

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВОЙ КАВИТАЦИИ В ПОТОКЕ СВИНЦОВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ИННОВАЦИОННЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

**А.В. Безносков\*, П.А. Боков\*, А.В. Львов\*, О.О. Новожилова\*,  
Э.Г. Новинский\*, В.В. Лемехов\*\***

*\*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева,  
г. Нижний Новгород*

*\*\*Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники  
им. Н.А. Доллежала, г. Москва*



Открыто и экспериментально обосновано новое физическое явление – свойство потока свинцового теплоносителя реализовывать процесс чисто газовой кавитации и невозможность процесса «традиционной» паровой кавитации. Предложена и экспериментально обоснована тремя независимыми методами модель газовой кавитации в потоке свинцового теплоносителя применительно к условиям реакторного контура. Доказано, что традиционная паровая (парогазовая) кавитация в потоке свинцового теплоносителя невозможна. Экспериментально определены условия возникновения и основные характеристики газовой кавитации. Экспериментально доказано отсутствие кавитационного эрозионного износа рабочего колеса циркуляционного насоса из стали 08Х18Н10Т с оксидным покрытием в свинцовом теплоносителе при температуре 470–500°C, скорости потока свинца ~10 м/с, числе оборотов насоса до 1200 об/мин. Работа в режиме развитой газовой кавитации продолжается в течение ~50-ти часов, из которых 17 часов – провоцирующие динамические испытания с циклическим развитием кавитации, срывом подачи, последующим возобновлением подачи и развитием кавитации с периодом цикла 3–5 с (всего более 15000 циклов).

**Ключевые слова:** свинцовый теплоноситель, пристенный слой, оксидные покрытия, метод экспресс-замораживания, нерастворенные примеси, отложения примесей, микротвердость, шероховатость.

**Key words:** lead coolant boundary layer, oxide coating, the method of rapid freezing, insoluble impurities, deposition of impurities, microhardness, surface roughness.

© А.В. Безносков, П.А. Боков, А.В. Львов, О.О. Новожилова, Э.Г. Новинский, В.В. Лемехов, 2012

## ВВЕДЕНИЕ

Специфические свойства свинцового теплоносителя инновационных реакторов на быстрых нейтронах (низкое давление насыщенных паров, значительное поверхностное натяжение, высокая температура кипения – более 1700°C, значительная плотность ~10 кг/дм<sup>3</sup> и др.) и предварительные эксперименты позволили обосновать предположение о невозможности возникновения традиционной паровой кавитации в потоке свинцового теплоносителя [1]. Открытие нового, неизвестного ранее, свойства свинцового теплоносителя – невозможность традиционной паровой кавитации и возможность возникновения чисто газовой кавитации – имеет важное практическое значение для создания обоснованных конструкций проточных частей главных циркуляционных насосов реакторных контуров и других конструкций.

В существующих методиках расчета кавитационных и других характеристик насосов используются полуэмпирические выражения с коэффициентами, определенными в результате экспериментов на воде. Значительная разница в физических свойствах воды и свинца делает недопустимым использование существующих методик для проектирования главных циркуляционных насосов реакторных контуров со свинцовым теплоносителем. Эта положение подтверждается опытом создания главных циркуляционных насосов РУ со свинец-висмутовым теплоносителем АПЛ проекта 705 и 705 К. После расчета рабочих колес по существующим расчетным методикам и успешной проверки их кавитационных характеристик на воде (с использованием лакокрасочных покрытий) при последующих испытаниях этих проточных частей в эвтектике свинец-висмут при температуре 260–270°C фиксировалось лавинное разрушение рабочих колес насосов с образованием сквозных отверстий в лопатках в течение первых нескольких часов. Причиной разрушения была не кавитация (как предполагалось), а другое специфическое свойство тяжелых жидкометаллических теплоносителей, обусловленное несмачиванием ими стенок каналов.

Целью работ, проводимых в Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева (НГТУ), является разработка на основании научно-технических исследований методики расчета циркуляционных насосов и рекомендаций по их оптимальным конструкциям, учитывающих специфику свинцового теплоносителя.

Предложено при расчетах насоса выделять отдельно кавитационные характеристики теплоносителя, трассы подвода теплоносителя от свободного уровня к насосу и характеристики самого насоса. Последние зависят от конструкции насоса и, вероятно, должны определяться экспериментально. Характеристики трассы подвода могут быть рассчитаны достаточно просто и точно до момента наступления газовой кавитации (для однокомпонентного потока свинца). В задачи исследования входило экспериментальное определение условий возникновения и характеристик газовой кавитации в высокотемпературном потоке свинца (470–500°C) и работоспособности в среде свинцового теплоносителя рабочего колеса насоса из стали 08X18H10T при температуре 470 – 500°C, скорости потока свинца в насосе до 10 м/с и числе оборотов насоса до 1200 об/мин, в том числе и в длительном режиме газовой кавитации.

## ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА

Исследования проводились на циркуляционном стенде с высокотемпературным свинцовым теплоносителем ФТ-3 НГТУ (рис. 1). В состав стенда входят контур свинцового теплоносителя; система защитного газа; система охлаждения оборудова-

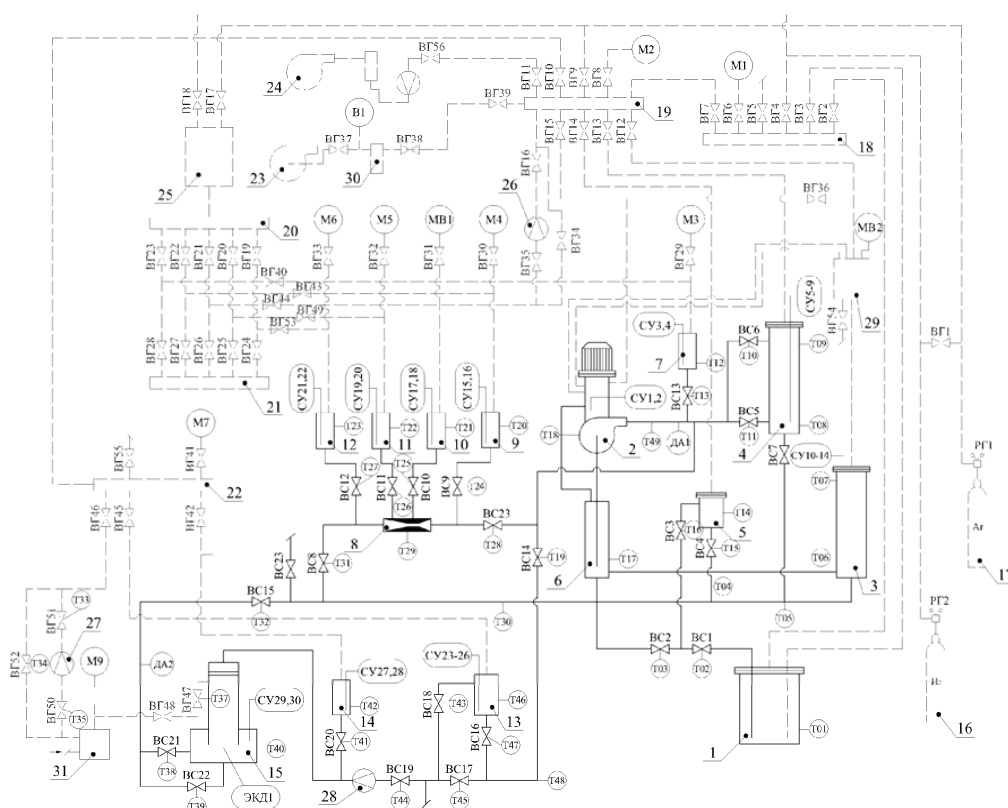


Рис. 1. Схема экспериментального стенда ФТ-3 с центробежным насосом: 1 – бак плавильный; 2 – насос жидкометаллический; 3 – емкость сливная; 4 – емкость напорная; 5 – фильтр; 6 – патрубок всасывания; 7 – бачок отжимной насоса; 8 – эжектор; 9 – бачок отжимной входа в эжектор; 10, 11 – бачки отжимные эжектора; 12 – бачок отжимной выхода из эжектора; 13 – расходомерная емкость; 14 – бачок отжимной газового массообменника; 15 – газовый массообменник; 16 – баллон водородный; 17 – баллон аргоновый; 18 – коллектор высокого давления; 19 – коллектор низкого давления; 20 – коллектор высокого давления бачков отжимных эжектора; 21 – коллектор низкого давления бачков отжимных эжектора; 22 – газовый коллектор массообменника газового; 23 – вакуумный насос; 24 – компрессор; 25 – емкость газовая аккумулирующая; 26 – расходомер газовый; 27 – расходомер газовый массообменника газового; 28 – магнитный расходомер; 29 – холодильник; 30 – ловушка; 31 – увлажнитель

ния; электроэнергетическая система; компьютеризированная система сбора, обработки и представления информации; система управления, регулирования и защиты.

Основные характеристики стенда: масса свинца –  $2 \cdot 10^3$  кг; подача насоса (средняя) – до  $6 \cdot 10^4$  кг/ч; напор насоса – до  $5$  кгс/см<sup>2</sup>; давление в системе защитного газа – до  $5$  кгс/см<sup>2</sup>; газ – аргон, водород, аргоноводородная смесь, гелий; рабочая температура свинцового теплоносителя – до  $550^\circ\text{C}$ .

В состав контура свинцового теплоносителя наряду с подсистемой заполнения, очистки и дренирования свинца из контура входят (см. рис. 1) петли для

- определения кавитационных характеристик насоса;
- определения характеристик соплового (эжекционного) устройства;
- обеспечения коррозионной стойкости проточной части насоса и очистки теплоносителя от оксидов (регулирования качества теплоносителя и его очистки) с использованием газового массообменника.

Трубопроводы и оборудование контура свинцового теплоносителя выполнены из стали типа 08Х18Н10Т и имеют спиральный электрообогрев из нихромовой проволоки и теплоизоляцию.

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Определение кавитационных характеристик свинцового теплоносителя при условиях, моделирующих режим работы реакторных контуров (РУ) типа БРЕСТ, выполнялось тремя независимыми методами.

