

УДК 621.039:621.311

Дерев'янка Ольга Володимирівна, асп.

Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна, ov_derevyanko@mail.ru**БЕЗЛОПАТЕВА ДЕЗДИСКОВА ТУРБИНА ЯК КОМПОНЕНТ СИСТЕМИ АВАРІЙНОГО ПІДЖИВЛЕННЯ ЕНЕРГООБЛАДНАННЯ**

Розглянуто додаткові можливості підвищення надійності діючих енергоблоків атомних електростанцій за допомогою впровадження альтернативних і додаткових систем підживлення тепломасообмінного обладнання при виникненні дефіциту водного середовища в аварійних і предаварійних режимах. Запропоновано використання в складі комбінованого турбоприводу насосного агрегату підживлення нового конструктивного компонента – бездискової безлопатевої турбіни тертя спірального типу.

Ключові слова: аварійне підживлення, комбінований турбопривід, бездискова безлопатева турбіна, атомні електростанції.

УДК 621.039:621.311

Дерев'янка Ольга Владимировна, асп.

Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина. ov_derevyanko@mail.ru**БЕЗЛОПАСТНАЯ ДЕЗДИСКОВАЯ ТУРБИНА КАК КОМПОНЕНТ СИСТЕМЫ АВАРИЙНОЙ ПОДПИТКИ ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ**

Рассмотрены дополнительные возможности повышения надежности действующих энергоблоков атомных электростанций посредством внедрения альтернативных и дополнительных систем подпитки тепломассообменного оборудования при возникновении дефицита водной среды в аварийных и предаварийных режимах. Предложено использование в составе комбинированного турбопривода насосного агрегата подпитки нового конструктивного компонента – бездисковой безлопастной турбины трения спирального типа.

Ключевые слова: аварийная подпитка, комбинированный турбопривод, бездисковая безлопастная турбина, атомные электростанции.

UDK 621.039:621.311

Derevyanko Olga Vladimirovna, Ph.D. student

Odessa national polytechnic university, Odessa, Ukraine. ov_derevyanko@mail.ru**BLADELESS AND DISKLESS TURBINE AS A COMPONENT UNIT OF EMERGENCY WATER FEEDING SYSTEM TO POWER EQUIPMENT**

As part of the complex problem of improving the reliability of the main technological equipment for nuclear power plants, provided that their functional and economic efficiency shows the solution practically important problem of improving the reliability of the emergency feed water heat exchange media in equipment. It is considered alternative and complementary feeding system, which is based on the idea of steam use of steam generators as motor power combined turbine drive pump unit, the feed water supply in the equipment which needs replenishing water loss. Proposed to use in the composition of the combined turbine drive new constructive component - diskless bladeless turbines with friction spiral type. Improving the efficiency of the device is ensured by the turbopump assembly constructive opportunities unstressed movement of the working body in the running part of the impeller and the turbine rotor, as a consequence, increase its intake capacity. The design of the proposed combined turbine drive should provide energy not only improve the reliability of nuclear power plant's units, but also can promote their safety.

Keywords: emergency feeding, combined turbine drive, diskless bladeless turbine, nuclear power plants.

Постановка проблеми

Важной комплексной проблемой, связанной с дальнейшим успешным развитием энергетической отрасли Украины, остается повышение надежности основных технологических систем крупных электростанций при условии обеспечения их функциональной и экономической эффективности [1–4]. В первую очередь эта проблема актуальна для ядерных энергетических установок (ЯЭУ), работающих в составе энергоблоков действующих атомных электрических станций (АЭС), поскольку надежность основного технологического оборудования ЯЭУ является фактором обеспечения ядерной и радиационной безопасности АЭС [5–7]. Эта проблема имеет непосредственное отношение к важной практической задаче повышения надежности систем аварийной подачи водных сред

в теплообменное оборудование [8, 9]. Эта задача связана с необходимостью разработки дополнительных и альтернативных технических решений, позволяющих эффективно обеспечивать надежный теплосъем в основном оборудовании энергоблоков в любых условиях – вплоть до аварийных условий с полным или частичным обесточиванием электроприводов насосных агрегатов [10]. В рамках указанной задачи сформировалось научно-техническое направление, в котором ведутся соответствующие исследования и разработки.

Наряду со штатными системами подпитки водных сред на АЭС, которые ориентированы на использование электромеханических насосов, другим техническим средством может являться специализированная паротурбинная установка, однако возможности применения традиционных лопаточных турбины, широко используемых в энергетическом машиностроении, в таком случае ограничены качеством пара, степень влажности которого не может быть выше допустимой, а применение дисковых турбин трения оказалось непродуктивным.

