

УДК 621.165

## ПЕРЕВОД ТУРБИНЫ ПТ-60-130/13 В РЕЖИМ РАБОТЫ С УХУДШЕННЫМ ВАКУУМОМ И ОРГАНИЗАЦИЕЙ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ПОДОГРЕВА СЕТЕВОЙ ВОДЫ

Сидорук Ю.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Пантелей Н.В.

На ряде турбин высокого давления в связи с их неудовлетворительным техническим состоянием произведено удаление последних ступеней. В таких условиях целесообразным является модернизация части турбин с переводом их в режим ухудшенного вакуума и организацией двухступенчатого (конденсатор – сетевой подогреватель) подогрева сетевой воды.

Это решение является выгодным в связи с тем, что тепловые нагрузки, отпускаемые с горячей водой, проектируемой ТЭЦ постоянно растут, и в зимний период для обеспечения заданного отпуска теплоты требуется включение пиковых источников теплоты, что не позволяет вырабатывать электрическую энергию на внешнем тепловом потреблении.

В теплофикационных турбинах с регулируемыми отборами (без ступенчатого подогрева сетевой воды) конденсатор может использоваться в качестве первой ступени подогрева сетевой воды, благодаря чему возможна выработка дополнительной теплофикационной мощности на потоке пара, поступающего в конденсатор.

Перевод турбины на режим ухудшенного вакуума технологически не очень сложен и обычно осуществляется силами ремонтных организаций без привлечения турбинных заводов. При этом следует учитывать ограничение повышения конечного давления до  $p_k = 0,3$  бар и повышение температуры выхлопного патрубка  $t_k = 90$  °С. Превышение этих параметров приведет к аварийному отключению турбины.

При переводе на режим работы с ухудшенным вакуумом реконструируются проточная часть с удалением последних ступеней части низкого давления, тепловая схема и схема уплотнений, организуется система защиты, остающейся в работе последней ступени. Также осуществляется подвод сетевой воды к конденсатору и, при необходимости, усиливается конденсатор. Возможен как перевод на постоянный режим работы с ухудшенным вакуумом, так и сезонный, то есть с подводом в конденсатор сетевой и циркуляционной воды.

При переводе турбины на ухудшенный вакуум возможны следующие варианты:

- возможность работы только на сетевой воде (вариант 1);
- возможность перевода с сетевой воды на циркуляционную и обратно без останова турбоустановки (вариант 2).

