

## К ВОПРОСУ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ПАРОВОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УЧАСТКОВ РОТОРОВ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ПАРОВЫХ ТУРБИН Т-250-240

О.А. Самойлов<sup>1, 2</sup>, Ю.А. Сахнин<sup>1</sup>, В.Н. Голошумова<sup>2</sup>, Ю.М. Бродов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ЗАО «Уральский турбинный завод», г. Екатеринбург,

<sup>2</sup> Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Предложен способ автоматизации пусковых и переходных режимов энергоблоков с теплофикационными турбинами Т-250/300-240 по контролю температурных напряжений, возникающих в корпусе ЦВД, так как современными методами провести термометрирование роторов, которые являются критическими элементами турбины, невозможно. При этом на всех режимах эксплуатации предлагается реализовать систему принудительного парового охлаждения РВД и РСД-1 турбины для снижения в них температурных разностей, что позволит вывести их из разряда «критических» элементов. Проведен патентный обзор различных схем и способов подготовки охлаждающего пара для систем принудительного парового охлаждения высокотемпературных роторов мощных паровых турбин с промежуточным перегревом пара с целью поиска оптимальной схемы. Рассмотрены способы осуществления естественного парового охлаждения роторов и границы их применения. Дан анализ рассмотренных схем и решений.

*Ключевые слова:* автоматизация пусковых режимов, паровая турбина, Т-250/300-240, системы парового охлаждения роторов паровых турбин.

В ЗАО «УТЗ» совместно с кафедрой «Турбины и двигатели» Уральского энергетического института УрФУ ведутся работы по обеспечению высокой маневренности, надежности и долговечности теплофикационных паровых турбин за счет автоматизации, углубленного контроля и управления параметрами оборудования [1].

На сегодня автоматизация пусковых и переходных режимов турбины Т-250/300-240 является весьма актуальной: из-за острой нехватки пиковых мощностей в московской энергосистеме энергоблоки с турбинами Т-250/300-240 должны покрывать пики энергосистемы и разгружаться во время прохождения провалов.

Анализ результатов исследования высокотемпературных узлов турбины Т-250/300-240 показал, что при пуске её из холодного состояния только в корпусе стопорного клапана температурные напряжения не превышают допустимых напряжений. Установлено [2], что в существующей конструкции турбины основными критическими элементами являются ротор высокого давления (РВД), ротор среднего давления – 1 (РСД-1) и внутренний корпус цилиндра высокого давления (ЦВД).

Организация контроля термонапряженного состояния роторов сложнее, чем для корпусов цилиндров паровых турбин.

В работе [3] предложен способ непрерывного управления термонапряженным состоянием рото-

ра паровой турбины на базе микропроцессорных устройств. Показана возможность моделирования указанных процессов с достаточной точностью в реальном времени на ограниченных вычислительных ресурсах, например, микроконтроллерах или неспециализированных компьютерах, не обладающих высокой производительностью при введении штатного измерения температуры металла ротора хотя бы в одной точке для идентификации расчетов.

Другая точка зрения на возможность реализации данного способа высказана в работе [4]: проводить термометрирование вращающихся с высокими окружными скоростями роторов современными средствами ненадежно.

По мнению авторов статьи, необходимо снизить уровень температурных напряжений в РВД и РСД-1, тогда оптимизацию пусковых режимов турбины Т-250-240 можно решить путем осуществления контроля термонапряженного состояния внутреннего корпуса ЦВД. Наиболее эффективным способом решения этой задачи является реализация технологии парового охлаждения высокотемпературных участков роторов паровых турбин. Это позволит снизить температурные разности в роторах и позволит вывести их из ряда «критических» элементов турбины.

Первые системы охлаждения роторов паровых турбин появились в 1960-х годах и в настоящее время получили широкое распространение за

рубежом. В России наибольшее распространение системы охлаждения получили для модернизаций турбин, выработавших свой парк ресурс как средство его продления. На сегодня системы охлаждения ротора среднего давления, разработанные ОАО «НПО ЦКТИ», реализованы при модернизациях турбин К-800-240 ЛМЗ, К-500-240 ХТГЗ, К-300-240 ЛМЗ, К-200-130 ЛМЗ, Т-250/300-240 УТЗ. Системы комплексного охлаждения роторов высокого и среднего давления реализованы при модернизациях турбин К-210-130 ЛМЗ и К-160-130 ХТГЗ.

Принцип работы любой системы парового охлаждения паровой турбины – подвод охлаждающего «холодного» пара к поверхности металла. Для возможности организации охлаждения к деталям турбины необходимо подводить охлаждающий пар с давлением большим, чем давление рабочего тела в охлаждаемой зоне, и с меньшей температурой, чем температура рабочего пара.

