

УДК 621.039:621.311

Дерев'янка Ольга Володимирівна, аспірант, *ov_derevyanko@mail.ru*

Корольов Олександр Вікторович, д-р техн. наук, проф.

Погосов Олексій Юрійович, д-р техн. наук, проф.

Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна

НОВІ АПАРАТИ ПІДЖИВЛЕННЯ ТЕПЛОМАСООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОБЛОКІВ

Розглянуто нові засоби організації підживлення водних середовищ тепломасообмінного обладнання енергоблоків атомних електричних станцій на основі насосних агрегатів з комбінованим турбоприводом. Розроблені технічні пропозиції дозволяють удосконалити систему аварійного підживлення шляхом інтеграції турбонасосних апаратів в систему автоматизованого управління енергоблоком, виходячи з тенденції підвищення інформатизації управління об'єктами енергетичного виробництва.

Ключові слова: аварійне підживлення, комбінований турбопривід, енергетика, інформативне управління енергоустаткуванням.

Дерев'янка Ольга Владимировна, асп. *ov_derevyanko@mail.ru*

Королев Александр Викторович, д-р техн. наук, проф.

Погосов Алексей Юрьевич, д-р техн. наук, проф.

Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина

НОВЫЕ АППАРАТЫ ПОДПИТКИ ТЕПЛОМАСООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОБЛОКОМ

Рассмотрены новые средства организации подпитки водных сред тепломассообменного оборудования энергоблоков атомных электрических станций на основе насосных агрегатов с комбинированным турбоприводом. Разработанные технические предложения позволяют усовершенствовать систему аварийной подпитки путем интеграции турбонасосных аппаратов в систему автоматизированного управления энергоблоком, исходя из тенденции повышения информатизации управления объектами энергетического производства.

Ключевые слова: аварийная подпитка, комбинированный турбопривод, энергетика, информативное управление энергооборудованием.

Derevyanko Olga Vladimirovna, post-graduate student *ov_derevyanko@mail.ru*

Korolyov Aleksandr Viktorovich, Dr. Eng. Sc., prof.

Pogosov Aleksey Yurevich, Dr. Eng. Sc., prof.

Odessa national polytechnic university, Odessa, Ukraine.

NEW FEEDING APPARATUS OF HEAT MASS EXCHANGE EQUIPMENT IN THE CONTROL SYSTEM OF POWER UNIT

Consider new means of organizing feeding water environments of mass heat exchange equipment of nuclear power plants units on the basis of pumping units with a combined turbine drive. Developed technical solutions allows to improve the system of emergency feeding by integrating turbopump devices in automated control system of power unit, based on the increasing trend of informatization control of energy production facilities.

Keywords: emergency makeup, combined turbine drive, energetics, informative control power equipment.

Введение

Проектирование и строительство новых, усовершенствованных энергоблоков АЭС относится к актуальным вопросам ресурсосбережения и энергетической независимости многих регионов. В новых исторических условиях строительство АЭС во всем мире рассматривается как экологически обоснованная перспектива экономного и эффективного использования энергоносителей при условии обеспечения безопасного функционирования энергоблоков даже в аварийных режимах. Снижение риска развития экологически опасной (неуправляемой) аварии, связанной с недостаточным отведением тепла от ядерного реактора энергоблока АЭС, возможно на основе использования систем, направленных на своевременную дополнительную активизацию тепломассообмена в оборудовании энергетической установки.

Важной особенностью современных проектов АЭС является то, что для систем, выполняющих функции отвода тепла предусмотрена возможность их пассивной работы в течение

длительного времени – без привлечения дополнительных энергетических источников и технических средств. Так, к пассивной части комплексной системы безопасности новых энергоблоков относится внедряемая в последние годы система пассивного отвода тепла (СПОТ) от парогенераторов, в свою очередь длительно принимающих тепловую энергию, вырабатываемую в ядерном реакторе – поскольку мгновенное прекращение тепловыделения в активной зоне реактора невозможно ни при каких условиях и альтернативная утилизация тепла, предназначенного для выработки подаваемого на турбину пара, является необходимой мерой.

