

ЕНЕРГЕТИКА
ТЕПЛОТЕХНІКА
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
ENERGETICS
HEAT ENGINEERING
ELECTRICAL ENGINEERING

УДК 621.039.534.25

А.В. Королёв, д-р техн. наук, доц.,
О.В. Деревянко, спеціаліст,
Одес. нац. політехн. ун-т

**КОМПОЗИЦИОННАЯ КОНСТРУКЦИЯ ТУРБОПРИВОДА
НАСОСНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ РЕЗЕРВНОЙ ПОДПИТКИ
ПАРОГЕНЕРАТОРОВ АЭС**

Введение. Атомная энергетика является одной из ведущих отраслей экономики Украины. Эксплуатация ядерных энергетических установок (ЯЭУ) неизменно сопряжена с задачами надежного теплоотвода в силу требований, предъявляемых к энергетическому оборудованию с точки зрения его эффективности и безопасности [1]. Противоречие, возникающее между необходимостью обеспечить достаточность водной среды во втором контуре энергоблока и отсутствием надежных систем подпитки в условиях потери водной среды в аварийных или предаварийных условиях работы энергоблока в случае полного обесточивания, является известной проблемой.

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ опубликованных исследований последних лет показывает, что в настоящее время аварийная добавка циркулирующих водных сред в объем парогенераторов осуществляется аварийными электронасосами [2], которые не отвечают требованиям в условиях ситуации, связанной с полным аварийным отключением электропитания и, особенно, в случае отказа (или невозможности запуска) резервных дизельгенераторов.

Организация надежной дополнительной (предаварийной или аварийной) подпитки парогенераторов АЭС циркулирующей жидкостью (котловой водой) требует применения технических средств повышенной функциональной надежности. При этом к исполнительным механизмам систем подпитки в условиях предаварийного или аварийного функционирования ЯЭУ предъявляются весьма жесткие требования в части быстродействия и высокой эффективности их включения в работу [3].

Цель работы. Для устранения выявленной и обозначенной проблемы целью работы является исследование возможности обеспечения надежного снабжения парогенераторов АЭС дополнительной (подпитывающей) водой с использованием насосных агрегатов, снабженных

DOI: 10.15276/opu.1.43.2014.17

© О.В. Королёв, О.В. Деревянко, 2014

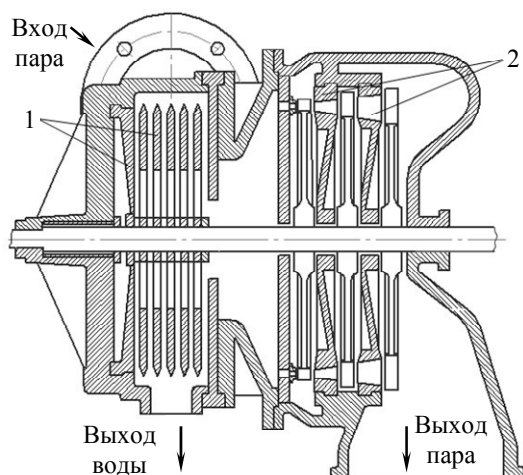


Рис. 1. Композиционная конструкция турбопривода: 1 — дисковая турбина, 2 — лопаточная турбина

турбоприводом. Для достижения поставленной цели рассмотрены альтернативные существующим технические решения, выявлены их недостатки и предложена принципиально новая, не применявшаяся ранее, конструкция турбопривода насосного агрегата подпитки.

Изложение основного материала. Выполненный анализ исторических примеров и известных технологических схем выявил возможность и целесообразность использования тепловой энергии для привода аварийных питательных насосов непосредственно от парогенератора (не обязательно подпитываемого, возможно, находящегося в режиме нормальной эксплуатации) [4, 5]. Однако, как показывает опыт эксплуатации, обычный турбопривод с применением лопаточной турбины (турбины Лаваля) для подобного случая имеет ряд существенных недостатков. Так, например, известно, что одним из требований к такому приводу является условие “горячего резерва”, т.е. необходимость предварительного прогрева для недопущения его заклинивания при пуске. При этом использование паровых линий “горячего резерва” влечет за собой определенные трудности. В частности, на таких линиях необходимо обеспечить постоянный дренаж конденсата, образующегося на стенках паропроводов. Использование же его с недренированным конденсатом грозит серьезными повреждениями любой паровой машины, особенно, лопаточной турбины.

