

А.А. Тарелин, В.П. Скляр, Н.В. Сурду

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, Харьков

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТЕПЛОВЫМ ЭНЕРГОУСТАНОВКАМ



Рассмотрены термодинамические процессы в части низкого давления паровых турбин. Показано, что использование электрофизических технологий позволяет увеличивать эффективность турбоустановки на 0,4–0,7 % за счет уменьшения потерь энергии, вызванных электризацией влажного пара и переохлаждением пара в зоне фазового перехода. Приведено описание магнитно-вихревого гидрогазодинамического активатора, применение которого предотвращает отложение накипи на поверхностях теплообменных аппаратов.

К л ю ч е в ы е с л о в а: паровая турбина, электризация пара, переохлаждение, зародыши конденсации, ТЭС, КПД станции, магнитная обработка, удаление накипи.

Институтом проблем машиностроения (ИПМаш) им. А.Н. Подгорного НАН Украины выполнены исследования [1, 2] по изучению явлений, возникающих в части низкого давления (ЧНД) паровых турбин. В результате исследований, выполненных совместно с учеными России и США [3], установлено:

- ✦ влажный пар на выходе турбины всегда заряжен, причем плотность объемного заряда в зависимости от химического состава питательной воды и влажности изменяется от 10^{-6} до 10^{-3} Кл/м³;
- ✦ естественная электризация оказывает заметное влияние на тепло-массообменные процессы во влажно-паровых ступенях [4];
- ✦ переохлаждение пара, возникающее в проточной части, сохраняется вплоть до выхода из последней ступени, где может достигать 10–15 °С [5, 6].

Проведенные комплексные теоретические и экспериментальные исследования показали, что рациональное управление этими процессами позволяет существенно (на 0,4–0,7 %) повысить эффективность и надежность работы турбин.

На рис. 1 в качестве примера показана схема проточной части цилиндра низкого давления (ЦНД) турбины К-300-240 ХТГЗ. При работе турбины в расчетном режиме на вход в ЦНД поступает перегретый пар. После достижения состояния насыщения из-за дефицита зародышей (ядер) конденсации дальнейшее расширение пара происходит с переохлаждением [7]. В третьей ступени переохлаждение достигает критического значения 30–35 °С, в результате чего возникает конденсационная нестационарность [8]. При этом на третьей ступени возникают пульсации давления с частотой 0,5–2 кГц. После выпадения первичной влаги в паровом потоке начинается процесс электризации. По мере увеличения влажности плотность зарядов возрастает с 10^{-8} Кл/м³ в начале зоны фазового перехода до 10^{-3} Кл/м³ за последнюю ступенью.

Неравновесное расширение пара и связанные с ним явления увеличивают термодинамические потери и снижают мощность турбины на 0,3–0,5 %. Известно, что скачки давле-

ния в зоне фазового перехода могут приводить к разрушению элементов проточной части турбины. Для устранения вредных последствий, вызванных неравновесным расширением пара, необходимо в паровом потоке перед зоной фазового перехода создать избыток искусственных ядер конденсации [9, 10]. Создание искусственных ядер конденсации позволяет приблизить процесс расширения к равновесному и уменьшить термодинамические потери. Уменьшение потерь от переохлаждения позволит увеличить мощность действующих турбоагрегатов не менее чем на 0,3 %. При этом существенно снизится вибрация лопаток в зоне конденсационной нестационарности. Иллюстрация процесса конденсации водяного пара на искусственных зародышах приведена на рис. 2. Из рис. 2 видно, что при истечении водяного пара в атмосферу наличие искусственных зародышей конденсации приводит к образованию плотного тумана.

При естественном истечении водяного пара в атмосферу из-за дефицита естественных за-

родышей происходит задержка конденсации. Высоковольтный разряд, как в насыщенном, так и в перегретом водяном паре приводит к образованию устойчивых зародышей конденсации. При охлаждении пара до температуры насыщения на искусственных зародышах происходит гетерогенная конденсация. Процессы, происходящие в зоне влажного пара ЦНД, существенно влияют на эффективность работы турбоустановки не только в номинальном, но и в нерасчетных режимах. Поскольку в условиях энергорынка турбоустановки на ТЭС Украины значительную часть времени работают в нерасчетных режимах [11], рассмотрим этот вопрос подробнее. Уменьшение мощности нагрузки сопровождается уменьшением расхода пара через ЦНД, в результате чего зона фазового перехода смещается по потоку, а влажность на выходе турбины уменьшается. В нерасчетных режимах влажность пара за последней ступенью может снижаться от номинального значения до нуля, в результате чего энтальпия пара в конденсаторе воз-