Функционирование СПОТ в принципе не зависит от работоспособности другого оборудования и может осуществляться даже при полном электрообесточивании энергоблока, однако эффективность этой системы существенно зависит от достаточного снабжения водой парогенераторов. На ранее введенных в эксплуатацию АЭС штатная подпитка парогенераторов осуществляется за счет роторных насосов с электроприводом, что делает систему подпитки ненадежной, не позволяющей максимально реализовать возможности СПОТ в условиях электрообесточивания энергоблока и достичь востребованного уровня безопасности основного оборудования реакторных установок АЭС.

Анализ тематических публикаций и проблематика

Обзор опубликованной информации об аварийных событиях на объектах атомной энергетики, введенных в эксплуатацию в предшествующие годы, позволяет понять, что основной причиной развития неуправляемых аварий становится потеря теплоносителя из-за разгерметизации элементов оборудования циркуляционных контуров, призванных обеспечивать в нормальных условиях тепломассообмен на основе использования достаточного количества водных сред [1-4]. Первичной причиной, которая способна привести со временем к аварийной разгерметизации оборудования, может стать поначалу консервативное и относительно безопасное (предаварийное) нарушение теплоотвода, например, из-за теплогидравлической неустойчивости, если такого рода аномалии не будут своевременно обнаружены и устранены. Подобные процессы могут развиваться постепенно на фоне относительно малых течей, не нарушающих нормальную эксплуатацию установки. Пока процессы неустойчивости, проявляющиеся в виде низкочастотных колебаний расхода теплоносителя, остаются невыраженными (скрытыми, латентными), такие малые течи поначалу вполне могут быть скомпенсированы с помощью подачи в контур дополнительных водных сред, чем может быть достигнута стабилизация теплогидравлических процессов и обеспечено дальнейшее безаварийное управление энергоблоком. Обзор литературы [5-9] показывает, что надежная подпитка оборудования, функционально отвечающего за тепломассообмен, является важным фактором безопасности энергоблоков АЭС. Научная проблема состоит в том, что для эффективной подпитки водных сред с помощью штатных насосов должны быть разработаны специальные приводы, альтернативные электрическим, но применяемые в сфере энергетического производства приводы (например, турбоприводы) не отвечают требованиям эффективного аварийного включения насосного оборудования в работу.

Цель работы и постановка задач

Целью работы является повышение безопасности новых типовых энергоблоков АЭС путем усовершенствования системы аварийной и предаварийной подпитки основного оборудования энергоблоков. Данная цель определила задачи: во-первых, – изучить возможность использования дополнительных (по отношению к штатным, имеющимся на АЭС) технических средств ослабления вероятных негативных эффектов нарушения гидравлических и тепловых режимов функционирования энергооборудования; во-вторых, – разработать систему обеспечения надежной подпитки основного оборудования реакторных установок проектируемых энергоблоков; в-третьих, – предложить технические решения, необходимые для эффективной работы приводов насосов подпитки в условиях электрообесточивания энергоблоков – как проектируемых, так и реконструируемых в настоящее время.

Методика исследования

Методика проведенного исследования последовательно предусматривала:

1) проведение анализа штатных средств АЭС и вариантов технического обеспечения подпитки основного (тепломассообменного) оборудования энергоблока;

2) выбор востребованного направления в разработке принципов проектирования и конструирования альтернативных технических средств;

3) разработку эффективных систем организации подпитки водных сред с помощью насосного оборудования с неэлектрическим приводом и исследование возможности использования турбопривода, работающего на вырабатываемом парогенераторами АЭС влажном паре;

4) исследование возможности разработки комбинированного турбопривода, сочетающего достоинства лопаточных турбин и турбин трения;

5) разработку основных конструктивных решений;

6) стендовое (физическое) моделирование разработанных конструкций;

7) экспериментальное исследование турбины трения как элемента комбинированного турбопривода насосов подпитки – в качестве сепаратора влажного пара и одновременно бустерного динамического элемента, предвключенного традиционной лопаточной турбине в составе комбинированного турбопривода;

8) интеграцию насосных агрегатов с комбинированным турбоприводом в систему автоматизированного управления энергоблоком в аварийных и предаварийных режимах.