Известно, что дисковые турбины трения лишены указанного недостатка. Особенности их конструкции позволяют вращать ротор подобной турбины даже от подачи несепарированного двухфазного потока (более того, турбина на воде имеет даже более высокую приемистость). Повышенные значения коэффициентов трения, свойственные двухфазному потоку, взаимодействующему с дисковой турбиной, могут обеспечить минимизацию постоянной времени (крутизну кривой разгона ротора) и сокращение времени переходного процесса при запуске агрегата. Для решения данной задачи обеспечения надежного привода подпиточного насосного аппарата может быть применена комбинированная конструкция турбопривода, состоящая из посаженных на один вал лопаточной турбины Лаваля и предвключенной дисковой турбины (турбины Теслы), как это показано на рис. 1.

Установка перед лопаточной турбиной турбины трения позволит подавать на лопатки ротора турбины, подключенного к ротору насоса, практически сухой пар. Кроме этого, включение двух разнотипных турбин “тандемом” позволяет рационально распределить располагаемый теплоперепад между ступенями композиционной турбоустановки, поднимая степень сухости пара на выходе из лопаточной турбины.

Установка перед лопаточной турбиной турбины трения позволит подавать на лопатки ротора турбины, подключенного к ротору насоса, практически сухой пар. Кроме этого, включение двух разнотипных турбин “тандемом” позволяет рационально распределить располагаемый теплоперепад между ступенями композиционной турбоустановки, поднимая степень сухости пара на выходе из лопаточной турбины.

Результаты. Предлагаемое техническое решение, гарантирующее оперативный пуск лопаточной турбины такого привода без предварительного разогрева, позволяет подключить подпиточный турбонасосный агрегат непосредственно к паровому объему парогенератора через быстродействующий нормально-закрытый клапан, при этом отпадает необходимость поддержания паропровода, ведущего к турбоприводу, в “горячем резерве” с постоянным дренированием конденсата. Интерес также представляет технический эффект, получаемый от такой нестандартной конструкции, заключающийся в том, что турбина трения выполняет функции сепаратора, выделяющего конденсат из пара, который впоследствии удаляется по отдельной линии через конденсатный горшок.

Стоит заметить, что положительный эффект данного решения обеспечивается конструктивными особенностями турбины трения, применяемой в качестве предвключенного элемента

привода, поскольку основной принцип работы дисковой турбины — использование силы трения среды, проходящей в ее междисковых каналах, что ведет к подсушиванию пара за счет перехода работы трения в теплоту.

На одном валу с дисковой турбиной, располагается лопаточная турбина, которая, находясь на одном валу с насосом, должна работать на высоких угловых скоростях, задаваемых дисковой турбиной (конструкция осевой трехступенчатой паровой турбины, в числе элементов комбинированного турбопривода, представлена на рис. 1).

Для расчета как турбины трения, так и паровой осевой турбины необходимо определить имеющийся теплоперепад, реализуемый на каждом из элементов конструкции. То, что обе турбины имеют общий вал с насосом, позволяет принять, что мощность, потребляемая насосом, распределяется между двумя турбинами, и при этом обратно пропорциональна их КПД, которые можно принять следующими: для турбины трения — 28 % (в соответствии с экспериментальными данными [6]), для осевой (паровой) турбины — 81 % [7].

При работе турбопривода под действием паровой среды, поступающей из парогенератора, начальными параметрами пара являются: 6,0 МПа и 275,58 °С. Располагаемый перепад давления — до 5,8...5,9 МПа. Оптимальный теплоперепад, который отрабатывается на осевой лопаточной турбине при идеальном процессе расширения, составляет 120...180 КДж/кг (или 1,2...0,8 МПа срабатываемого перепада давления).