По способу подвода пара все системы можно разделить на две группы: пассивные (естественные) и активные (принудительные).

В *пассивной* системе охлаждения в качестве охлаждающего пара используется переток рабочего пара через пароразгрузочные отверстия при отрицательной корневой реактивности в ступени турбины. Для регулирующих ступеней используются пароразгрузочные отверстия, выполненные под углом к оси ротора (рис. 1), которые за счет создаваемого насосного эффекта подают пар из камеры регулирующей ступени в зону переднего концевое уплотнения цилиндра. Имеются случаи применения лопастей, устанавливаемых в разгрузочные отверстия, для нагнетания отработавшего в первых ступенях пара в зону паровпуска [5].

Известно [5], что температура металла ротора в зоне охлаждения снижается в среднем не более

чем на 20 °С по сравнению с температурой ротора без охлаждения. Расход, температура и направление течения охлаждающего пара зависят от многих факторов, например, от величины корневой реактивности ступени, от принятого теплоперепада, от объемного расхода пара через ступень, от соотношения коэффициентов расхода пароразгрузочных отверстий и диафрагменного уплотнения. При изменении режима работы турбины или при износе уплотнений эффективность работы такой системы охлаждения может снижаться.

Естественное охлаждение удобно организовывать в совмещенных конструкциях цилиндров высокого-среднего давления (ЦВСД), в которых в один цилиндр подводится как свежий пар, так и пар промперегрева. Известно два варианта конструкции таких цилиндров: с совмещением в одной зоне двух паровпусков (по типу ЦВСД Siemens или Toshiba) или с совмещением отвода «холодного» и подвода «горячего» пара промперегрева (как в турбинах К-160-130, СКР-100-300 ХТГЗ). Здесь охлаждение «горячей» зоны ротора происходит паром утечки через промежуточное уплотнение.

В *принудительных* системах охлаждения пар готовится отдельно и подводится в проточную часть турбины извне. Это позволяет осуществить тонкую настройку системы с наименьшим расходом охлаждающего пара, а также корректировать ее работу в процессе эксплуатации без останова турбины. Такие системы охлаждения более эффективны, так как позволяют обеспечить глубокое охлаждение высокотемпературных деталей. Они более универсальны: за счет регулирования температуры охлаждающего пара их можно использовать не только для охлаждения, но и для расхолаживания турбины под нагрузкой или прогрева при пусковых операциях. При использовании прину-

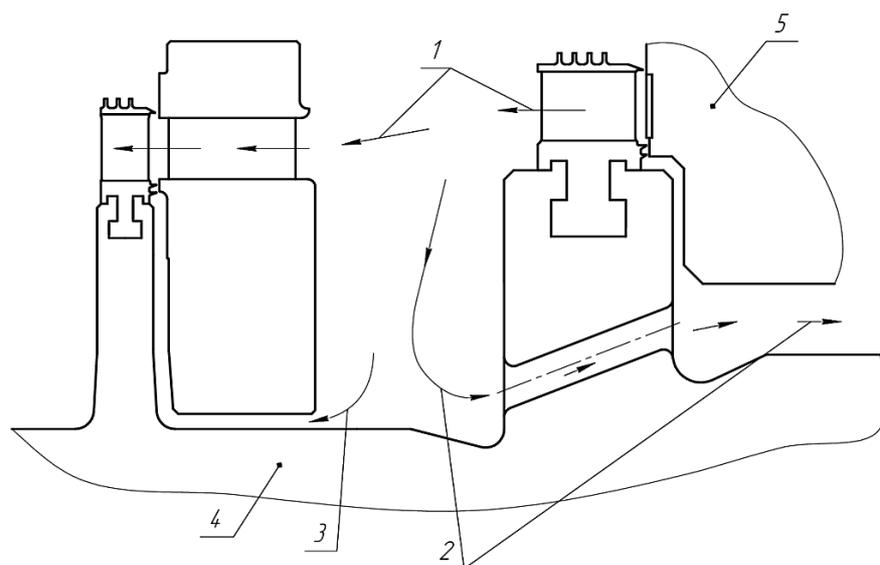


Рис. 1. Охлаждение регулирующей ступени: 1 – рабочий пар; 2 – переток рабочего пара через пароразгрузочное отверстие к зоне уплотнения; 3 – пар протечки через диафрагменное уплотнение; 4 – ротор; 5 – сопловая коробка

дательных систем охлаждения значительное внимание необходимо уделить выбору источника охлаждающего пара.

Для охлаждения ротора среднего давления турбины можно использовать пар из любого отбора ЦВД. Отбираемый на охлаждение пар не требует дополнительной подготовки, а его расходом можно управлять с помощью регулирующей арматуры, установленной на трубопроводе подвода пара. Как правило, используют первый отбор из ЦВД.