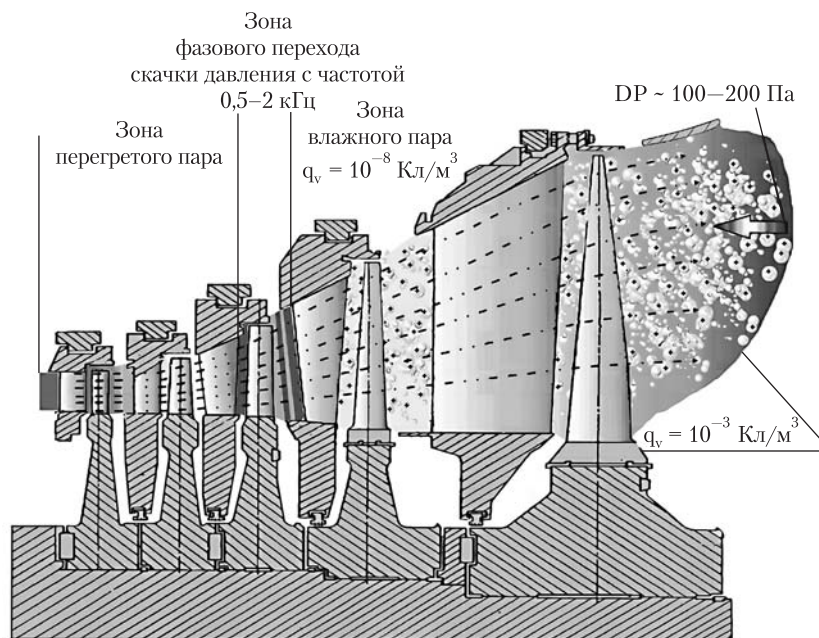


Рис. 1. Течение пара в ЦНД в номинальном режиме

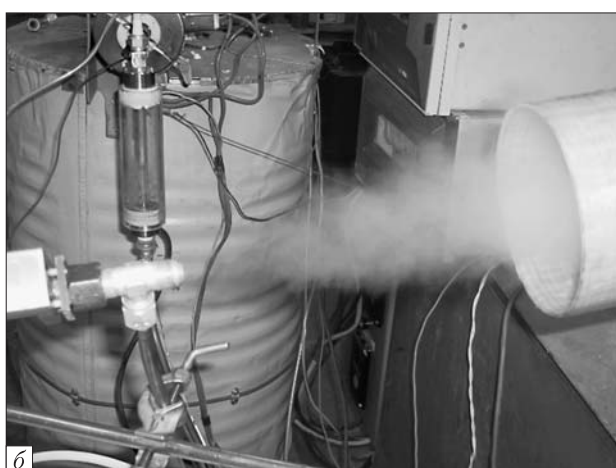
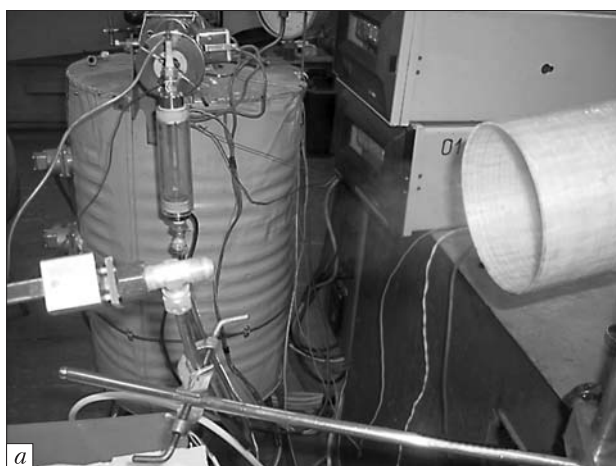


Рис. 2. Истечение струи водяного пара в атмосферу: *а* — без искусственных ядер конденсации; *б* — при наличии искусственных ядер конденсации

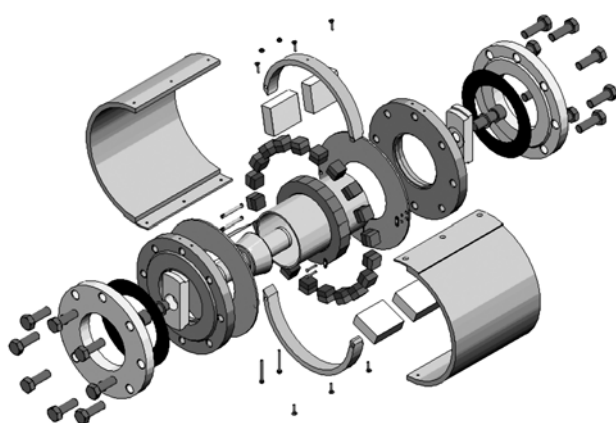


Рис. 4. Принципиальная схема активатора



Рис. 5. Активаторы: *а* — производительность 1 200 м³/ч; *б* — производительность до 200 м³/ч

растает на 20–180 кДж/кг. При работе в таких режимах тепло, расходуемое на промежуточный перегрев пара, расходуется неэффективно, что ведет к уменьшению термического КПД станции. Выполненные исследования показали, что при работе в нерасчетных режимах принятая температура промежуточного перегрева является завышенной. Снижение температуры промежуточного перегрева до оптимального значения приводит к смещению зоны фазового перехода навстречу потоку, к уменьшению количества тепла, сбрасы-

ваемого в конденсатор и к экономии топлива на 0,6–1 % [12]. При этом влажность пара на выхлопе турбины не превышает расчетного значения.