Процесс расширения потока в комбинированной турбине представлен на рис. 2. Отражение этого процесса на h - s диаграмме позволяет получить теплоперепад, который отрабатывается дисковой турбиной. Он составляет 320 КДж/кг (или 5...4 МПа перепада давления).

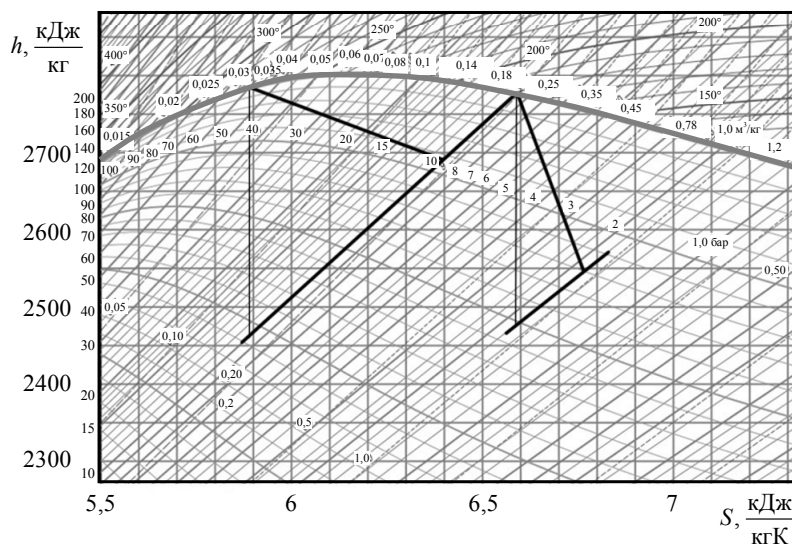


Рис. 2. Процесс расширения пара в комбинированной турбине в h - s диаграмме

Из диаграммы видно, что процесс расширения пара в такой двухступенчатой конструкции турбопривода проходит в области влажности пара менее 12...14 %, что является вполне удовлетворительным по условиям эрозионных разрушений (рис. 2).

Выводы. Рассмотренная конструкция композиционных турбоприводов насосных агрегатов для надежной подпитки парогенераторов АЭС с учетом необходимости обеспечения высокой функциональной надежности является технологически целесообразной.

Высокий суммарный технический эффект, выражающийся в возможности подпитки парогенераторов АЭС собственным паром при помощи турбонасосных агрегатов, обеспечивается использованием в качестве композиционных элементов турбоприводов дисковой и лопаточной турбин.

Числовой параметрический анализ предлагаемого конструктивного и технологического решения показал приемлемость и перспективность рассмотренного технического решения.

Литература

1. Опыт АЭС Фукусима-1 для повышения экологической безопасности атомной энергетики Украины / [Биллей Д.В., Ващенко В.Н., Злочевский В.В. и др.]. — К.: Гос.академия последипломного образования, 2012. — 194 с.
2. Дерев'янюк, О.В. Предаварийные физические процессы и надежный теплоотвод в ядерных энергоустановках [Текст]: монография / О.В. Дерев'янюк, А.В. Королев, А.Ю. Погосов. — Одесса: Наука и техника, 2014. — 264 с.
3. Дерев'янюк, О.В. Экстраординарные термодинамические процессы ЯЭУ и энергoinформационные возможности их автоматической аттенюации / О.В. Дерев'янюк, А.В. Королев, А.Ю. Погосов // Международный научно-исследовательский журнал. — 2013. — № 12(19), Ч. 1. — С. 79 — 81.
4. Королев, А.В. Повышение теплотехнической надежности оборудования АЭС / А.В. Королев // Тр. Одес. политехн. ун-та. — 2008. — Вып. 1(29). — С. 103 — 105.
5. Королев, А.В. Использование инжектора в системе САОЗ для повышения ее функциональной надежности / А.В. Королев // Ядерная радиационная безопасность. — 2009. — Том 12, Вып. 2. — С. 38 — 39.
6. Безлопастная дисковая турбина, или роторный двигатель Николы Тесла [Электронный ресурс] / Фонд возрождения технологий Николы Тесла. Электронный литературный ресурс. — Режим доступа: http://www.teslatech.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=5 (Дата обращения: 12.02.2014 г.)
7. Королев, А.В. Подпитка парогенератора от надежных источников / А.В. Королев, О.В. Дерев'янюк // Материалы 3-й Междунар. науч.-практич. конф. “Повышение безопасности и эффективности атомной энергетики”, Одесса (Украина), 24-28 сент. 2012 г. — Одесса: НПП “Энергоатом”, 2013. — С. 111 — 113.