Отбираемый пар недовырабатывает мощность в проточной части ЦВД, а после охлаждения ЦСД большая его часть уходит в переднее концевое уплотнение цилиндра. Снижение мощности турбоустановки при этом частично компенсируется тем, что охлаждающий пар «запирает» рабочий пар горячего промперегрева и уменьшает его утечку через концевые уплотнения и диафрагменное уплотнение первой ступени ЦСД.

Системы принудительного охлаждения РВД менее распространены и используются для турбин на  $130 \text{ кгс/см}^2$ . В первую очередь, это связано с тем, что в России системы охлаждения реализовывались на модернизируемых турбоустановках как способ продления ресурса турбин, который, чаще всего, ограничивался ресурсом РСД как наиболее нагруженного в турбинах с промежуточным перегревом пара. РВД турбин сверхкритического давления находится в более щадящих условиях: диаметр ротора меньше, на него действует разгружающее усилие от давления пара.

С точки зрения снижения температурных напряжений в тех роторах турбины, которые являются «критическими», охлаждение ротора высокого давления так же необходимо. Пассивное охлажде-

ние при высокой начальной температуре пара ( $565 \text{ }^\circ\text{C}$ ) будет малоэффективно, поэтому необходима организация комбинированной системы принудительного охлаждения.

Для охлаждения РВД отбирается свежий пар между стопорным и регулирующими клапанами турбин как имеющий наибольшее давление. Затем отобранный пар необходимо охладить перед подачей его в зону охлаждения до необходимой температуры.

Известно несколько схем подготовки охлаждающего пара высокого давления.

Для турбины К-210-130 ЛМЗ использована схема, показанная на рис. 2 из [6]. Схема разработана авторским коллективом ОАО НПО ЦКТИ [6].

Для охлаждения РВД отобранный свежий пар охлаждается до температуры  $430 \text{ }^\circ\text{C}$  в паро-паровом теплообменнике (ППТО) и подается к концевому уплотнению цилиндра. В качестве охлаждающей среды в ППТО используется пар из выхлопа ЦВД, который, охлаждая свежий пар противотоком, нагревается до температуры  $435 \text{ }^\circ\text{C}$  и затем сбрасывается в линию горячего промперегрева. Пар для охлаждения РСД отбирается из первого отбора ЦВД и двумя отдельными паропроводами подводится к переднему концевому уплотнению цилиндра и к уплотнению диафрагмы второй ступени. Необходимый расход охлаждающего пара обеспечивается установленными на паропроводах ограничительными шайбами с байпасами.

В этом варианте, по мнению авторов, очевидны существенные недостатки. Применяется дорогостоящий паро-паровой теплообменник, который из-за низких коэффициентов теплопередачи имеет значительные габариты, что, в свою очередь, приводит к потерям давления, снижению экономично-