Наличие объемного заряда с большой плотностью увеличивает давление за последней ступенью турбины на 100–200 Па, что снижает мощность последней ступени турбины и увеличивает потери в выхлопном патрубке. Нейтрализация объемного заряда позволяет увеличить мощность турбины на 0,15–0,2 %. На рис. 3 (см. цветную вклейку) показан разработанный в ИПМаш НАН Украины нейтрализатор объемного заряда. Нейтрализатор прошел испытания на турбине Т250/300-240 (ТЭЦ-5, г. Харьков) и на турбине 400 МВт (станция Конесвилль, США). Использование такого нейтрализатора позволяет устранить негативные последствия, связанные с естественной электризацией влажного пара на выхлопе турбины, и увеличить вырабатываемую мощность [13]. Очень важно, что разработанная технология может быть реализована силами станции при незначительных затратах.

В ИПМаш НАН Украины проводятся также исследования в области магнитных технологий. В институте созданы промышленные образцы магнитно-вихревых гидродинамических активаторов (МВГДА) [14]. С их помощью обеспечивается структурная трансформация жидкостей, что влияет на ее физико-химические свойства. На рис. 4 представлена принципиальная схема активатора. Для данной конструкции МВГДА определены оптимальные соотношения магнитной индукции, объемного расхода и размеров проточной части, что позволяет стабильно и надежно работать активаторам в широком диапазоне расходов и температур (объемный расход до 10 000 м³/ч и до температуры размагничивания — точки Кюри, для данного типа магнитов ниодим—железо—бор — 125 °С; самарий—кобальт — 300 °С)

На рис. 5 представлены активаторы на различную производительность, производство которых освоено на ОП ИПМаш НАНУ.

Широко МВГДА используются в системах отопления и горячего водоснабжения для безреагентного предотвращения и удаления накипи. Известно [15], что при нагревании воды, не прошедшей магнитную обработку, растворенные в ней соли отлагаются на поверхностях преимущественно в виде кальцита, а после обработки — в виде арагонита, который выпадает во всем объеме в виде нерастворимого шлама и удаляется через шламосборники. Кроме того, происходит разрушение и вымывание старой накипи, которая длительное время отлагалась в термopерегруженных застойных зонах теплообменных поверхностей. При этом за счет образования магнетита происходит пассивация теплообменных поверхностей и снижение интенсивности коррозионных процессов (см. рис. 6 на цветной вклейке).

Отметим, что технологию магнитной обработки особенно целесообразно использовать на небольших котельных, тепловых пунктах и ТРС, где по штату нет специалистов химиков, а вода имеет высокие показатели по жесткости. В настоящее время на Змиевской ГРЭС в химцехе ведутся работы по оснащению осветлителей магнитными активаторами. Первые испытания дали позитивные результаты по снижению отложений на поверхностях осветлителей и уменьшению расхода извести на 10–15 %. Использование МВГДА при водоподготовке на теплоэнергетическом оборудовании позволит сэкономить 5–10 % топлива [16].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Электрофизические явления в паровых турбинах* / А.А. Тарелин, В.П. Скляр, О. Верес, Н.В. Сурду // Пром. теплотехника – 1999. – № 4–5. – С. 98–102.
2. *Тарелин А.А.* Особенности измерения объемной плотности зарядов во влажном паровом потоке турбины / А.А. Тарелин, В.П. Скляр, В.П. Крыженко // Проблемы машиностроения. – 2000. – Т. 3, № 1–2. – С. 11–16.
3. *Определение* объемной плотности зарядов в потоке конденсирующегося пара при различных водно-химических режимах / В.Н. Семенов, А.Н. Троицкий, А.А. Тарелин, В.П. Скляр, Б.Р. Дули // Проблемы машиностроения. – 2001. – Т. 3, № 3–4. – С. 12–22.