References

1. Opyt AES Fukushima-1 dlya povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti atomnoy energetiki Ukrainy [Experience of Fukushima-1 NPP to increase the environmental safety of nuclear energy in Ukraine] / [Billey D.V., Vashchenko V.N., Zlochevskiy V.V. and others]. — Kyiv, Gos. akademiya poslediplomnogo obrazovaniya [State Academy of postgraduate education], 2012. — 194 p.
2. Derevyanko, O.V. Predavariynye fizicheskie protsessy i nadezhnyy teplootvod v yadernykh energoustanovkakh: monografiya [Pre-fault physical processes and reliable heat removal in nuclear power plants [Text]: monograph] / O.V. Derevyanko, A.V. Korolev, A.Yu. Pogoso. — Odessa, Nauka i Tekhnika [Science and Engineering], 2014. — 264 p.
3. Derevyanko, O.V. Ekstraordinarnye termogidravlicheskie protsessy YaEU i energoinformatsionnye vozmozhnosti ikh avtomaticheskoy attenyuatsii [Extraordinary thermohydraulic processes NEI and energy information capabilities of their automatic attenuation] / O.V. Derevyanko, O.V. Korolev, A.Yu. Pogoso. // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]. — 2012. — #12 (19). — Part 1. — pp. 79 — 81.
4. Korolev, A.V. Povysheenie teplotekhnicheskoy nadezhnosti oborudovaniya AES [Increasing the heat engineering reliability of NPP equipment] / A.V. Korolev // Trudy Odesskogo Politekhnicheskogo Universiteta [Proc. Odesa Polytech. Univ.]. — 2008. — Iss. 1 (29). — pp. 103 — 105.
5. Korolev, A.V. Ispol'zovanie injektora v sisteme SAOZ dlya povysheniya ee funktsional'noy nadezhnosti [The use of injector in ECCS system to increase its functional reliability] / A.V. Korolev // Yadernaya radiatsionnaya bezopasnost' [Nuclear Radiation Safety]. — 2009. — Vol. 12, Iss. 2. — pp. 38 — 39.
6. Bezlopastnaya diskovaya turbina, ili rotorny dvigatel' Nikoly Tesla [The bladeless disk turbine, or rotary engine of Nikola Tesla [Electronic resource]] / Fond vrozozhdeniya tekhnologiy Nikoly Tesla [Re-naisance Foundation of Nikola Tesla technologies]. [Electronic literary resource]. Available at: http://www.teslatech.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=5 (Access date: 12.02.2014 г.)
7. Korolev, A.V. Podpitka parogeneratora ot nadezhnykh istochnikov [Steam generator feeding from reliable sources] / A.V. Korolev, O.V. Derevyanko // Materialy 3 Mezhdunarodnoy nauch.-praktich. konf. “Povyshenie bezopasnosti i effektivnosti atomnoy energetiki” [Materials of the 3rd International Sci.-Pract. Conference “Increasing safety and efficiency of atomic energy”], Odessa, (Ukraine), September 24–28, 2012. — Odessa, 2013. — pp. 111 — 113.

