

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ ТЕПЛООБМЕНА В СТОПОРНЫХ КЛАПАНАХ ТУРБИН УТЗ С ДАВЛЕНИЕМ СВЕЖЕГО ПАРА 12,8 МПа

### АННОТАЦИЯ

Стопорные клапаны относятся к числу “критических” элементов, условия прогрева которых определяют маневренные качества турбоустановки. В качестве инструмента для моделирования процесса прогрева стопорного клапана был использован ANSYS. Возможности ANSYS и высокая производительность современных компьютеров позволили обеспечить точное и достоверное решение многомерного, нестационарного температурного поля стопорного клапана. В статье приводятся результаты, позволившие определить условия теплообмена в стопорных клапанах турбин УТЗ с давлением свежего пара 12,8 МПа: Т-110/120-130, Т-185/210-130, ПТ-140/165-130, Р-100-130. Ранее были выполнены только грубые оценки условий теплообмена, основанные на одномерной модели температурного поля.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Известны результаты анализа прогрева стопорного клапана (СК) при пусках турбины ВКв-22, полученные Голынкиным А.А. и другими. Эти результаты обобщены критериальным уравнением

$$Nu=0,046Re^{0,8}Pr^{0,43},$$

приводимым в различных источниках [1],[2].

Другие данные, относящиеся к рассматриваемому элементу, неизвестны.

### 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ ПРОГРЕВА СТОПОРНОГО КЛАПАНА

В этой связи в рамках данной работы была поставлена задача определения коэффициентов теплоотдачи в СК турбин УТЗ на давление свежего пара 12,8 МПа, являющимся критическим элементом, определяющим маневренные свойства турбин при пусках и остановках.

Для этой цели была использована двухмерная осесимметричная модель СК с учетом его реальных геометрических размеров, основанная на методе конечных элементов. Расчетная схема СК приведена на рис.1.

Текущее температурное СК в ходе пуска из холодного состояния рассчитывалось на основании опытных данных по давлению свежего пара, частоте вращения и мощности турбины.

При моделировании температурного поля СК были использованы следующие допущения:

- задача решалась осесимметричная, т.е. не учитывалось наличие патрубков подвода и отвода пара;
- предполагалось, что крышка СК плотно прижата к корпусу стопорного клапана, т.е. термическим сопротивлением в месте их контакта можно пренебречь;

- предполагалось наличие идеальной изоляции на наружных поверхностях, т.е. коэффициент теплоотдачи на изолированной поверхности корпуса и крышки принимался равным нулю;

- при расчетах на обогреваемой поверхности крышки СК в месте расположения штока задавались граничные условия 1-го рода по результатам натурального термометрирования СК турбины.

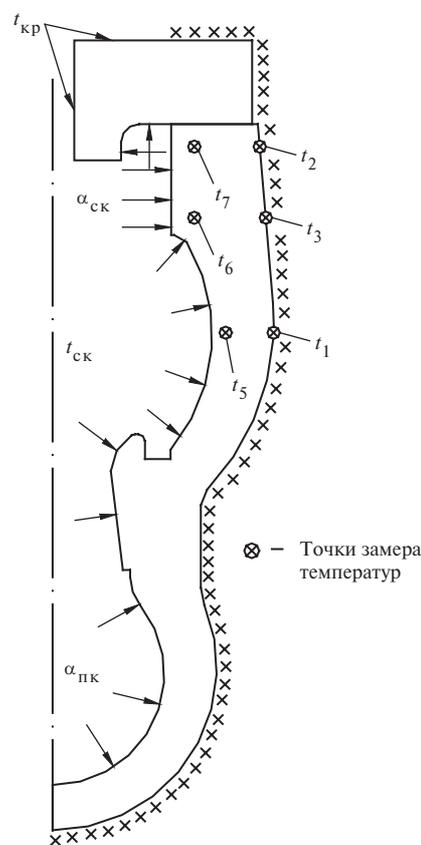


Рис.1. Осесимметричная расчетная схема стопорного клапана для моделирования температурного поля:  $\alpha_{фл}$ ,  $\alpha_{пк}$  – коэффициенты теплоотдачи от пара к фланцу и паровой коробке;  $t_{ск}$  – температура пара;  $t_{кр}$  – температура крышки;  $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6$  – точки замера температур

Эта модель была реализована с помощью известного программного комплекса ANSYS. При расчетах производилось варьирование коэффициентов теплоотдачи.

Отправным моментом служили коэффициенты теплоотдачи, рассчитанные по известному критериальному уравнению для трубы:

$$Nu=0,021Re^{0,8}Pr^{0,43}.$$

Полученные значения температур в контрольных точках СК сравнивались с экспериментальными значениями температур в этих точках, полученных при опытных пусках.

Изменяя коэффициенты теплоотдачи, добивались максимального совпадения опытных и расчетных значений температур.