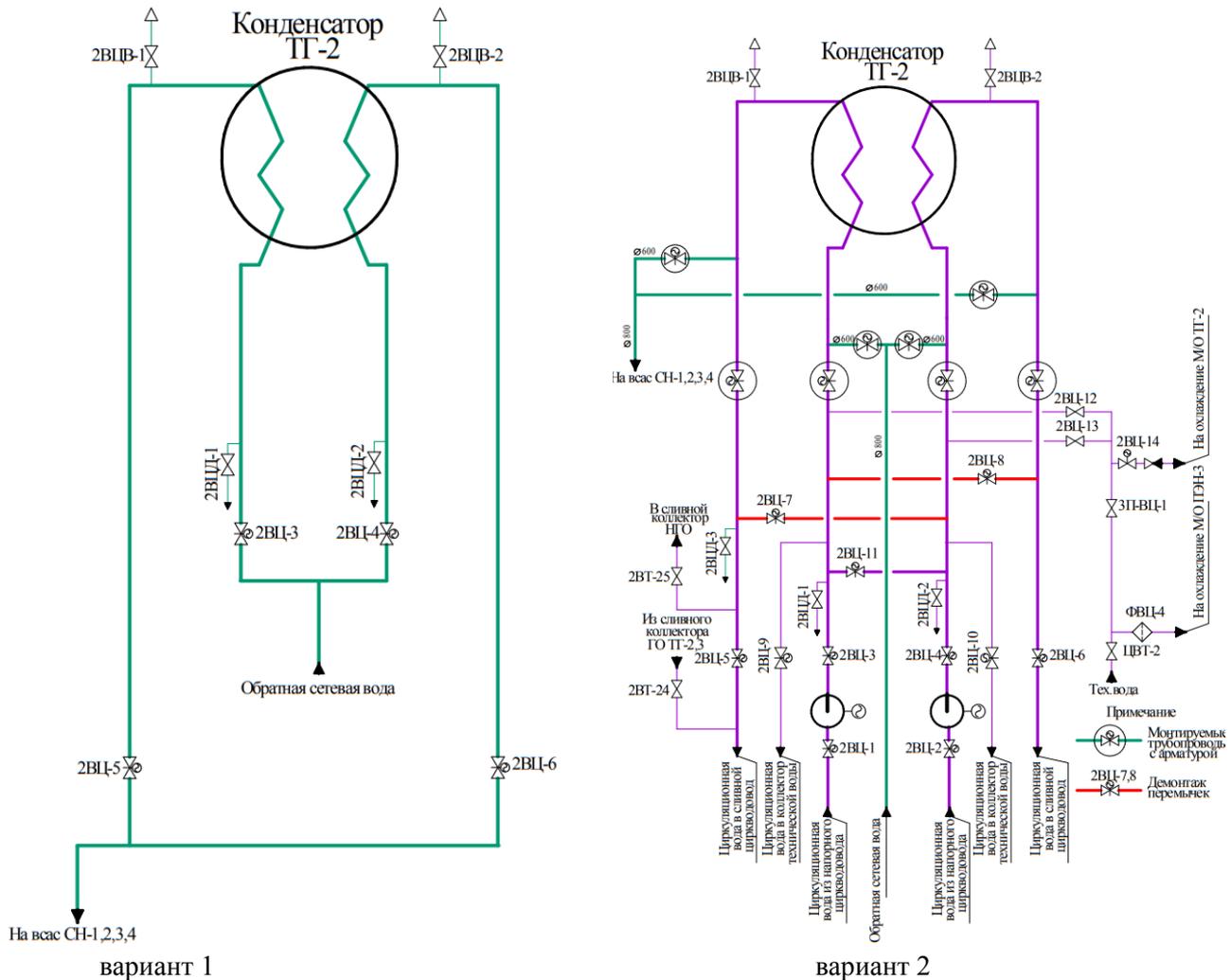
Изменения в тепловой схеме представлены на рисунке 1.

Рассмотрим работу конденсатора по варианту 1. Для охлаждения вспомогательного оборудования (газоохладители генератора, маслоохладители

ТГ-2, маслоохладители ПЭН-3) используются подача охлаждающей воды общего коллектора ТГ-1, 3.

Однако, при всей простоте этой схемы, у нее есть один существенный недостаток – при аварии в тепловых сетях и резком уменьшении расхода охлаждающей (сетевой) воды, происходит резкий аварийный останов турбины, что может привести к лавинообразным отключениям в энергосистеме.

При работе по варианту 2 для охлаждения вспомогательного оборудования (газоохладители генератора, маслоохладители ТГ-2, маслоохладители ПЭН-3) используются подача охлаждающей воды от ЦН ТГ-2 и общего коллектора ТГ-1,2,3.



Для обеспечения более высокой надежности и маневренности турбоустановки выбираем вариант 2, так как он позволяет работать турбоагрегату как по тепловому, так и по электрическому графику, покрывать базовые (при подаче в конденсатор сетевой воды) и пиковые (при подаче циркуляционной воды) нагрузки. Также применение этой схемы позволяет избежать аварийного останова турбоагрегата при аварии в тепловых сетях и прекращении подачи сетевой воды в конденсатор, так как присутствует возможность перехода на циркуляционную воду без останова турбины.

Недостатком этого варианта является возможность попадания циркуляционной воды в сетевую.

Прочностные расчеты показали, что для устранения недостатка варианта 2 необходимо провести мероприятия по усилению трубных досок дополнительными анкерными связями. Заводская конструкция конденсатора рассчитана на максимальный перепад давления между водяной и паровой камерой конденсатора 0,15 МПа. А расчетный перепад давления при переходе турбоустановки на ухудшенный вакуум между водяной и паровой камерой конденсатора может составлять 0,47 МПа. Для надежной работы конденсатора существующее количество анкерных связей трубных досок необходимо увеличить с 14 до 36.