Анализ последних исследований и опубликованных работ показал, что основным принципом создания необходимых технических систем должен быть принцип комбинирования лопаточной турбины и турбины трения в едином корпусе, но выполненные на основе этого принципа разработки, положившие начало решению сформулированной выше задачи, пока не позволили достичь желаемого уровня эффективности, отвечающего степени важности проблемы.

Так, в последние годы в качестве турбопривода подпиточного насосного агрегата рассматривалась возможность применения устройства, представляющего собой комбинацию двух разнородных турбин, включенных последовательно: турбины трения и осевой лопаточной турбины [11]. Такой технический тандем интересен тем, что позволяет в качестве рабочего тела использовать собственный пар технологического оборудования без его предварительной сепарации – например, пар из парогенератора, находящегося в режиме нормальной эксплуатации. Более того, конструктивные особенности первой составляющей агрегата – турбины трения – позволяют использовать в качестве движителя ротора турбины не только пар любой кондиции, но и двухфазный поток, что – при технической организации подачи в турбопривод рабочего тела – освобождает от необходимости поддерживать паропроводы в «горячем резерве» с постоянным отводом влаги и заботиться о сепарации пара. При этом до сих пор в качестве турбины трения в комбинированном турбоприводе насосного агрегата подпитки рассматривалась исключительно дисковая турбина Теслы (заявка на выдачу патента на полезную модель U2014 02481 авторов А. В. Королёва, О. В. Деревянко с приоритетом от 12.03.2014). Когда стало понятно, что подобного рода техническое решение не является единственно возможным и наиболее эффективным, была поставлена цель: разработать альтернативную конструкцию турбины трения как компонента композиционного турбопривода насоса подпитки. Эта цель была сформулирована как задача, решению которой посвящена данная статья.

Для достижения поставленной цели были изучены возможности использования в составе комбинированного турбопривода (в качестве первой ступени турбоагрегата) нового конструктивного компонента – бездисковой безлопастной турбины трения спирального типа. Схематический эскиз, относящийся к пояснению существа этой конструкции привода, представлен на рис. 1.

Схема конструкции первой ступени, ротор которой представляет собой спиралевидное рабочее колесо, закрепленное на трубчатом вале, а статор которой – корпус с круговой цилиндрической камерой, отдельно показана на рис. 2.

Главным полезным эффектом, на получение которого рассчитано предлагаемое техническое решение, является повышение надежности устройства турбонасосного агрегата благодаря конструктивному обеспечению возможности безударного движения рабочего тела в проточной части рабочего колеса ротора турбины и увеличение ее приемистости. Если в дисковой турбине трения эти эффекты достигаются лишь частично вследствие

самоорганизованного движения рабочего тела (преимущественно по спирали), то в турбине со спиралевидным ротором гарантией безударности движения рабочего тела и эффективности работы устройства служит оптимизированный профиль принудительно организованной проточной части, не оставляющей возможности отклонения потока рабочего тела от конструктивно заданной траектории.

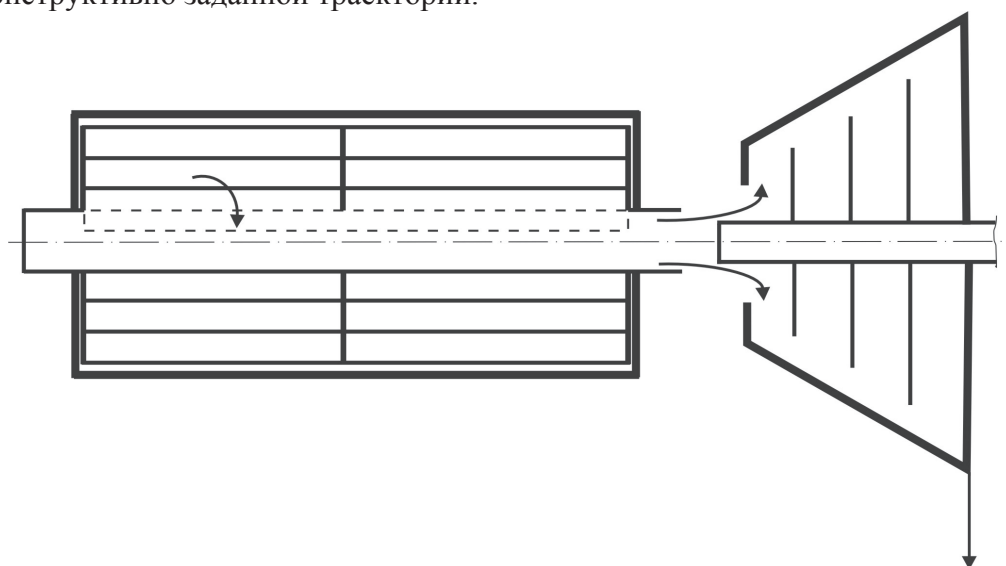


Рис. 1. Конструкционная схема комбинированного турбопривода с безлопастной турбиной трения