Как известно, в соответствии с инструкцией по эксплуатации при пуске перед подачей пара в турбину производится операция предварительного прогрева СК. Эта операция заключается в подаче пара в открытый СК (при закрытых регулирующих клапанах) чрез байпас ГПЗ. На этом этапе пуска клапан прогревается за счет конденсации пара на холодных поверхностях омываемых элементов. Так как на поверхности обогреваемого элемента температура стенки равна температуре насыщения, то темп прогрева СК определяется скоростью роста этой температуры, т.е. скоростью изменения давления пара. Именно на этом этапе возникают наибольшие температурные разности. Поэтому особый интерес представляют результаты расчета и моделирование температурного состояния СК на этом этапе пуска.

В связи с вышесказанным первоначально моделирование процесса прогрева стопорного клапана было разбито на два этапа. На первом этапе пуска – прогрев за счет конденсации на обогреваемой поверхности СК — задавались граничные условия первого рода  $t_{ст}=t_s(p)$ , начальная температура СК была принята однородной по всему корпусу СК и равной 90°C, что соответствовало экспериментальным данным.

На втором этапе – прогрев за счет конвективного теплообмена на обогреваемой поверхности СК — задавались граничные условия третьего рода ( $\alpha(\tau)$ ,  $t_{пара}$ ), а начальные условия, т.е. распределение температур в корпусе СК, принимались из результатов расчета первого этапа. Именно на втором этапе проводился подбор коэффициентов теплоотдачи путем вариантных расчетов. Температура греющего пара задавалась согласно показаниям термомпары, измеряющей температуру среды за СК.

Однако при последующем анализе температур в контрольных точках было решено объединить оба этапа, а при предварительном прогреве задавать на обогреваемой поверхности СК граничные условия третьего рода согласно рекомендациям, данным в [3]. Коэффициенты теплоотдачи от пара к металлу на данном этапе прогрева были приняты равными  $\alpha=11630 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

Необходимо отметить, что реальный клапан имеет трехмерное температурное поле, вследствие наличия патрубков подвода и отвода пара. В этой связи были выполнены расчеты с использованием трехмерной модели, представленной на рис.2, с целью оценки влияния трехмерности на температурное поле в зоне, где в клапане возникают наибольшие температурные напряжения.

Как известно, такой зоной для СК УТЗ на давление 12,8 МПа является подфланцевая зона и максимум этих напряжений относится к начальной стадии

пуска – предварительному прогреву клапана паром, конденсирующимся на внутренней поверхности холодных стенок паровой коробки. Поэтому именно для этой зоны, было проведено сравнение температурных полей по 2- и 3-мерной моделям. Результаты сравнения показали незначительное влияние трехмерного температурного поля на условия прогрева в подфланцевой зоне.

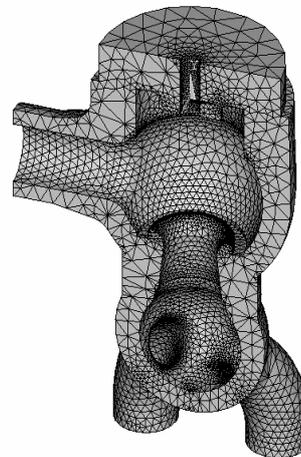


Рис.2. Трехмерная конечноэлементная модель СК

Данное обстоятельство говорит об удовлетворительности двухмерной осесимметричной расчетной схемы, которая позволяет упростить расчетную модель и сократить время расчета.

Результаты расчета коэффициентов теплоотдачи при конвективном теплообмене в СК были аппроксимированы критериальными уравнениями вида  $Nu=k \cdot Re^{0,8} Pr^{0,43}$  для корпуса и СК.

Для корпуса СК уравнение имеет вид

$$Nu=0,027Re^{0,8}Pr^{0,43};$$

для фланца СК

$$Nu=0,006Re^{0,8}Pr^{0,43}.$$

За определяющий размер и скорость в данных зависимостях были приняты внутренний диаметр паровпускного патрубка и скорость пара в нем.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в данной работе критериальные уравнения для коэффициента теплоотдачи позволяют рассчитывать температурные поля СК при пусках из различных тепловых состояний для турбин УТЗ: Т-110/120-130, Т-185/210-130, ПТ-140/165-130, Р-100-130. Эта информация необходима для совершенствования действующих и разработки новых инструкций по эксплуатации.

## СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

ГПЗ – главная паровая задвижка;

СК – стопорный клапан;

УТЗ – Уральский турбинный завод;

$\alpha$  - коэффициент теплоотдачи,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ;

$\tau$  - время, мин;

$t_{ст}$  - температура стенки, °C;

$t_s(p)$  – температура насыщения, °C;

Nu – число Нуссельта;  
Pr – число Прандтля;  
Re – число Рейнольдса.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. **Плоткин Е.Р., Лейзерович А.Ш.** Пусковые режимы паровых турбин энергоблоков. М.: Энергия, 1980. 192 с.
2. **Похорилер В.Л., Попкова Н.Ю.** Управление тепловым состоянием стопорного клапана при автоматизированном пуске турбины К-800-240-5. Энергетическое машиностроение. Выпуск 42. Харьков: Вища школа, 1986. С. 64-71.
3. **Розенберг С. Ш., Сафонов Л. П., Хоменок Л. А.** Исследование мощных паровых турбин на электростанциях. М.: Энергоатомиздат, 1994. 272 с.