4. Склярів В.П. Вплив електризації вологої пари на процеси конденсації в теплоенергетичних установках: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.14.06/ Інститут проблем машинобудування НАН України. – Харків, 2001. – 18 с.
5. Тарелін А.А. Влияние объемного заряда на величину переохлаждения парового потока за последней ступенью турбины / А.А. Тарелін, В.П. Склярів, В.П. Орловский // Пробл. машиностроения. – 2004. – 7, № 1. – С. 4–11.
6. Склярів В.П. Измерение температуры влажного парового потока в паровых турбинах // Пробл. машиностроения. – 2005. – 8, № 3. – С. 8–16.
7. Gyarmathy G. Grundlagen einer Theorie der Nassdampf-turbine. – Zurich, 1962. – 264 p.
8. Исследование характеристик влажнопарового потока в проточных частях турбин / А.А. Добкес, Т.М. Зильбер, Ю.Я. Качуринер, Л.А. Фельдберг // Теплоэнергетика. – 1992. – № 1. – С. 56–60.
9. Пат. 74193 України, МКИ6 F01D5/28. Способ увеличения КПД паровых турбин / В.П. Склярів, А.А. Тарелін (Україна). – № 20030103319; Заявлено 14.01.2003; Пол. реш. 20.07.2005. Опубл. 15.11.05, Бюл. № 11.
10. Patent 7,252,475 B2 US, Int.Cl. F01D25/32. Electrostatic method and device to increase power output and decrease erosion in steam turbines / А.О. Тарелін (UA), V.P. Skliarov (UA), O. Weres (US). – № 11 / 034,907; Filed: Jan. 12, 2005; Pub. Date: Aug. 7, 2007. P. 10.
11. Тарелін А.А. Разработка мероприятий по повышению эффективности части низкого давления турбины К-300-240 при работе в условиях энергорынка / А.А. Тарелін, В.П. Склярів // Наука та інновації. – 2007. – Т. 3, № 3. – С. 30–35.
12. Тарелін А.А. Влияние температуры промпрегрева на мощность турбоагрегата Т250/300-240 // А.А. Тарелін, В.П. Склярів, Г.К. Вороновский, Т.И. Шведова, А.В. Медведовский, А.Ю. Козлов // Пробл. машиностроения. – 2007. – Т. 10, № 2. – С. 5–8.
13. Результаты испытаний нейтрализатора объемного заряда за последней ступенью паровой турбины / А.А. Тарелін, В.П. Склярів, Г.К. Вороновский, А.Ю. Козлов // Пробл. машиностроения. – 2006. – Т. 9, № 1. – С. 19–24.
14. Патент №7082 України, МКИ C02F1/48. Пристрій для магнітної обробки рідини / Є.Ф. Лук'янов, М.В. Сурду, М.М. Шошин, В.С. Прохорчук, А.В. Нечаєв, О.Є. Хіневіч (Україна). – № 20040706074; Заявл. 21.07.2004; Опубл. 15.06.2005, Бюл. № 6, 2005 р. – 5 с.
15. Класен В.И. Омагничивание водных систем. – М.: Химия, 1978. – 296 с.
16. Екологічески чистая технология обработки воды / Н.В. Сурду, А.В. Нечаєв, А.Е. Хіневіч и др. // "Бизнес-мост": Междунар. информ.-техн. журнал. – Харьков. – 2004. – № 6–7. – С. 70–73.

А.О. Тарелін, В.П. Склярів, М.В. Сурду

ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ СТОСОВНО ДО ТЕПЛОВИХ ЕНЕРГОУСТАНОВОК

Розглянуто термодинамічні процеси у частині низького тиску парових турбін. Показано, що використання електрофізичних технологій дозволяє збільшити ефективність турбоустановки на 0,4–0,7 % за рахунок зменшення втрат енергії, викликаних електризацією вологої пари та переохолодженням пари у зоні фазового переходу. Наведено опис магнітно-вихрового гідрогазодинамічного активатора, застосування якого дає змогу запобігти відкладенню накипу на поверхнях теплообмінних апаратів.

Ключові слова: парова турбіна, електризація пари, переохолодження, зародок конденсації, ТЕС, ККД станції, магнітна обробка, видалення накипу.

А.А. Тарелін, V.P. Skliarov, N.V. Surdu

ELECTROPHYSICAL TECHNOLOGIES FOR HEAT POWER INSTALLATIONS

Thermodynamic processes in the low-pressure part of steam turbines are considered. It was shown that using electrophysical technologies increases the turbine installation efficiency by 0,4–0,7 % due to reducing energy losses caused by electrization of wet steam and steam supercooling in the phase transition zone. A magnetic-vortex hydro gas dynamic activator is described. Its usage prevents scale formation on the surfaces of heat exchange apparatus.

Key words: Steam turbine, steam electrification, supercooling, condensation nuclei, TPPs, power plant efficiency, magnetic treatment, scale removal.

Надійшла до редакції 18.03.08.