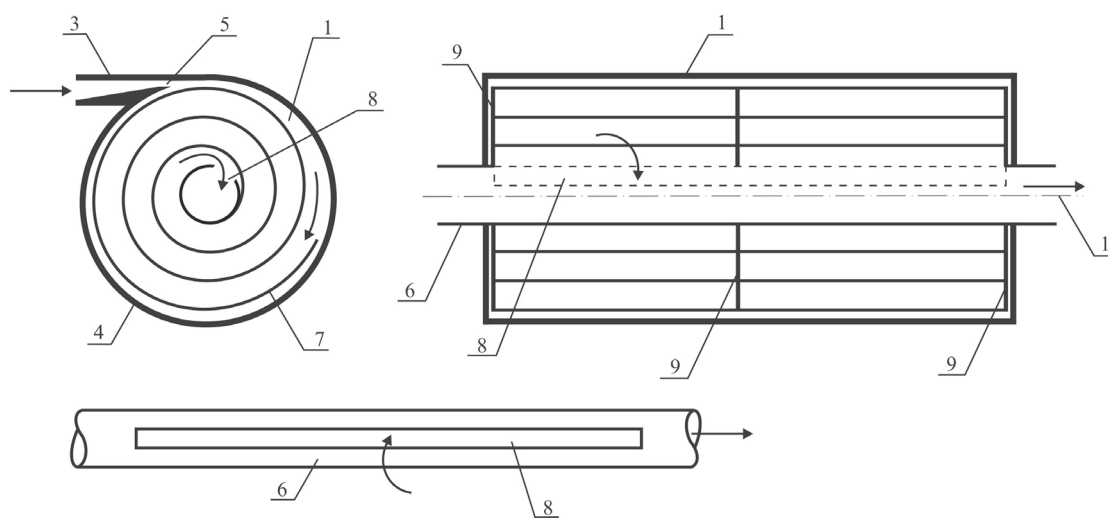


Рис. 2. Конструкционная схема безлопастной бездисковой турбины трения

Действительно, решение поставленной задачи достигается следующими конструктивными особенностями. Геометрическая ось цилиндрической камеры 1 совпадает с геометрической осью вала 2. Входной патрубок 3 для впуска рабочего тела в цилиндрическую камеру расположен на боковой поверхности корпуса 4 и содержит сопло 5, щель которого ориентирована продольно (параллельно) оси. Для выхода рабочего тела служит труба, выполняющая функцию вала 6, на котором крепится рабочее колесо турбины. Рабочее колесо образовано скручено-изогнутым прямоугольным листовым элементом 7 в виде концентрично охватывающих вал витков с контактной спиральной поверхностью трения. Скручено-изогнутый лист закреплен на трубчатом валу одной из своих сторон. Линия крепления указанной стороны параллельна сквозной прорези 8, сделанной в стенке трубчатого вала 6, на его боковой поверхности продольно его оси (вдоль образующей). Эта прорезь служит отверстием для прохода рабочего тела, поступающего из камеры статора – в трубу и далее за ее пределы. Контактная листовая поверхность трения рабочего колеса, в том

числе непосредственно у кромок листа, примыкающих к закрепленной стороне скручено-изогнутого листового элемента, содержит параллельные друг другу дистанционирующие ограничительные буртики 9. Буртики 9 изготовлены так, что имеют профиль в форме плоской спирали, размеры и форма которой повторяют конфигурацию профиля спиральной свёртки листового элемента ротора. Плоскости спиралей буртиков параллельны между собой и перпендикулярны геометрической оси вала, воображаемые геометрические центры этих спиралей принадлежат этой оси. Число спиральных буртиков в сумме – три и более, в принципе их число может быть различным в зависимости от длины отрезка вала, приходящегося на внутреннекорпусное пространство, то есть в зависимости от ширины рабочего колеса. Буртики являются дистанционирующими элементами и одновременно придают конструкции рабочего колеса жесткость, они также вместе с поверхностями свернутого листового элемента образуют каналы 10 движения рабочего тела, увеличивая поверхность трения рабочего тела о приводимое в движение рабочее колесо. Несодержащий буртиков и незакрепленный край 11 листового элемента ротора, принимающий поток рабочего тела, поступающего в рабочее колесо, выполнен острозаточенным для минимизации крайнего сечения листового элемента в воображаемой секущей плоскости, ориентированной радиально относительно геометрической оси ротора.