- Первый метод заключается в определении максимальной высоты всасывания  $H_s^{\max}$  и критического давления  $P_{кр}$  в момент прекращения подачи свинца насосом из сливной (нижней) емкости в напорную (верхнюю) вследствие возникновения развитой газовой кавитации в проточной части насоса (рис. 2).

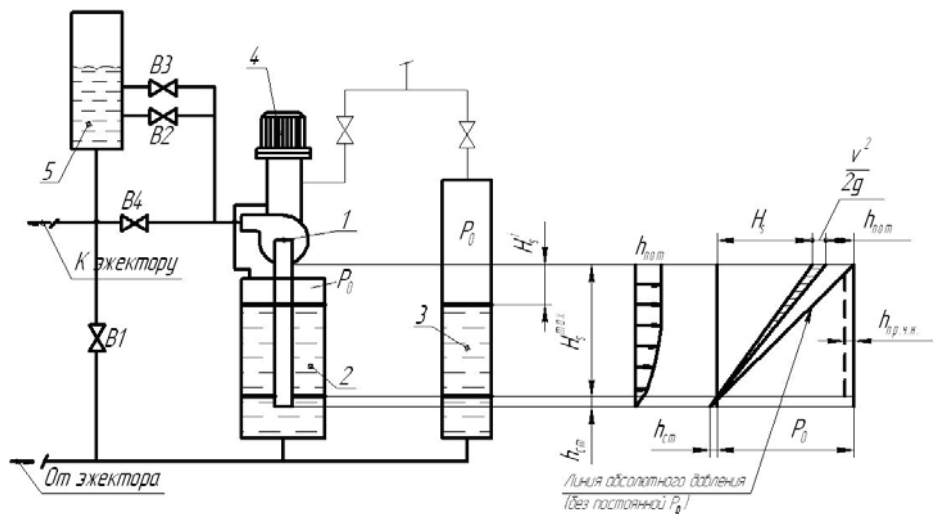


Рис. 2. Изменение давления в различных элементах всасывающего трубопровода центробежного насоса при испытаниях согласно первому методу: 1 – жидкометаллический центробежный циркуляционный насос; 2 – всасывающий патрубок насоса; 3 – емкость сливная; 4 – электродвигатель; 5 – емкость напорная

- Второй метод заключается в создании разрежения в системе газа над свободным уровнем теплоносителя (вакуумирования газового объема) в контуре при работе насоса по трассе напорный патрубок насоса-напорная (верхняя) емкость-труба с вентилем В1-сливная (нижняя) емкость-всасывающий патрубок насоса-проточная часть насоса-напорный патрубок насоса. Наступление газовой кавитации фиксировалось по уменьшению массовой подачи теплоносителя насосом и нагрузки электродвигателя насоса в зависимости от абсолютного давления (разрежения) на входе в насос. Для обеспечения проведения испытаний при меньшем разрежении в газовой системе контура и, соответственно, при меньшей величине подсоса воздуха через сальниковое уплотнение вращающегося вала насоса перед началом испытаний устанавливалось и поддерживалось пониженное давление на входе в насос путем снижения уровня свинца в сливной (нижней) емкости и всасывающем патрубке насоса. В результате этих испытаний определялось критическое давление на входе в насос, при котором возникала развитая газовая кавитация.

- Третий метод заключался в определении характеристики газовой кавитации – критического давления в суженной части соплового устройства, соответствующей

щего резкому возрастанию и стабилизации перепада давления на сопловом устройстве, существенному увеличению его гидравлического сопротивления.

• Сущность регулирования окислительного потенциала свинцового теплоносителя и, соответственно, формирования и доформирования защитных оксидных покрытий на поверхностях проточной части насоса заключалась в организации струй свинца, падающих на его свободную поверхность в объеме рабочей камеры, содержащей окислительную или восстановительную газовую смесь. При падении струй теплоносителя в его объем захватываются газовые пузырьки широкого диапазона размеров от долей микрометров до миллиметров. Более крупные пузыри (несколько миллиметров) агломерируют, всплывают на свободную поверхность свинца, где сепарируются. Мелкие пузыри захватываются потоком свинца, и при дальнейшем движении по контуру газовая (газопаровая) фаза (окислительная или восстановительная) химически взаимодействует с теплоносителем, с примесями, содержащимися в нем, и изменяют окислительный потенциал свинцового теплоносителя. При «встрече» с твердой фазой оксидов свинца в потоке или в пристенной области восстановительная (водородосодержащая) газовая или парогазовая смесь взаимодействует с образованием паров воды и «чистого» теплоносителя. Контроль за ходом процесса осуществляется датчиками термодинамической активности кислорода в свинце поставки ГНЦ РФ-ФЭИ.

### **ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

На первом этапе испытаний определены максимальная высота всасывания свинцового теплоносителя  $H_5^{\max}$  (рис. 3), косвенно характеризующая его основную характеристику – критическую величину давления газовой кавитации, и характер изменения нагрузки электродвигателя насоса в момент возникновения кавитации (рис. 4), а также другие характеристики газовой кавитации в свинцовом теплоносителе при температуре 450–500°C и наличии частиц примесей в его потоке (влияние давления в контуре и др.).