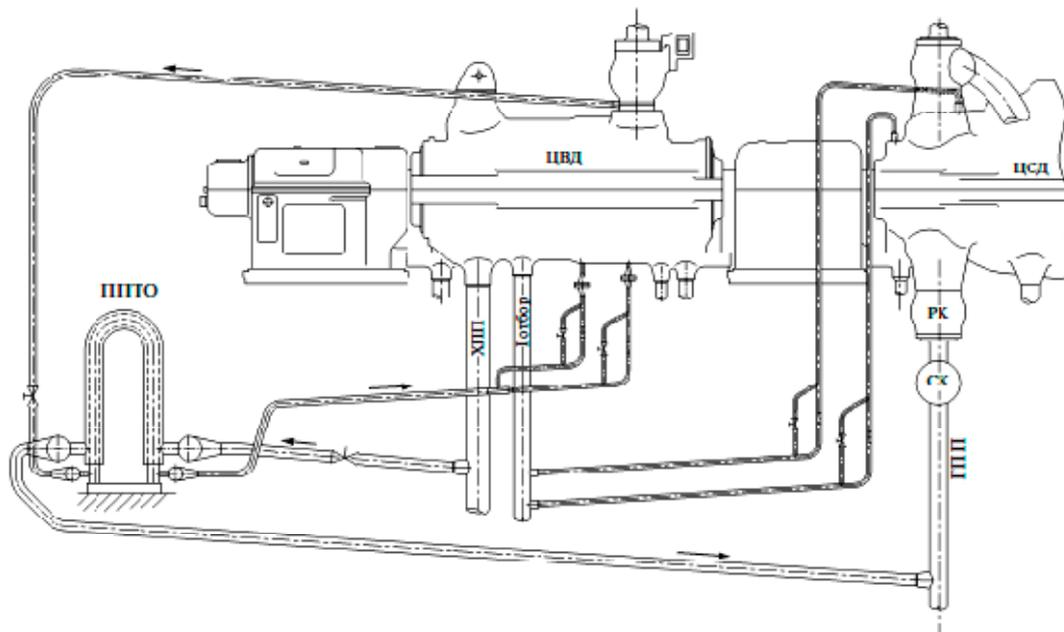


Рис. 2. Принципиальная схема СППО ЦВД и ЦСД К-210-130 ЛМЗ

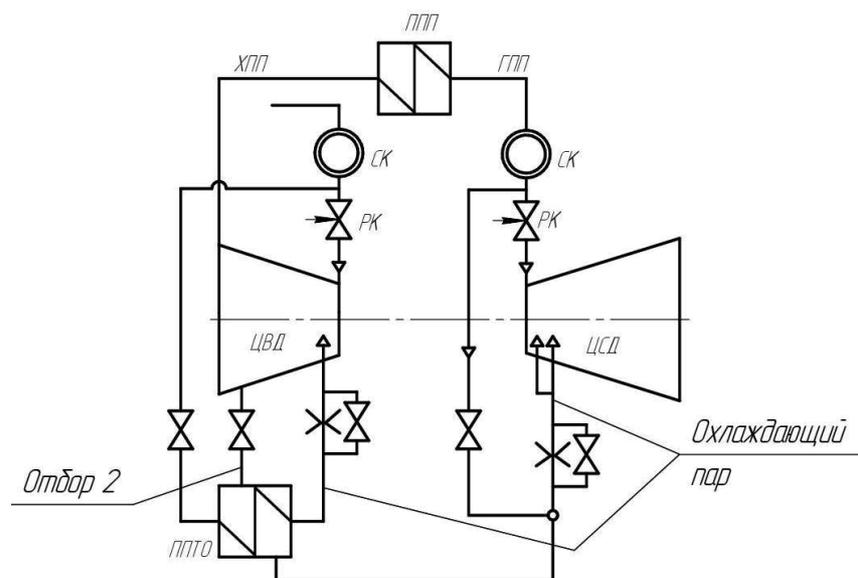


Рис. 3. Принципиальная схема СППО ЦВД и ЦСД

сти работы системы охлаждения. Отбираемые потоки пара имеют значительную недовыработку мощности. Достоинством схемы является ее надежность: фактически имеется две системы охлаждения, которые можно эксплуатировать независимо.

Вариаций этой схемы является схема, представленная на рис. 3 [7]. Здесь вместо двух отборов пара из ЦВД (из отбора № 1 и линии холодного промперегрева пара) осуществляется только отбор из паропровода отбора № 2 ЦВД. Пар отбора охлаждает свежий пар противотоком в паропаровом теплообменнике и поступает на охлаждение РСД. Так как температура обогреваемого пара оказывается недостаточно высокой, необходимо дополнительно нагреть его паром из горячей нитки промперегрева. Осуществление отбора пара из линии холодного промперегрева пара нецелесообразно: увеличивается расход греющего пара промперегрева для поддержания необходимой температуры охлаждающего пара.

Недостатком этой схемы является прямая зависимость требуемого расхода пара из отбора № 2 на паро-паровой теплообменник (ППТО) от расхода и требуемых параметров пара, подаваемого на охлаждение РВД. При этом весь расход нагреваемой среды теплообменника не работает в последнем отсеке ступеней ЦВД, а затем, вместе с расходом пара из линии горячего промперегрева, большей частью уходит через переднее концевое уплотнение ЦСД.

Исключить указанный недостаток можно с помощью технического решения, предлагаемого в патенте [8]. В этом решении предлагается выполнить теплообменник с промежуточным коллектором (рис. 4).

Здесь отбор обогреваемого пара выполняется из линии холодного промперегрева. Его расход так же определяется требуемым расходом пара нуж-

ных параметров на охлаждение ЦВД. При прохождении через ППТО часть обогреваемого пара отбирается на охлаждение ЦСД из коллектора, объединяющего каналы нагреваемой среды в том месте, где будет достигнута ее нужная температура. Другая часть пара нагревается в ППТО до температуры, близкой к температуре пара горячего промперегрева, и сбрасывается в ГПП. При этом подвод пара из линии горячего промперегрева не нужен. Охлажденный свежий пар направляется на охлаждение РВД. Требуемый расход охлаждающего пара как на РВД, так и на РСД ограничивается дроссельными шайбами, имеющими байпасы с вентилями.

Отказаться от ППТО высокого давления возможно в схеме с применением струйных (эжекторных) подогревателей (рис. 5) [9]. Здесь при работе паротурбиной установки на всех эксплуатационных режимах, включая пусковые, часть свежего пара отбирается после блока стопорно-регулирующих клапанов турбины и поступает в качестве рабочего пара в сопла эжекторов. На всасы эжекторов подается пар из линии холодного промперегрева. В эжекторах происходит нагрев пара из линии ХПП до требуемой температуры, после чего охлаждающий пар поступает на охлаждение РВД и РСД.