Данная методика предусматривала многовариантную разработку технических предложений с использованием предварительного математического анализа элементов разрабатываемых конструкций и их практическую (экспериментальную) реализацию на основе создания специализированного экспериментального стенда для проведения исследований. В соответствии с этой методикой были предложены различные конструктивные исполнения турбины трения и в качестве базовой модели была принята дисковая конструкция. При реализации всех указанных методических этапов учитывалось, что важным обстоятельством в условиях функционирования оборудования АЭС в предаварийных и аварийных режимах является необходимость срабатывания исполнительных механизмов (приводов) с достаточным быстродействием и высокой надежностью их включения в работу на основе достаточного уровня информатизации системы управления энергетическим оборудованием.

Результаты и их анализ

В ходе исследований были получены результаты, позволившие выработать ряд технических предложений, к которым относится насосный агрегат с комбинированным турбоприводом, характеризующийся сокращенным временем включения в работу [10]. В основе конструктива такого турбопривода лежит применение технического решения, рассматриваемого нами в качестве базового при проведении дальнейших стендовых экспериментов: оно предусматривает закрепление на общем валу дисковой турбины типа турбины Теслы и лопаточной турбина Лавалья [11], как это показано на рис. 1.

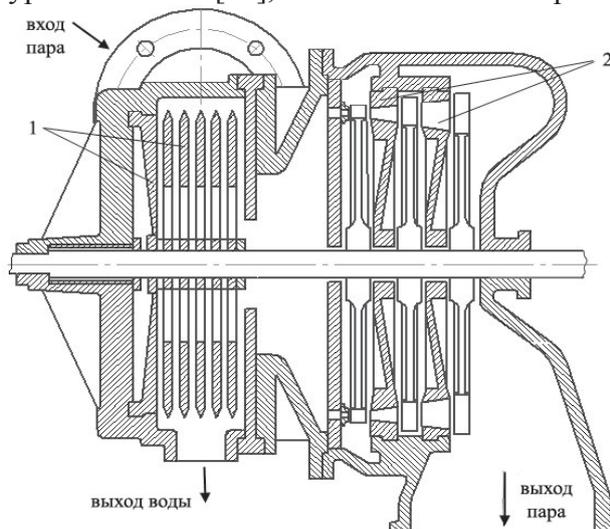


Рис. 1. Принципиальная конструкция комбинированного турбопривода для системы надежной подпитки теплообменного оборудования энергоустановок АЭС: 1 – дисковая турбина, 2 – лопаточная турбина

Данное техническое предложение запатентовано. Результаты физического моделирования элементов описанной конструкции представлены на рис.2. Представленные на рисунке конструктивные элементы спроектированы и изготовлены силами авторов на базе лабораторного машинного зала кафедры АЭС ОНПУ.

Анализ показывает, что соответствующая конструкция (этапы реализации которой отражают рис. 1 и рис. 2), предусматривающая предвключение дисковой турбины по отношению к лопаточной, позволит упростить и ускорить решение задачи аварийного запуска насосов подпитки, поскольку особенности турбины трения позволяют использовать неподготовленный (несепарированный) пар непосредственно от парогенераторов.

