Ракитин В.П., Чистяков В.Б. Разработка и внедрение высоконадежных узлов трибосопряжений для циркуляторов атомной энергетике. – М.: Тяжелое машиностроение. №9. 2004. С. 10–11.

Поступила 12.12.2012

ABSTRACTS OF THE PAPERS**УДК 621.311:621.039**

Nuclear power of direct conversion in space missions of the 21-st century \ Yarygin V.I.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) Obnibsk, 2013. 16 pages, 2 tables, 23 illustrations. References, 30 titles.

The short review of a current state of the scientific research and development activity in the field of creation of the space nuclear power plants (SNPP) submegawatt and megawatt class with thermoelectric and thermionic converters the thermal energy to electric for transport power modules and interorbital tows is submitted. The analysis of the main results received at the creation of SNPP of the first generation (SNAP-10A, BUK, TOPAZ) is carried out and the main tasks and problems of the development of SNPP of the second generation are covered.

Topical issues of the use of SNPP and nuclear power propulsion systems for space exploration and the comparison of the characteristics of SNPP of direct and machine conversion of energy are considered.

УДК 621.039

The simulation of the process of sodium freezing in the tubes for the optimization of fast breeder reactor units maintenance \ Tashlykov O.L., Naumov A.A. Sheklein S.E.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) Obnibsk, 2013. 6 pages, 5 illustrations. References, 8 titles.

The peculiarities of the repair works of the fast breeder reactor NPP sodium systems are considered. The requirements for the sodium melting exclusion inside the equipment and piping during their opening and repair are given. The results of the sodium cooling process simulation with SolidWorks software are given. The advantages of quick-mounting (quick-detachable) device for sodium freezing by works execution at radioactive sodium systems are shown.

УДК 621.039

The choice of locking medium of the shaft seal of main circulation pumps reactor facility with lead and lead-bismuth coolants \ Beznosov A.V., Novinsky E.G., Lvov A.V., Bokov P.A., Bokova T.A.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) Obnibsk, 2013. 6 pages, 1 tables, 3 illustrations. References, 4 titles.

The paper discusses possible applications of locking media: oil, or high purity water in a rotating shaft seal system main circulation pumps (MCP) of the main circuit with fast reactors cooled by lead and lead-bismuth coolant. The analysis was performed based on the need to optimize the operating parameters of the seal and bearing in mind the possible impact of the medium on the locking performance characteristics of the reactor circuit, as in normal operation and in case of emergency admission of significant amounts of oil or condensate water from the rotating shaft seal system MCP to the reactor circuit.

УДК 621.039.534

Research processes and devices hydrogen purification applied to the circulation loop with the heavy liquid metal coolants \ Ulyanov V.V., Martynov P.N., Gulevsky V.A., Fomin A.S., Teplyakov U.A.; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Hier Scools. Nuclear Power Engineering) Obnibsk, 2013. 6 pages, 4 illustrations. References, 4 titles.

The article deals with the problem of pollution circulation circuits with heavy liquid metal coolant slag deposits on the basis of lead oxide. As a solution to the above problem, the method of purification of hydrogen, comprising administering a mixture of Ar-H₂O-H₂ directly into the flow of the circulating heavy liquid metal coolant. As the device is used for hydrogen purification proposed mechanical (disk design) gas dispergator. A program of its method of testing conducted hydrogen purification circulation loop stand TT-2M with gas dispergator. Based on these results the gas dispergator can be recommended not only for research stands, but also for the first contours of promising reactors with heavy liquid metal coolant.

УДК 620.9+544(075)

The study of hydrogen generation in the interaction of aluminum with aqueous solutions \ Milinchuk V.K.,