Выбор «коэффициента эжекции» и соотношения конструктивных размеров эжекторов зависит от требуемых расходов и параметров охлаждающего пара. Для повышения давления охлаждающего пара на подаче эжектора используется его диффузорная часть. Дроссельные шайбы, установленные на всех паропроводах подачи и отвода пара эжекторов, ограничивают требуемые расходы пара и их соотношение, а имеющиеся на них байпасы и вентили используются для первоначальной настройки системы охлаждения на номинальном

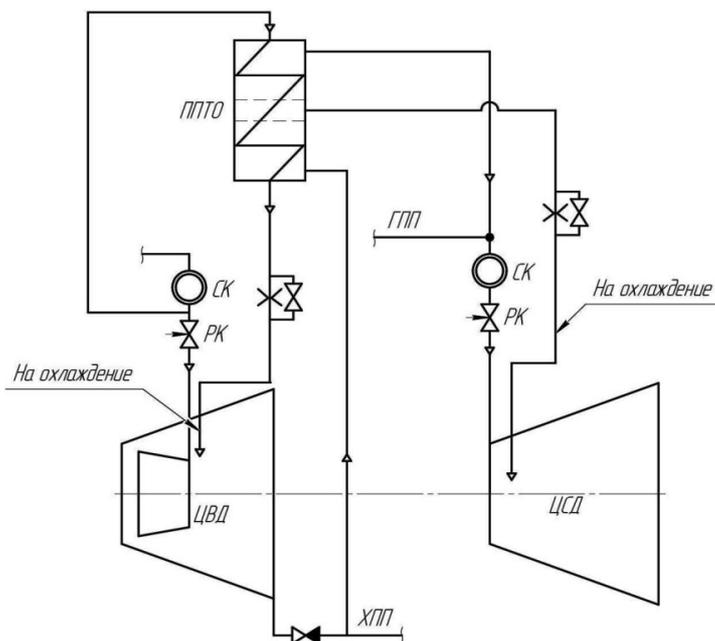


Рис. 4. Система СППО ЦВД и ЦСД с промежуточным коллектором в ППТО

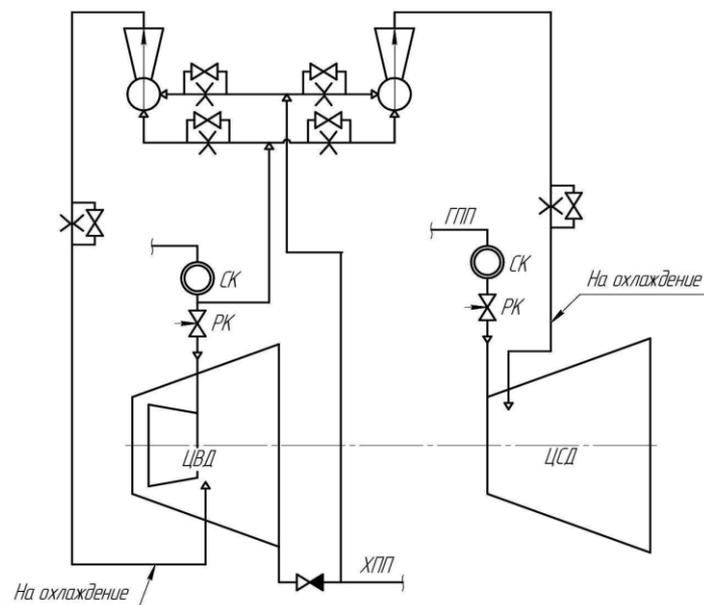


Рис. 5. Схема СППО ЦВД и ЦСД с эжекторами

режиме. Последующая работа системы охлаждения ведется в автоматическом режиме на всех нагрузках, включая пуски и остановки. Вместо двух эжекторов может быть установлен один двухступенчатый эжектор, рабочим паром второй ступени которого может служить тот же свежий пар либо пар с выхлопа первой ступени.

В этой схеме отсутствуют отборы пара из проточной части ЦВД, что является ее преимуществом. Недостатком схемы можно считать необходимость использования специальных эжекторов, рассчитанных на работу с большими расходами пара (порядка 1...7 кг/с вместо наиболее часто

используемых 0,1...0,3 кг/с) при высоком его давлении. При этом улучшение тепловой эффективности эжекторного подогревателя снижает степень восстановления давления, и наоборот. Также следует отметить высокую сложность настройки эжекторов, возможность точной настройки только в процессе эксплуатации.

Для охлаждения свежего пара возможно использовать впрыски питательной воды, отбираемой с из ступени питательного насоса (рис. 6) [10].