Для реализации данного технического решения может быть использовано стандартное промышленное оборудование и широко применяемые в промышленности материалы. Так, например, все детали устройства могут быть выполнены из стали. Щель входного (соплового) патрубка может быть выполнена в виде узкой прямоугольной прорези или продолговатого отверстия иной формы во вставке, помещенной в патрубок. Листовой элемент ротора целесообразно свернуть в спираль (архимедову спираль – для оптимизации формы проточной части ротора) путем прокатки заготовки прямоугольного листа или путем формовки заготовки при помощи шаблона (с разогревом и охлаждением). Закрепление листового элемента на валу может быть выполнено сваркой по металлу или зажатием в узкой (соответственно толщине листа) проточке трубы вала. Отверстие для выхода рабочего тела после прохождения листового элемента – вдоль линии крепления в трубе вала – может быть выполнено в виде сегмента боковой поверхности цилиндра (при том том, что вал представляет собой круглую трубу) или, как вариант – в форме прямоугольника (если вал представляет собой многогранник). Буртики листового элемента, из которого изготавливается рабочее колесо, могут быть выполнены при прокатке (или с предварительной штамповкой) самого листа или изготовлены из полосок металла либо цельнотянутой проволоки прямоугольного сечения с привариванием электросваркой или путем крепления другим способом (скажем, пайкой или клеем для металла) к листовой поверхности. Жесткость рабочего колеса может быть обеспечена двусторонним креплением буртиков к поверхности витков спирального листового элемента сваркой. Заточка незакрепленного и несодержащего буртиков края листового элемента ротора может быть выполнена со стороны листа, более удаленной от оси вала, что окажется технологически проще. Установка вала ротора в торцевых стенках цилиндра корпуса может быть осуществлена при помощи герметизированных подшипников. Выступающие за пределы корпуса и подшипников части вала могут механически крепиться наружной поверхностью трубы вала к передаточным механическим элементам (колесам, шестерням, червякам и т.п.), в то время как внутренняя часть трубы вала будет служить каналом для выхода отработавшего рабочего тела – поэтому выбираемая при инженерной реализации устройства труба может быть достаточно широкой, по возможности тонкостенной, но прочной для оптимизации массы ротора с учетом допустимого изгиба вала в зависимости от размеров турбины и её конкретного применения.

Принцип работы устройства состоит в следующем. Посредством входного патрубка корпуса турбины рабочее тело плоской струёй через щелевое сопло, ширина которого соответствует ширине ротора, поступает в цилиндрическую камеру по касательной к ее боковой поверхности (при рассмотрении камеры в профиль – тангенциально). Дальнейшее

движение рабочего тела – благодаря его взаимодействию с боковой поверхностью цилиндра камеры – оказывается вращательным движением (при рассмотрении цилиндра в профиль – движением по окружности). В качестве центростремительной силы, вызывающей движение элементарных порций рабочего тела, выступает сила реакции боковой поверхности. Центростремительные силы, направленные радиально, к оси цилиндра, закручивают пристенный периферический слой рабочего тела. Кручение рабочего тела, вследствие его контакта с поверхностью рабочего колеса, вызывает вращение ротора. Первая порция рабочего тела, поступившего в цилиндр с некоторой начальной скоростью, после прохождения первого витка смещается к центру, вытесняясь второй порцией поступающего рабочего тела, и продолжает совершать круговое движение с меньшим радиусом кривизны и с меньшей скоростью. Аналогичным образом третья порция рабочего тела смещает вторую, а вторая – первую: при этом смещение порций к оси пропорционально углу поворота. Таким образом, траектория движения каждой точки перемещающегося рабочего тела (элементарного объёма) геометрически представляет собой архимедову спираль. В соответствии с этой геометрической формой и выполнен спиральный изгиб поверхности рабочего колеса, поэтому движущийся в нем поток скользит каждым витке вдоль спиралевидных поверхностей без нормального (ортогонального) воздействия на них. Этим обеспечивается безударность воздействия рабочего тела на ротор. При этом силы трения скольжения увлекают ротор во вращение и обеспечивают передачу кинетической энергии вращающегося потока – ротору. После предельного смещения рабочего тела к валу ротора оно вытесняется в прорезь, выполненную в трубной стенке ротора и через внутритрубное пространство выходит наружу, за пределы камеры корпуса турбины. Таким образом, достигается эффект вращения вала ротора, который далее способен передавать свое движение, совершая механическую работу. Этот полезный эффект возникает, благодаря описанным оптимальным (спиральным) траекториям движения рабочего тела, без излишних вибраций элементов турбины и без непродуктивных нагрузок, что особенно важно, если рабочее тело является двухфазным.