На втором этапе испытаний обнаружено, что при уменьшении давления во входном патрубке насоса и наступлении газовой кавитации подача насоса не прекращается (насос не «срывает»). В режиме кавитации уменьшается массовая подача свинца насосом, его напор и, соответственно, нагрузка на электродвигателе (рис. 5), однако она заметно превышает нагрузку холостого хода с вращением колеса в газовом объеме. Определена величина критического давления процесса развития газовой кавитации.

На третьем этапе испытаний определены условия (расход свинцового теплоносителя, средняя скорость потока и давление в суженной части сопла) возникновения и развития газовой кавитации при температуре 450–500°C (рис. 6), сопровождающейся резким возрастанием гидравлического сопротивления соплового устройства. Независимо от этих испытаний обнаружено, что эжекция газа из газовой системы контура потоком свинца с поступлением газа в суженную часть сопла с его расходом до ~10% объемн. практически не приводит к существенному увеличению гидравлического сопротивления соплового устройства (при прочих равных условиях).

Определенные тремя независимыми способами кавитационные характеристики свинцового теплоносителя близки друг другу.

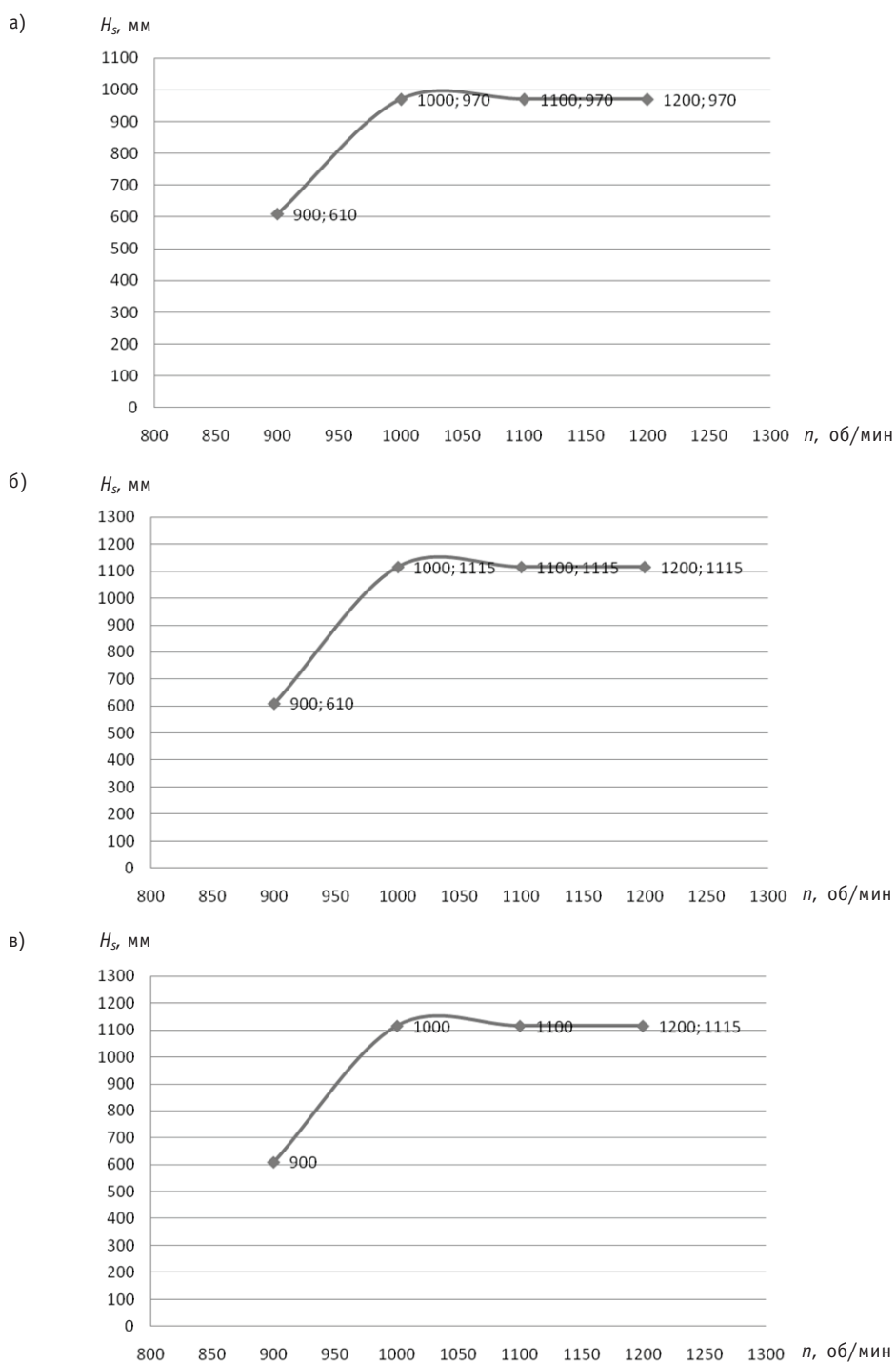


Рис. 3. Зависимость максимальной высоты всасывания  $H_s^{\max}$  от числа оборотов насоса при различных давлениях в газовой системе: а) без избыточного давления газа в системе  $P_r = 0,0$  кгс/см<sup>2</sup>(ата); б) избыточное давления газа в системе  $P_r = 0,3$  кгс/см<sup>2</sup>(ата); в) избыточное давление газа в системе  $P_r = 0,5$  кгс/см<sup>2</sup>(ата)