АНОТАЦІЯ / АННОТАЦИЯ / ABSTRACT

О.В. Корольов, О.В. Дерев'янюк. Композиційна конструкція турбопривода насосного агрегату для резервного підживлення парогенераторів АЕС. Розглянуто конструктивну композицію дискової та лопаткової турбін, застосовану як турбопривод насосного агрегату через можливість використання енергії пари для організації підживлення парогенераторів АЕС в умовах повного знеструмлення. Метою є дослідження можливості забезпечення надій-

ного постачання парогенераторів АЕС підживлюючою водою з використанням насосних агрегатів, забезпечених турбоприводом. За допомогою методу функціонально-конструктивного аналізу показано технологічну доцільність запропонованої конструкції і її реалізованість. Розглянута конструкція відноситься до енергетики і може бути використана як привід живильного насоса, що подає водне середовище (теплоносій, робоче тіло) в циркуляційні петлі ядерних енергетичних установок в аварійних режимах функціонування при порушенні теплос'єму в парогенераторі.

Ключові слова: ядерні енергетичні установки, надійне підживлення водних середовищ, попередження аварій.

A.V. Korolyov, O.V. Derevyanko. Композиционная конструкция турбопривода насосного агрегата для резервной подпитки парогенераторов АЭС. Рассмотрена конструктивная композиция дисковой и лопаточной турбин, примененная в качестве турбопривода насосного агрегата в виду возможности использования энергии пара для организации подпитки парогенераторов АЭС в условиях полного электрообесточивания. Целью является исследование возможности обеспечения надежного снабжения парогенераторов АЭС подпитывающей водой с использованием насосных агрегатов, снабженных турбоприводом. С помощью метода функционально-структурного анализа показана технологическая целесообразность предлагаемой конструкции и ее реализуемость. Рассмотренная конструкция относится к энергетике и может быть использована как привод питательного насоса, подающего водную среду (теплоноситель, рабочее тело) в циркуляционные петли ядерных энергетических установок, в аварийных режимах функционирования при нарушении теплосъема в парогенераторе.

Ключевые слова: ядерные энергетические установки, надежная подпитка водных сред, предвосхищение аварий.

A.V. Korolyov, O.V. Derevyanko. Compositional design of drive pump unit turbine for reserve feeding of NPPS's steam generators. Constructive composition of disk and blade turbines is considered. It is used as drive pump turbine unit in account of the possibility of using steam power for the organization of nuclear steam generators feeding in full electrical blackout. The aim is to explore the possibility of providing a reliable supply of nuclear steam generators of the feed water using pumps equipped with turbine drive. Using the method of functional-structural analysis it is demonstrated technological expediency of the proposed design and its feasibility. Considered design relates to energy and can be used as a drive nutrient pump feeding the aquatic environment (heating, the working fluid) in the circulating loop of nuclear power plants in emergency modes of operation, in violation of heat removal in the steam generator.

Keywords: nuclear power plants, reliable feeding of water environments, anticipating accidents.

Рецензент д-р техн. наук., проф. Одес. нац. политехн. ун-та Денисова А.Е.

Поступила в редакцию 24 марта 2014 г.

УДК 621.039.56:681.52

Т.В. Фош, магистр, Одес. нац. политехн. ун-т

АНАЛИЗ АКСИАЛЬНОГО ОФСЕТА ЭНЕРГОБЛОКА С ВВЭР-1000 В РЕЖИМЕ МАНЕВРИРОВАНИЯ

Введение. Как известно, атомные электростанции (АЭС) участвуют в покрытии разницы между выработкой и потреблением электроэнергии в современной энергосистеме Украины. Это приводит к тому, что необходимо переводить действующие АЭС в режим маневрирования мощностью энергоблоков. В момент маневрирования мощностью на АЭС происходят существенные изменения всевозможных процессов, связанных с изменением самой мощности. Как следствие, это приводит к потере необходимой устойчивости и надежности реакторов энергоблоков АЭС.

При выгорании ядерного топлива в процессе работы реактора формируются нуклиды с различными друг от друга сечениями поглощения нейтронов, тем самым влияя на действующие

DOI: 10.15276/opu.1.43.2014.18

© Т.В. Фош, 2014