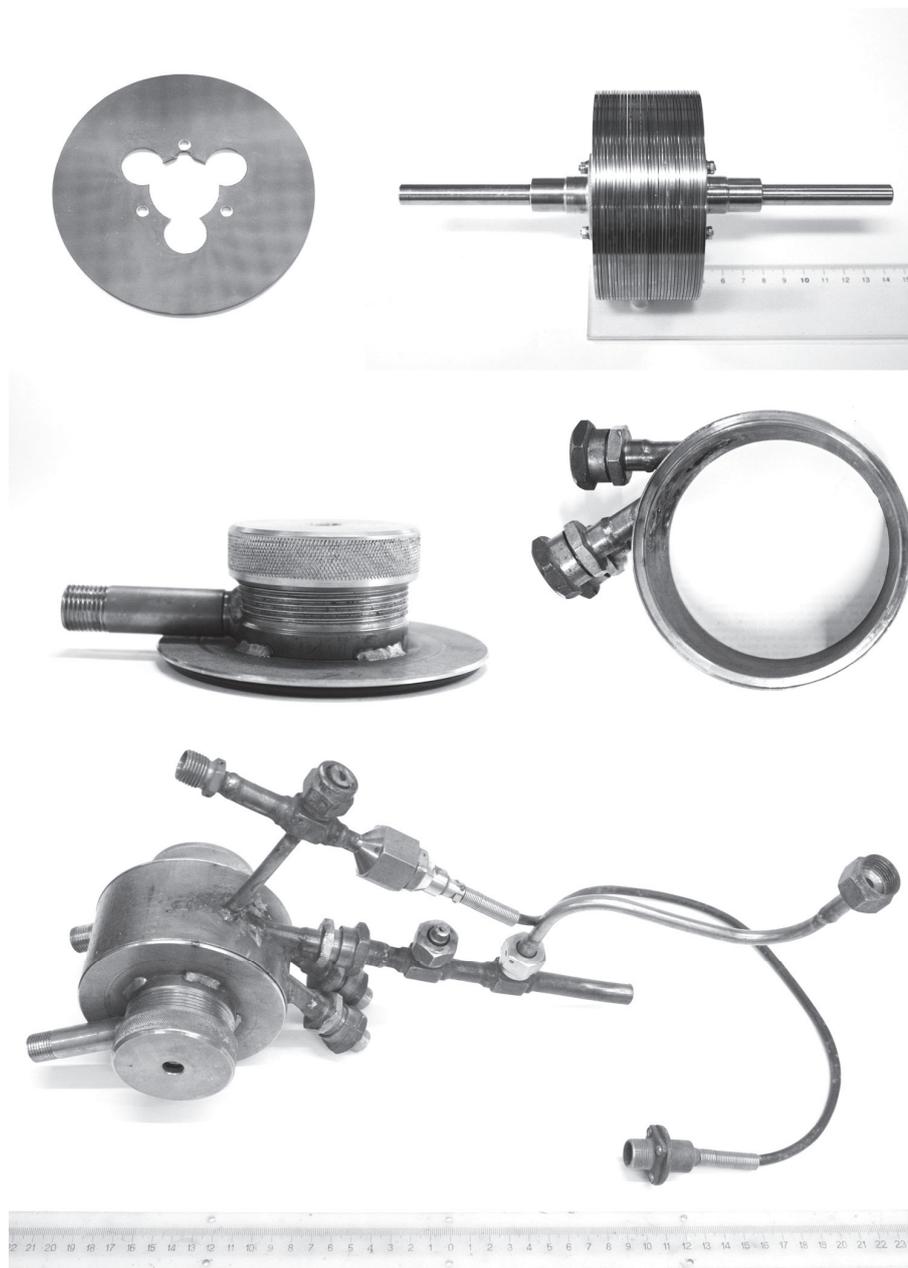


Рис. 2. Элементы экспериментальной реализации дисковой турбины трения для турбонасосных аппаратов подпитки теплообменного оборудования энергоустановки

Более того – повышенные значения коэффициентов трения, свойственные несепарированному (влажному) пару, может обеспечить минимизацию постоянной времени (крутизну кривой разгона) и сокращение времени переходного процесса при запуске агрегата. Интерес представляет также то, что такая конструкция позволяет совместить в одном корпусе

турбину и сепаратор жидкой фазы двухфазного потока: это позволит просто и надежно подавать на лопаточную турбину пар, практически лишенный водной фазы. Следующий этап экспериментальных исследований должен включать изучение динамических характеристик турбины трения при вариативном исполнении дисков ее ротора.