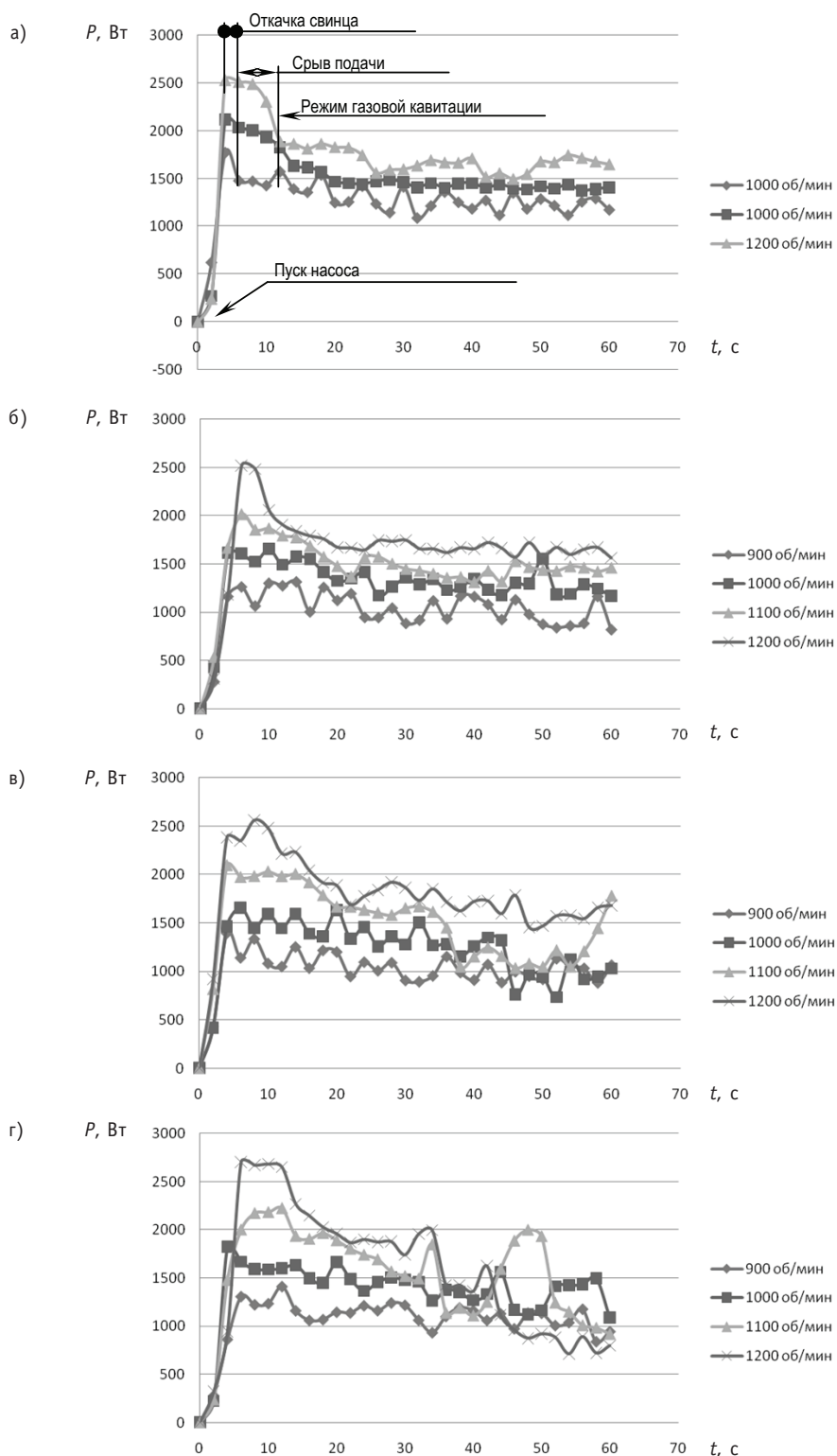


Рис. 4. Изменение нагрузки электродвигателя насоса во времени при испытаниях по первому методу: а) без избыточного давления; б) с избыточным давлением в контуре 0,1 атм; в) с избыточным давлением в контуре 0,3 атм; г) с избыточным давлением в контуре 0,5 атм