Здесь вода, отбираемая из трубопровода питательной воды или из промежуточной ступени питательного насоса, через форсунки впрыскивается

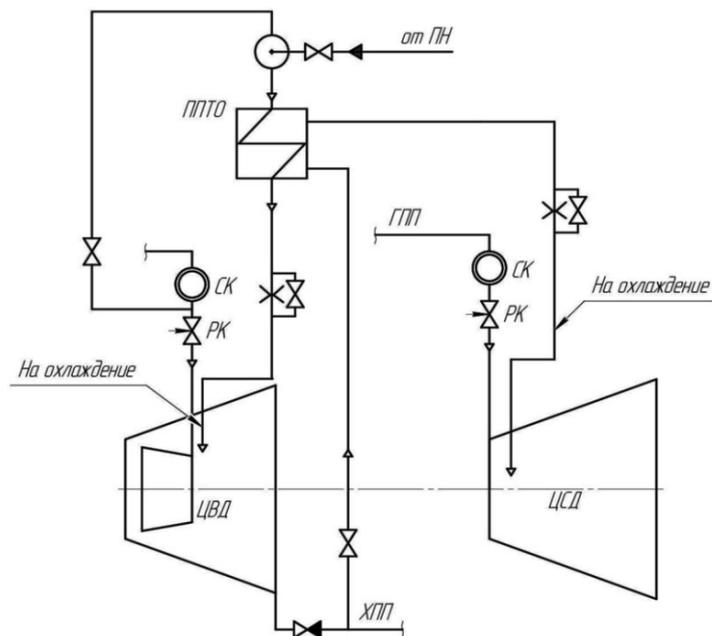


Рис. 6. Схема комбинированной СППО с впрыском питательной воды

в участок трубы, через которую проходит отбираемый на охлаждение свежий пар. Пароводяная смесь проходит через испарительный участок, выполняемый в форме змеевика, который расположен внутри поверхностного теплообмена и является его поверхностью теплообмена. В теплообменнике пар дополнительно охлаждается паром, который отбирается из выхлопа ЦВД. Нагреваемый пар затем поступает к устройствам охлаждения РСД, а охлажденный свежий пар – на охлаждение РВД.

Выполнение участка испарения влаги в форме змеевика может позволить обеспечить его длину, достаточную для обеспечения однородности смеси, идущей на охлаждение РВД при значительном уменьшении компоновочных габаритов. Теплообменник вместо развитой трубчатой системы имеет кольцевой змеевик.

Главное преимущество здесь – осуществление впрыска питательной воды в охлаждаемый свежий пар. Это позволяет существенно повысить интенсивность теплообмена, так как теплообмен осуществляется не в поверхностном теплообменнике, а в смешивающем пароохладителе.

Есть и существенный недостаток – сложно гарантировать полное испарение впрыскиваемой влаги и попадание ее в проточную часть.

Использование питательной воды для охлаждения свежего пара позволяет выполнить отбор пара из ХПП в систему охлаждения минимальным и независимым от параметров охлаждающего пара для РВД, так как необходимую регулировку можно производить регулированием впрысков питательной воды.

Реализация системы охлаждения, особенно системы охлаждения РВД, приводит, как уже упоминалось ранее, к снижению мощности турбо-

установки. Экономический эффект здесь достигается вследствие возможности экономить топливо на переходных режимах, повышения надежности работы энергооборудования.

При использовании предложенного способа автоматизации переходных режимов автоматический пуск турбоустановки с выключенной системой охлаждения окажется недопустим. Таким образом, основным критерием выбора схемы подготовки охлаждающего пара стоит выбрать ее надежность.

Независимость систем охлаждения РВД и РСД (по примеру первой схемы – рис. 2) позволяет повысить надежность схемы и гарантировать практически безотказную работу системы охлаждения РСД.

Экономичность работы в этом случае следует повышать путем максимального уменьшения расхода «холодного» пара, для чего необходимо точно рассчитать термонапряженное состояние ротора на переходных режимах с учетом работы системы охлаждения.

## Выводы

1. В статье предложена новая идея автоматизации пусковых и переходных режимов теплофикационной турбины Т-250/300-240 по контролю температурных напряжений, возникающих в корпусе ЦВД. При этом роторы высокого и среднего давлений турбины необходимо вывести из разряда «критических» элементов. Для уменьшения температурных напряжений в роторах до уровня, не превышающего предел текучести стали, можно использовать систему комбинированного принудительного парового охлаждения роторов.

2. Рассмотрены схемы и способы подготовки охлаждающего пара. Показано, что во всех случаях

для принудительного охлаждения РВД используется высокопотенциальный свежий пар, что приводит к снижению мощности турбоустановки. Для охлаждения свежего пара необходима установка специального теплообменника.