Анализ возможности внедрения предложенного технического решения на действующих и проектируемых энергоблоках показывает, что оперативное включение описанного агрегата, предназначенного для использования в системе подпитки теплообменного оборудования, целесообразно обеспечить полноценными средствами информатизации и автоматизации. Исходя из этого, как вариант, может быть предложена структурная схема автоматической системы запуска исполнительных механизмов, обеспечивающих предаварийную или аварийную подпитку технологических водных сред, которая представлена на рис. 3.

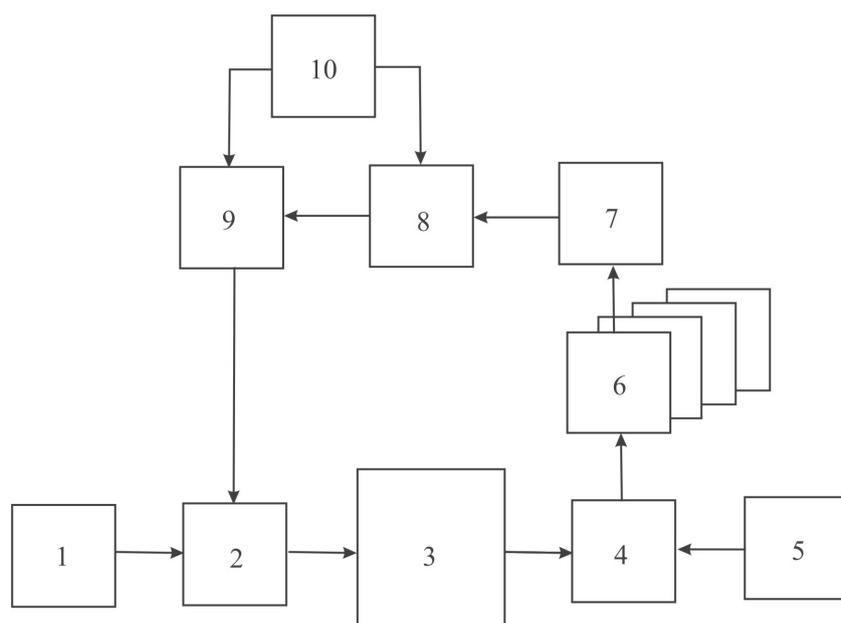


Рис. 3. Структура информатизированной системы автоматического запуска режима подпитки: 1 – источник влажного пара; 2 – быстродействующий автоматический нормально-закрытый клапан; 3 – комбинированный турбопривод; 4 – насосный агрегат; 5 – резервуар подпиточной (подготовленной) воды; 6 – нуждающийся в подпитке технологический элемент теплообменного оборудования; 7 – система датчиков флуктуаций режимных параметров; 8 – система мониторинга и анализа запасов стабильности теплообменных процессов; 9 – компаратор; 10 – технологический задатчик базовых уставок

Эта система предусматривает использование в качестве сигнальной информации значений запасов теплогидравлической стабильности потоков в каналах теплообменного оборудования. Для определения значений указанных запасов, отражающих оперативные сведения о теплогидравлических процессах – запасах, уменьшающихся до нуля при критическом теплообмене, провоцирующем возникновение течей, которые способны привести к разрушению энергооборудования – могут, как информативные предвестники, использоваться флуктуации режимных параметров. Спектральная обработка сигналов от датчиков флуктуаций режимных параметров может служить информационным материалом для автоматического определения частотных передаточных функций, значения которых подлежат автоматическому сравнению (компарированию) с технологическими уставками для выработки необходимых управляющих воздействий для включения системы подпитки технологического оборудования [12].