Также при работе по варианту 2 необходимы следующие изменения в схеме турбины:

- должна быть предусмотрена реконструкция трубопроводов сетевой воды, обеспечивающая подвод и отвод сетевой воды к и от конденсатора (в основную поверхность) с возможностью подключения одной или обеих его половин, двухступенчатый подогрев сетевой воды в конденсаторе и бойлерной установке турбины. Выполнить байпас конденсатора по сетевой воде с установкой на нем дискового затвора;

- должна быть обеспечена возможность работы турбины с подачей в конденсатор при необходимости циркуляционной воды, т.е. схема подвода и слива циркуляционной воды сохраняется. Рекомендуются заменить чугунную арматуру на стальную класса плотности А;

- демонтировать байпасы правой и левой половин конденсатора по циркуляционной воде;

- предусмотреть питание маслоохладителей ТГ-2 и ПЭН-3 от напорного коллектора циркуляционных насосов ТГ-1,2,3, для чего трубопровод циркуляционной воды с задвижкой 2 ВЦ-9 демонтировать, демонтировать участок трубопровода циркуляционной воды от задвижки 2 ВЦ-10 до врезки в трубопровод циркуляционной воды за задвижкой 2 ВЦ-4. Трубопровод ц/в от задвижки 2 ВЦ-10 подключить к линии подачи циркуляционной воды на маслоохладители ТГ-2 и ПЭН-3;

- предусмотреть замену компенсаторов на трубопроводах циркуляционной воды турбоагрегата;

Схема работы турбоагрегата на ухудшенном вакууме представлена на рисунке 2.