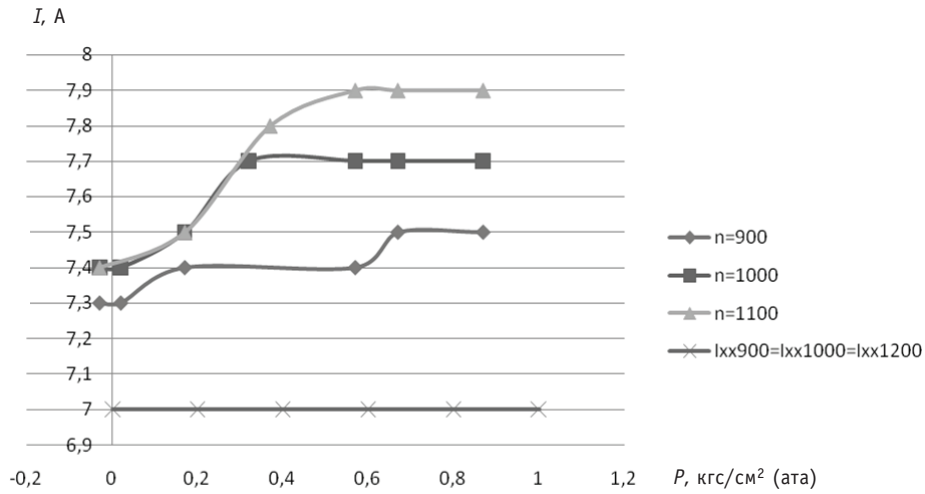


Рис. 5. Зависимость нагрузки на электродвигателе от давления на входе в рабочее колесо

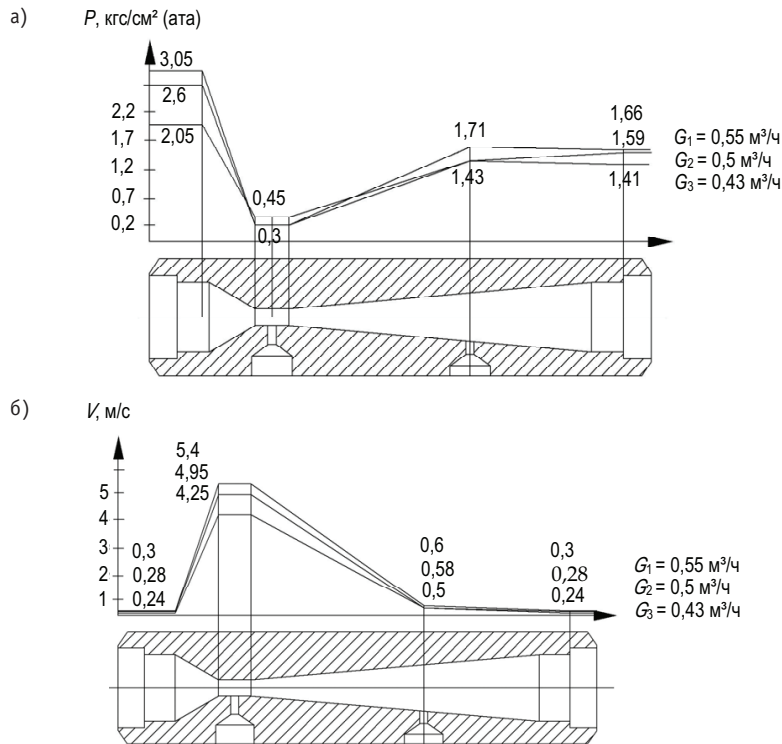


Рис. 6. График зависимости среднего давления в потоке свинцового теплоносителя (а) и средней скорости потока (б) по длине сопла при  $G_1 = 0,55 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $G_2 = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $G_3 = 0,43 \text{ м}^3/\text{с}$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Открыто и экспериментально обосновано новое физическое явление – неизвестное ранее свойство свинцового теплоносителя – невозможность возникновения традиционной паровой (парогазовой) кавитации в условиях РУ. Специфическим свойством свинцового теплоносителя является наличие в его потоке микрообъемов газа (газопаровой смеси), которые в проточных каналах ГЦН и



других элементов реакторного контура в областях с пониженным давлением образуют двухкомпонентный поток теплоноситель-газ.

2. Определены условия возникновения и характеристики газовой кавитации в проточных частях циркуляционных насосов, перекачивающих высокотемпературный свинцовый теплоноситель. Независимыми способами доказано, что газовая кавитация при температуре свинцового теплоносителя 450–550°C начинается при локальном значении абсолютного давления в потоке 0,4–0,2 кгс/см<sup>2</sup> (ата) и интенсивно развивается при 0,0–0,2 кгс/см<sup>2</sup> (ата). Возможно возникновение отрицательных разрывных напряжений. Момент начала наступления газовой кавитации зависит от содержания дисперсных частиц примесей, их образований и газовых пузырьков в потоке свинцового теплоносителя. Возникновение и развитие газовой кавитации и формирование двухкомпонентного потока в лопастном насосе приводит к снижению его напора (в условиях экспериментов примерно до 80% от исходного), подачи (в условиях экспериментов примерно до 80% от исходной) и, соответственно, мощности электродвигателя (в условиях экспериментов до ~ 50–60% от исходной) вследствие больших диссипативных потерь в двухкомпонентном потоке по сравнению с однокомпонентным.

При сохранении в трассе на напоре насоса исходного противодавления насос прекращает подачу перекачиваемой среды. При соответствующем уменьшении противодавления подача возобновляется с уменьшенным расходом. «Срыва» насоса с работой колеса насоса в газовой (парогазовой) среде, как в водяном насосе, не происходит, мощность его привода не уменьшается до мощности потерь, как в водяном насосе.