Исходя из стратегической концепции усовершенствования современных энергетических реакторов для АЭС – «ТОИ» (типизация, оптимизация, информатизация), при проекти-

ровании предлагаемой системы подпитки, эффективно дополняющей СПОТ, следует учитывать, что сигналом для автоматического открытия клапана паропровода для пуска турбонасоса подпитки простое сравнение осредненных значений режимных параметров с их аварийными уставками лишь по факту развития аварийного процесса, а не в режиме упреждения такового (без определения запасов стабильности), может вызывать срабатывание системы подпитки с задержкой – и поэтому не является оптимальным. Применение же информатизированной и автоматизированной системы запуска предложенного аппарата подпитки может обеспечить эффективность его применения, что должно способствовать повышению безопасности объектов атомной энергетики.

Выводы

1. Обоснована необходимость и исследована возможность создания для АЭС специализированной системы подпитки тепломассообменного оборудования реакторных установок на основе использования комбинированного турбонасосного агрегата, конструктивно содержащего в общем корпусе лопаточную турбину и предвключенную ей дисковую турбину трения. Конструкция аппарата запатентована.

2. Разработана экспериментальная модель дисковой турбины трения, применимой в качестве составной части комбинированного турбопривода насосного агрегата системы подпитки, а также основы ее конструктивного исполнения. Проведено опытное проектирование и стендовое конструирование элементов предложенного устройства, даны рекомендации по проектированию и использованию промышленных систем подпитки тепломассообменного оборудования АЭС.

3. Предложена структурная схема следящей автоматической системы подпитки, предусматривающая информатизированное сопровождение работы оборудования путем раннего выявления скрытых тенденций нарушения режимов нормальной эксплуатации энергоблоков АЭС на основе анализа флуктуаций режимных параметров. Промышленное внедрение аппаратов подпитки и их интеграция в систему автоматизированного управления энергоблоком в аварийных режимах должно способствовать повышению безопасности энергетического производства.

Список литературы

1. Nuclear Power Experience PWR // 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. McLaughlan 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
5. 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.
6. US Nuclear Regulatory Commission, «Risk Assessment of Operational Events», Handbook, Volume 1, 2, 3, SDP Phase 3, 2008.
7. Water Chemistry of WWER Nuclear Power Plants // Proc. of IAEA Technical Meeting on Water Chemistry of NPP, Oct. 1–3, 2007, Moscow.
8. 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
9. 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.
10. Деревянко О. В. Безлопастная бездисковая турбина как компонент системы аварийной подпитки энергооборудования // Энергосбережение · Энергетика · Энергоаудит. – № 6 (124). – 2014. – С. 43–48.
11. Деревянко О. В., Королев А. В., Погосов А. Ю. Предаварийные физические процессы и надежный теплоотвод в ядерных энергоустановках. – Монография – Одесса: Наука и техника. – 2014. – 264 с.
12. Деревянко О. В., Королев А. В., Погосов А. Ю. О выявлении латентных факторов, требующих превентивного срабатывания специализированной системы подпитки водных сред ЯЭУ // Энергетика и электрификация, 2014. – № 4 (368). – С.44–50.

References

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.
5. 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.
6. US Nuclear Regulatory Commission, «Risk Assessment of Operational Events», Handbook, Volume 1, 2, 3, SDP Phase 3, 2008.
7. Water Chemistry of WWER Nuclear Power Plants // Proc. of IAEA Technical Meeting on Water Chemistry of NPP, Oct. 1–3, 2007, Moscow.
8. 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.
9. 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.
10. Derevyanko O. V. Bladeless and diskless turbine as a component of emergency feeding // Energy saving · Power engineering · Energy audit. – № 6 (124). – 2014. – P. 43–48.
11. 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.
12. Derevjanko O.V., Korolyov A.V., Pogosov A.Yu. Clarification of the latent factors that require preventive response specialized feeding system of NPP's water environments // Energy and Electrification, 2014. – № 4 (368). – P. 44–50.

Поступила в редакцию 05.08 2014 г.