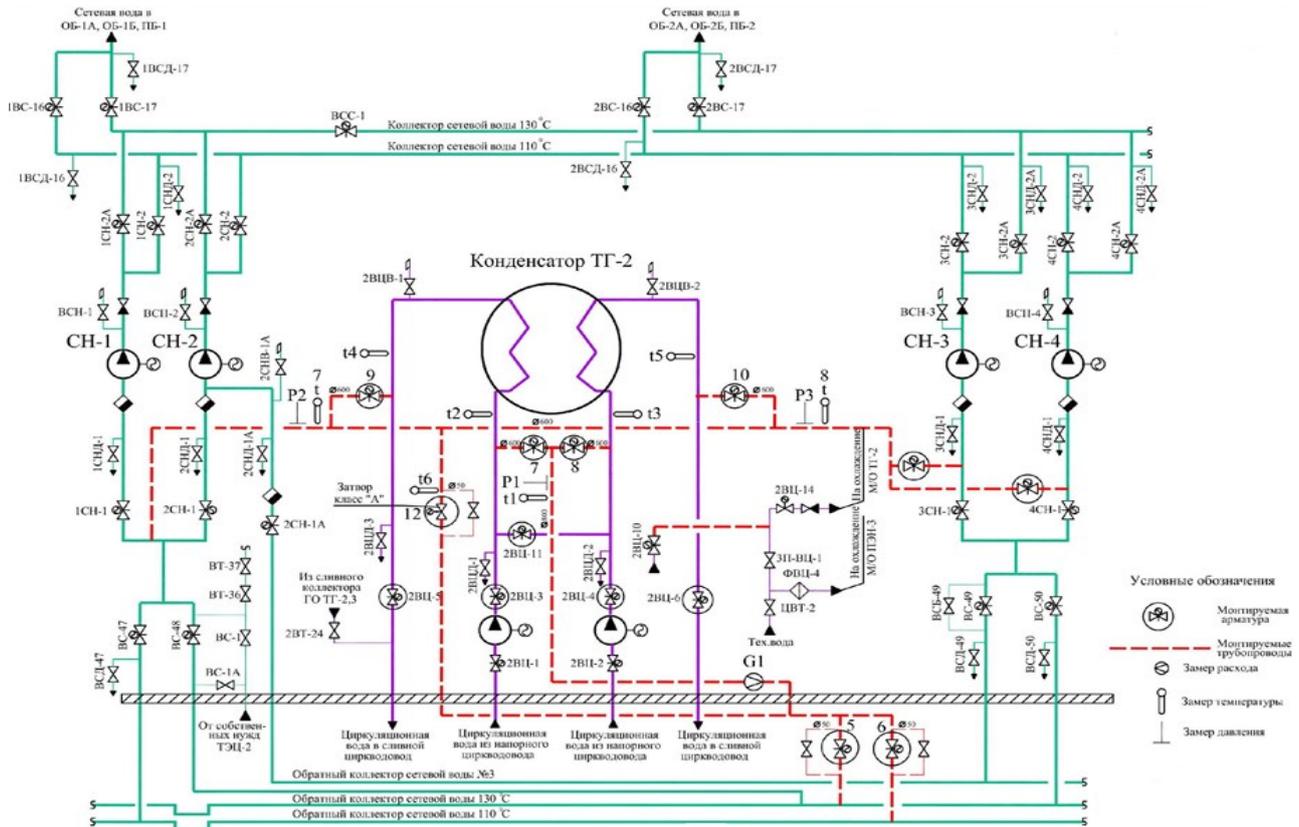


Рисунок 2. Схема работы турбоагрегата на ухудшенном вакууме

Серьезным недостатком при работе с ухудшенным вакуумом является существенное повышение температуры пара в выходном патрубке и в заднем подшипнике турбины (особенно если корпус этого подшипника выполнен заодно с выходным патрубком), что может привести к недопустимой вибрации турбины. При работе в режиме ухудшенного воздуха желательно вести эксплуатационный контроль за упорным подшипником. Обычно в теплофикационных турбинах должна быть организована система охлаждения последней ступени. Однако, такой впрыск может быть причиной повышенной эрозии выходных кромок последних лопаток при его неудачной организации.

Для обеспечения допустимой температуры выхлопной части турбины (менее 80 °С) на режимах с минимальным расходом пара в ЧНД – при закрытой (и даже уплотненной) поворотной диафрагмой Т-отбора, на малой (до 30 % от номинальной) нагрузке, а также при пуске турбины устанавливается система охлаждения выхлопного патрубка турбины. В результате установки системы охлаждения повышается надежность и экономичность работы турбины.

Работа системы охлаждения основывается на активном охлаждении, то есть непосредственном впрыске перегретого конденсата в зону наибольшей температуры пара. Впрыск выполняется на периферию за рабочей лопаткой последней ступени специальными центробежными механическими форсунками.

Источником воды является собственный конденсат турбины, взятый за ПНД-4 или конденсат из всасывающего коллектора ПЭН (используется как

независимый источник при пуске турбины, когда температура собственного конденсата недостаточна для качественного распыла).

Система активного охлаждения работает следующим образом: вода на охлаждение выхлопного патрубка подается через водяной фильтр к кольцевому коллектору, расположенному в выхлопном патрубке турбины на периферии за рабочими лопатками последней ступени (бывшего рабочего колеса последней ступени, т.к. она удалена).

Для распыла конденсата используются центробежные механические форсунки (16 штук – по 8 штук сверху и снизу) с винтовым завихрителем в каждой. Форсунки размещаются равномерно по окружности на кольцевом коллекторе, выполненном из двух (верхнего и нижнего) полуколец  $\text{Ø}25 \times 2$ , закрепленных хомутами на сварке к диффузору выхлопного патрубка на периферии за рабочей лопаткой последней (бывшей) ступени. Факел распыла форсунок направлен от последней ступени турбины к оси под углом  $45^\circ$  к вертикальной плоскости в сторону генератора. Подвод конденсата к кольцевому коллектору выполнен двумя линиями (к верхнему и нижнему полукольцам) через стенку выхлопного патрубка выше и ниже горизонтального разъема на фланцах.