3. Экспериментально установлено, что при работе насоса в режиме газовой кавитации в течение нескольких десятков часов отсутствуют следы эрозионного износа на поверхностях проточных каналов насоса из аустенитной хромоникелевой стали типа 08X18H10T при температуре перекачиваемого свинца 450 – 500°C и наличии на них заранее сформированных по специальной технологии оксидных защитных покрытий.

4. Предложено при расчете проточной части лопастного насоса отдельно выделять кавитационные характеристики свинцового теплоносителя, кавитационные свойства конкретной конструкции самого насоса (или его типа) и характеристики трассы всасывающей линии насоса. Экспериментально определенная величина максимальной высоты всасывания  $H_s$  составляет не менее 1000 мм (для условий ГЦН РУ типа БРЕСТ). Экспериментально определенная величина критического давления развитой газовой кавитации при тех же условиях составляет около 200 мм столба свинца и менее, вплоть до отрицательных величин давления (усилий растяжения, разрыва в потоке).

5. Специфической особенностью свинцового теплоносителя в условиях РУ является несмачивание им оксидированных стенок конструкций контура. На поверхности теплоносителя, контактирующего со стенкой, образуется внешний слой, обладающий характерными поверхностными свойствами. На поверхности этого слоя и вблизи него могут находиться дисперсные частицы примесей и их конгломераты, пропитанные теплоносителем. При локальном понижении давления в пристенной области вследствие локальной гидродинамики потока и (или) других причин возможен «отход» локального участка жидкого металла от твердого металла стенки. При дальнейшем перемещении в область более высокого давления в потоке может формироваться профиль локальных скоростей со значительными нормальными к стенкам скоростями. При ускоренном движении таких участков потока под их воздействием может происходить эрозионное разрушение поверх-

ности стенок канала. Проектанты ГЦН РУ АПЛ проектов 705 и 705 К считали это явление кавитацией. Однако причины возникновения такого явления другие, механизм процесса – другой и оптимальные методы борьбы с ним также другие. Прежде всего это изменение геометрии проточной части, исключение «отрыва» потока от стенки, а если это невозможно, то формирование профиля скорости на локальных участках «возврата» потока к стенке с минимальными значениями составляющих скоростей, нормальных к стенке канала.

**Работа проводилась в рамках ФЦП «Ядерные энерготехнологии нового поколения на период 2010–2015 гг. и на перспективу до 2020 г.», а также в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.**

### **Литература**

1. Безносов А.В., Антоненков М.А., Боков П.А. и др. Специфика циркуляционных насосов реакторных контуров со свинцовым и свинец-висмутовым теплоносителями // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2009. – № 4. – С. 155-161.

Поступила в редакцию 6.02.2012

**УДК 621.039.586**

*Innovative Ultrasonic Technology to Improve the Life of NPP Equipment at its Manufacturing* \A.I. Trofimov, S.I. Minin, M.A. Trofimov, Y.A. Kirillov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 7 pages, 11 illustrations. – References, 2 titles.

Provides a theoretical and experimental justification for the effects of ultrasound on the welds during welding equipment of nuclear power plants. As a result of exposure to ultrasound metal structure welding seam is fine-grained and homogeneous, excludes internal voltage in metal, is removal of residual stresses in in parajoint zone. This leads to a significant increase in strength characteristics and resource equipment of nuclear power stations. Impact of ultrasound technology are in the process of welding and surfacing.

**УДК 621.039.586: 531.78.781**

*To Definition of the Tension of Metal Elements of the Power Equipment of the Nuclear Power Plants Acoustic Method* \V.V. Hudasko, A.I. Trofimov, S.A. Kurkin, V.G. Malynkin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 10 pages, 3 tables, 2 illustrations. – References, 18 titles.

In work the new acoustic method of definition of a tension of metal of elements of the equipment of the nuclear power plant is presented: based on effect акустоупругости; I consider-shchy deformation of microplatforms and micropieces; using more exact, than sushchest-vuet a method of definition of modules of the third order. This method allows to raise accuracy of measurement of a tension of metal of elements of the equipment of the atomic power.

**УДК 621.039.58: 519.23/25**

*A Method for Detecting Failure Data Flow Heterogeneity of Nuclear Power Plant Equipment in Failure Flow* \V.A. Chepurko, S.V. Chepurko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 9 pages, 5 tables, 2 illustrations. – References, 14 titles.

Describes the methodology that allows to evaluate the non-homogeneity parameter flow of failures of NPP equipment. Along with the point estimate of the reliability index, an algorithm of constructing its interval estimate allows you to check the statistical significance of hypotheses about the parameter. Algorithm is described in detail the decision criterion with a prescribed level of significance. Analyzed a number of test cases. To detect heterogeneity, processed real data on failures of recharge and boron control NPP VVER-1000 5 unit Novovoronezh.

**УДК 532.526.4: 621.039.534**

*Validation of the Volume Flow Rate Measurements of RBMK Technological Channels Obtained with the «Shadr-32M» Flowmeter* \E.F. Avdeev, V.I. Belozarov, A.Ya. Ustyuzhanin, V.V. Maximovsky, N.D. Rasenkov, N.E. Yushenko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 6 pages, 1 table, 2 illustrations. – References, 6 titles.