3. По мнению авторов, при реализации охлаждения РВД и РСД следует использовать первую из описанных схему с осуществлением раздельного охлаждения РВД и РСД как наиболее надежную и имеющую опыт эксплуатации на энергоблоках.

#### **Литература**

1. Управление пусковыми режимами теплофикационных паровых турбин в составе парогазовых установок / В.Н. Голошумова, Ю.М. Бродов, И.Ю. Кляйпрок, А.А. Смирнов // *Теплоэнергетика*. – 2012. – № 12. – С. 56–64.

2. Ивановский, А.А. Расчет термонапряженного состояния роторов высокого и среднего давления турбины Т-250/300-240 в зоне лабиринтовых уплотнений / А.А. Ивановский, В.Л. Похорилер, В.Н. Голошумова // *Электрические станции*. – 2008. – № 1. – С. 32–37.

3. Голошумова, В.Н. Моделирование температурного поля ротора паровой турбины для систем контроля его термонапряженного состояния / В.Н. Голошумова, Ю.М. Бродов, Смирнов А.А. // *Надежность и безопасность энергетики*. – 2013. – № 4(23). – С. 65–70.

4. Куличихин, В.В. Измерение температуры металла расточки роторов паровых турбин в переменных режимах работы / В.В. Куличихин // *Надежность и безопасность энергетики*. – 2013. – № 4 (23). – С. 71–73.

5. Плоткин, Е.Р. Пусковые режимы паровых турбин энергоблоков / Е.Р. Плоткин, А.Ш. Лейзерович. – М.: Энергия, 1980. – 192 с.

6. Хоменок, Л.А. Продление ресурса паровых турбин с помощью систем охлаждения термонапряженных участков ЦВД и ЦСД / Л.А. Хоменок, В.В. Божко, И.С. Леонова // *Теплоэнергетика*. – 2012. – № 3. – С. 21–25.

7. Паротурбинная установка: пат. RU 2053377 РФ: МПК F01K 17/04 / В.С. Шаргородский, Л.А. Хоменок, В.Л. Шилин, В.В. Чердниченко; заявитель и патентообладатель ОАО НПО ЦКТИ. – № 5036133/06; заявл. 26.03.1992, опубл. 27.01.1996, Бюл. № 8 – 5 с.

8. Паротурбинная установка: пат. RU 2319843 РФ: МПК F01K 17/00 / Л.А. Хоменок, И.С. Леонова, В.В. Божко, И.В. Чикилева, И.В. Зайцев; заявитель и патентообладатель ОАО НПО ЦКТИ. – № 2007141533/06; заявл. 08.11.2007, опубл. 10.06.2009, Бюл. № 16. – 5 с.

9. Паротурбинная установка: пат. RU 2358122 РФ: МПК F01K 17/00 / И.В. Чикилева, И.С. Леонова, Л.А. Хоменок, В.В. Божко, И.В. Зайцев; заявитель и патентообладатель ОАО НПО ЦКТИ. – № 2007141533/06; заявл. 08.11.2007, опубл. 10.06.2009, Бюл. № 16. – 5 с.

10. Комплексная система охлаждения роторов высокого и среднего давлений паровой турбины с промперегревом: пат. RU 2118461 РФ: МПК F01K 17/00/Л.П. Сафонов, А.П. Огуцов, М.В. Бакурадзе, А.Н. Коваленко, Л.Л. Вайнштейн, Н.Н. Гудков, В.Н. Митин, В.Н. Царев; заявитель и патентообладатель АО «Ленэнергоремонт». – Заявл. 19.07.1996, опубл. 27.08.1998. – 5 с.

**Самойлов Олег Александрович**, инженер, ЗАО «Уральский турбинный завод»; аспирант, кафедра «Турбины и двигатели» Уральского энергетического института, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург; elgg-sk@yandex.ru.

**Сахнин Юрий Абрамович**, начальник отдела паровых турбин, ЗАО «Уральский турбинный завод», г. Екатеринбург; yuasakhnin@utz.ru.

**Голошумова Вера Николаевна**, канд. техн. наук, доцент, кафедра «Турбины и двигатели» Уральского энергетического института, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург; v\_goloshumova@mail.ru.

**Бродов Юрий Миронович**, д-р техн. наук, профессор, кафедра «Турбины и двигатели» Уральского энергетического института, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург; turbine66@mail.ru.