На основании изложенного можно полагать, что предлагаемая безлопастная бездисковая турбина трения может найти полезное применение во многих областях техники благодаря своей высокой функциональной надежности, простоте изготовления и эффективной работе, но в первую очередь разработанное техническое решение предназначено для применения в составе комбинированного турбопривода насоса подпитки дополнительными водными средами теплообменного оборудования АЭС для обеспечения надежности теплоотвода в предаварийных и аварийных режимах [12].

Выводы

Предложено техническое решение, основой которого является новая конструкция двухкомпонентного турбопривода насосного агрегата, открывающая дополнительные возможности повышения надежности действующих энергоблоков атомных электростанций благодаря возможности альтернативной организации аварийной подпитки теплообменных систем электрообесточенного энергоблока в случае возникновения дефицита водных сред. Ключевым компонентом новой конструкции турбопривода насоса аварийной подпитки служит спиральная турбина трения, выгодно отличающаяся от турбины Теслы и турбины Лавала тем, что является бездисковой безлопастной турбиной, применение которой может обеспечить повышение эффективности работы технологического оборудования, важного для безопасности.

Список литературы

1. Nuclear Power Experience PWR (book 1,2) // Stoller Corp., Colorado (USA), 2005. –149 p.
2. Schulz L. Westinghouse AP-1000 advanced passive plant // Nuclear Engineering and Design, 2006. – V. 236. – P. 1547–1557.
3. McLauchlan R. Power plant performance for different cooling system designs. RWE Npower Report TECH/JIB-1209/09. RWE Npower, Swindon, Wilts., 2009. – 235 p.

4. Struble K. Essential cooling water and component cooling water. Presentation: PPF 200.09. – 2009. – P. 113–123
6. Shanley L. B. The development and use of CCF data at European and US boiling water reactors. ANS PSA 2008 Topical Meeting – Challenges to PSA during the nuclear renaissance, Knoxville, Tennessee, September 7–11, 2008, on CD-ROM, American Nuclear Society, LaGrange Park, IL, 2008.
7. US Nuclear Regulatory Commission, «Risk Assessment of Operational Events», Handbook, Volume 1, 2, 3, SDP Phase 3, 2008.
8. Water Chemistry of WWER Nuclear Power Plants // Proc. of IAEA Technical Meeting on Water Chemistry of NPP, Oct. 1–3, 2007, Moscow.
9. V. M. Makhin, A. V. Lapin, V. A. Mokhov, I. N. Vasilchenko, M. P. Nikitenko, S. N. Kobelev, A. E. Chetverikov, A. N. Churkin, S. V. Shmelev. Core problems of VVER-SCP vesseltype reactor, 4th International Symposium on Supercritical Water-Cooled Reactors March 8–11, 2009, Heidelberg, Germany, Paper No. 42
10. Schulenberg T., Starflinger J., Heinecke J. Three pass core design proposal for a High Performance Light Water Reactor, 2nd COEINES-2 International Conference on Innovative Nuclear Energy Systems, INES-2, Yokohama, Japan, November 26-30, 2006.
11. Королев А. В., Деревянко О. В. Подпитка парогенератора от надежных источников //Материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конф. «Повышение безопасности и эффективности атомной энергетики», Одесса (Украина), 24–28 сент. 2012 г. – Одесса: НПЦ «Энергоатом», 2013. – С. 111–113.
12. Деревянко О. В., А. Королев А. В., Погосов А. Ю. Предаврийные физические процессы и надежный теплоотвод в ядерных энергоустановках. – Монография – Одесса: Наука и техника. а и техника, – 2014. – 264 с.

References

11. Korolyov A. V., Derevyanko O. V. (2013) Water feeding of the steam generator by reliable sources [Podpitka parogeneratora ot nadezhnyh istochnikov], Materials 3rd Intern. scientific-practical. conf. "Improving the safety and efficiency of nuclear power", Odessa (Ukraine), 24–28 September. 2012 – Odessa: NPC "Energoatom", P. 111–113.
12. Derevyanko O. V., Korolyov A. V., Pogosov A. Yu. (2014) Pre-fault physical processes and reliable heat sink in nuclear power plants [Predavarijnye fizicheskie prozessy i nadyezhnyj teplootvod v yadernyh energoustanovkah], Monograph, Odessa: Nauka I tehnika, 264 p.

Поступила в редакцию 21.05 2014 г.