The experimental data are processed for a set of «Shadr-32M» flowmeters used at Kursk NPP. The data are obtained for different coolant temperatures. The work is done to obtain a correlation between the measured flow rate and the actual one.

**УДК 621.039.53**

*Optimization of the Welding Process Equipment and Piping Plant by Modeling of Welded Joints* \A.I. Trofimov, S.I. Minin, M.A. Trofimov, D.A. Egorov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 5 pages, 6 illustrations. – References, 1 title.

Presented by the simulation of the thermal cycle of welding process on the example program SYSWELD. Modelling to optimize the welding process, including taking into account the effects of ultrasound, which will increase the strength properties of welded joints of NPP equipment.

**УДК 621.039.534**

*Experimental Study of the Origin and Characteristics of Gas Flow in Cavitation Lead Coolant Innovative Nuclear Fast Reactor* \A.V. Beznosov, P.A. Bokov, A.V. Lvov, O.O. Novozhilova, E.G. Novinsky, V.V. Lemekhov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 10 pages, 6 illustrations. – References, 1 title.

Open and experimentally justified a new physical phenomenon – a property of the flow of coolant lead – the process of implementing a purely gaseous cavitation process and the impossibility of ‘traditional’ vapor cavitation. Proposed and experimentally substantiated by three independent methods of model cavitation in the flow of gas coolant lead to the conditions of the reactor circuit. It is proved that the traditional steam (steam and gas), cavitation in the flow of coolant can not lead. The experimentally determined conditions for the appearance and characteristics of gas cavitation. Experimentally proved the absence of cavitation erosion wear of the impeller pump made of steel with an oxide-coated in lead coolant temperature 470–500°C, flow rate of lead approx. 10 m/s, the pump speed to 1200 rpm. When operating in a developed cavitation gas approx. 50 hours including 17 hours in provoking dynamic tests with the cyclical development of cavitation breakdown of filing, followed by the resumption of feeding, and development of cavitation cycle with a period of 3–5 seconds (a total of more than 15000 cycles).

**УДК 621.039.5: 536.24.08**

*Subchannel Thermohydraulic Calculations for Fuel Subassembly of Reactor Core on Supercritical Water* | K.V. Kartashov, G.P. Bogoslovskaya; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 7 pages, 2 tables, 8 illustrations. – References, 5 titles.

Results of thermohydraulic calculations with subchannel codes SUP and MIF-SKD are presented in the paper. Code SUP allows the thermohydraulic parameters of the part of reactor core to be estimated. Input neutron-physical parameters are calculated with code ACADEM. Code MIF-SKD gives us possibility to predict local thermohydraulic parameters in separate fuel subassembly. The code has been verified on the data gained in experiments on water in round tube and on freon in pin bundle.

Thermohydraulic parameters of the part of reactor core and fuel subassembly of VVER-SKD by the power 1700 MW for different coolant flows within reactor core (one- and double-thread) are presented here.

**УДК 621.039.548**

*Random Hydrodynamic Loads and the Vibration of Fuel Elements in the Turbulent Coolant Flow in WWER Fuel Assembly* | V.V. Perevezentsev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 10 pages, 8 illustrations. – References, 8 titles.

Annotation on the basis of the multimeterings of pressure fluctuations on the perimeter of the fuel elements beam of the of full-scale mock-up fuel assembly WWER-440 of the second generation are obtained the realizations of the random hydrodynamic loads, which cause the vibrations of beam. It is established that in the region of initial hydrodynamic section near the lower supporting lattice. essential influence on the random hydrodynamic loads render the hydrodynamic conditions for shaping of the structure of flow at the entrance. Choke washers create the vortex structure of flow with the high levels of pulsating energy, which leads to the high intensities of vibrations in the initial hydrodynamic section. In the region of steady flow the levels of random hydrodynamic loads are reduced and to a lesser degree they depend on hydrodynamic entrance conditions. The generalizing empirical dependence of vibration movements on the random hydrodynamic loads are obtained. Two characteristic regions of the influence of random hydrodynamic loads on the vibration movements are discovered. With the values of random hydrodynamic loads of more than 80 N/m is observed a considerable increase in the intensity of vibrations, which is explained by the slippage of fuel element in the cell of the spacing lattice.

**УДК 621.039.548**

*Examination of Heat Transfer in Ceramic Fuel Elements at Variable Thermal Loadings* | V.V. Popov, V.N. Rumyantsev, I.S. Kurina, M.V. Mikheev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 10 pages, 1 table, 8 illustrations. – References, 18 titles.

The technique of measurement, under laboratory conditions, of contact pressure and heat conductance from UO<sub>2</sub> fuel pellets to fuel cladding at power variation is described. As has been shown, from the moment as a certain level of power is achieved, fuel sleeves go on cracking, so the radial gap between their fragments and cladding is being reduced up to the mechanical contact of sleeve fragments to cladding, and the contact pressure increases with the growth of level and amount of power variation cycles. The results of the analysis of computational models for heat transfer from fuel to cladding are also presented and discussed.