На рисунке 3 показана принципиальная схема системы охлаждения выхлопного патрубка турбины.

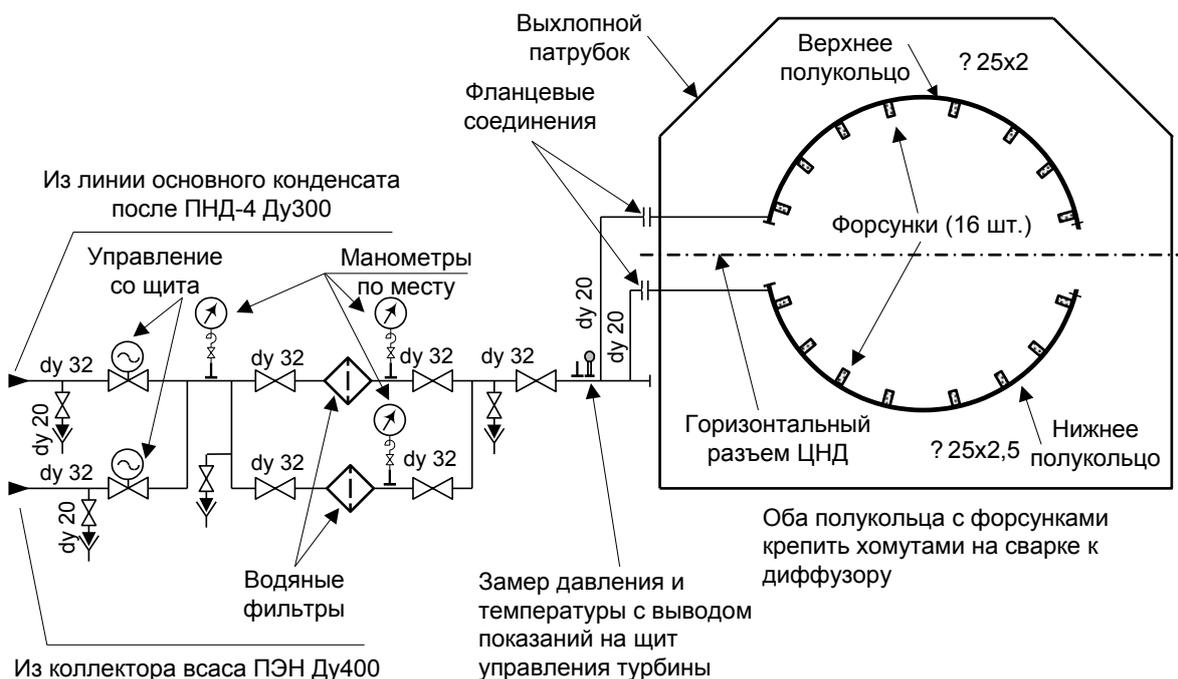


Рисунок 3. Принципиальная схема системы охлаждения

Предусматриваются следующие номинальные параметры воды перед форсунками:  $t = 120-140^\circ\text{C}$ ,  $P = 0,6-0,8\text{ МПа}$ . В случае, если давление после фильтра станет ниже  $0,4\text{ МПа}$ , эффективность схемы существенно снизится, при этом качество распыла становится недопустимо низким, растет эрозионная опасность для рабочей лопатки последней ступени. Для предотвращения этого схема охлаждения должна быть отключена, а диафрагма нижнего отбора открыта для нормализации температуры выхлопа. Также необходимо очистить

фильтр, переключившись на резервный, и если давление не восстанавливается, следует произвести осмотр и ревизию форсунок на остановленной турбине.

В целях ремонтпригодности системы и ее отсоединения от выхлопного патрубка при вскрытии ЦНД подвод воды к верхнему и нижнему полукольцам коллектора выполняется через фланцевые соединения.

#### Литература

1. Паровые и газовые турбины для электростанций / А.Г. Костюк [и др.]; под редакцией А.Г. Костюка. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2016 – 557 с.
2. Трухний, А.Д. Стационарные паровые турбины / А.Д. Трухний – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 636 с.