*Поступила в редакцию 14 декабря 2015 г.*

## SELECTION OF STEAM COOLING TECHNOLOGY FOR HIGH-TEMPERATURE ROTOR AREAS AT T-250-240 COGENERATION STEAM TURBINE

O.A. Samoïlov<sup>1, 2</sup>, elgg-sk@yandex.ru,  
Yu.A. Sachnin<sup>1</sup>, yuasakhnin@utz.ru,  
V.N. Golochumova<sup>2</sup>, v\_goloshumova@mail.ru,  
Yu.A. Brodov<sup>2</sup>, turbine66@mail.ru

<sup>1</sup> CJSC "Ural Turbine Works", Ekaterinburg, Russian Federation,

<sup>2</sup> Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation

The authors of the paper propose a way for automation of start-up and transient modes of the power units completed with T-250/300-240 steam turbines based on control of thermal stresses within the HPC body because temperature-profiling rotors being critical turbine elements cannot be ensured with available methods. At this, the forced-steam cooling system of high and intermediate pressure rotors shall be implemented for all operation modes to reduce temperature differences, thus, their criticality. The paper provides a review of patents received for schemes and methods of preparation of cooling steam for the forced cooling system of high-temperature rotors of powerful steam turbines with reheat. It also specifies the best of them. The methods of the passive steam cooling of rotors and the limits of their application are discussed too. These schemes and solutions are estimated.

*Keywords:* forced steam-cooling system, automation of startup modes, steam turbine, T-250/300-240, steam-cooling systems of turbine rotors.

### References

1. Goloshumova V.N., Brodov Y.M., Klyaynrok I.Y., Smirnov A.A. [Management of Start-up Mode of Cogeneration Steam Turbine in a Combined Cycle]. *Thermal Engineering*, 2012, no. 12, pp. 56–64 (in Russ.)
2. Ivanovskiy A.A., Pohoriler V.L., Goloshumova V.N. [Calculation of Thermal Stress State of the High and Medium Pressure Rotors of Turbine T-250/300-240 in the Labyrinth Seals Area]. *Elektricheskie stantsii* [Power Plants], 2008, no. 1, pp. 32–37. (in Russ)
3. Goloshumova V.N., Brodov Y.M., Smirnov A.A. [Simulation of the Temperature Field of the Steam Turbine Rotor for Thermostressed State Control Systems]. *Safety and Reliability of Power Industry*, 2013, no. 4 (23), pp. 65–70. (in Russ.)
4. Kulichikhin V.V. [Measurement of Metal Temperature of the Steam Turbines Rotor Bore in Variable Modes]. *Safety and Reliability of Power Industry*, 2013, no. 4 (23), pp. 71–73. (in Russ.)
5. Plotkin E.R., Leizerovich A.S. *Puskovye rezhimy parovyh turbin energoblokov* [Starting Mode of Steam Turbines Units]. Moscow, Energiya Publ., 1980. 192 p.
6. Khomenok L.A., Bozhko V.V., Leonova I.S. [Life Extension of Steam Turbines using Cooling Systems of Thermostressed Parts of HPC and IPC]. *Thermal Engineering*, 2012, no. 3, pp. 21–25. (in Russ.)
7. Shargorodskij V.S., Homenok V.S., Shilin V.L., Cherdnichenko V.V. *Paroturbinnaja ustanovka* [Steam Turbine Unit]. Patent RF, no. 2053377, 1996.
8. Homenok V.S., Leonova I.S., Bozhko V.V., Chikileva I.V., Zajcev I.V. *Paroturbinnaja ustanovka* [Steam Turbine Unit]. Patent RF, no. 2319843, 2009.
9. Chikileva I.V., Leonova I.S., Homenok V.S., Bozhko V.V., Zajcev I.V. *Paroturbinnaja ustanovka* [Steam Turbine Unit]. Patent RF, no. 2358122, 2009.
10. Safonov L.P., Ogurcov A.P., Bakuradze M.V., Kovalenko A.N., Vajnshtejn L.L., Gudkov N.N., Mitin V.N., Carev V.N. *Kompleksnaja sistema ohlazhdenija rotorov vysokogo i srednego davlenij parovoj turbiny s promperegrevom* [The Integrated Cooling System of High and Medium Pressure Rotors of the Steam Turbine with Reheat]. Patent RF, no. 2118461, 1998.

Received 14 December 2015

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

К вопросу выбора технологии парового охлаждения высокотемпературных участков роторов теплофикационных паровых турбин Т-250-240 / О.А. Самойлов, Ю.А. Сахнин, В.Н. Голошумова, Ю.М. Бродов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2016. – Т. 16, № 1. – С. 5–12. DOI: 10.14529/power160101

### FOR CITATION

Samoïlov O.A., Sachnin Yu.A., Golochumova V.N., Brodov Yu.A. Selection of Steam Cooling Technology for High-Temperature Rotor Areas at T-250-240 Cogeneration Steam Turbine. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2016, vol. 16, no. 1, pp. 5–12. (in Russ.) DOI: 10.14529/power160101