

Васькин В.В., технический директор ЗАО «НЕВЭНЕРГОПРОМ-ПЛЮС»

Тепловые схемы систем охлаждения вспомогательного оборудования мини-ТЭЦ с паровыми турбоагрегатами

При строительстве мини-ТЭЦ с использованием паровых турбоагрегатов на базе промышленно-отопительных котельных необходимо обеспечить охлаждение вспомогательного оборудования. В условиях существующего предприятия со сложившейся инфраструктурой выбор возможных технических решений имеет некоторые ограничения.

В машзале мини-ТЭЦ устанавливается оборудование с принудительным охлаждением: холодильник эжектора турбины рекуперативного типа, конденсатор пара уплотнений смешительного типа, маслоохладители турбины и генератора, теплообменники охлаждения генератора. Обычно охлаждающей средой является вода. Для некоторых турбоагрегатов производства ОАО «Калужский турбинный завод (КТЗ)» (например, для турбогенераторов типа «Кубань-0.5», «Кубань-0.6», «Кубань-0.75») охладители генератора выполняются с воздушным охлаждением по разомкнутому циклу.

Строительство и пуск мини-ТЭЦ происходят в условиях работающей котельной. Поэтому обязательным требованием при разработке системы охлаждения вспомогательного оборудования турбоагрегатов является минимальное изменение тепловой схемы и режимов работы котельной.

Охлаждающая вода должна удовлетворять условиям, предъявляемым к ней производителями турбоагрегатов. В технических условиях на турбоагрегат заданы максимальные значения давления и температуры воды на входе, степень механической очистки и химические свойства охлаждающей воды.

Параметры охлаждающей воды для различного вспомогательного оборудования отличаются и должны обеспечиваться при разработке тепловой схемы охлаждения и гидравлических режимов системы охлаждения. Эти требования могут отличаться для различных типов и типоразмеров паровых турбоагрегатов.

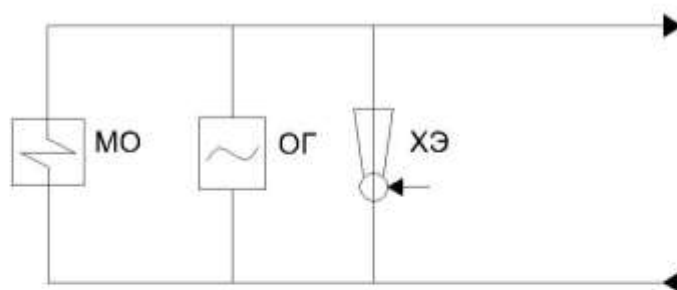
При применении водопроводной воды в качестве охлаждающего агента необходимо на выходе из системы охлаждения мини-ТЭЦ обеспечить отсутствие в ней механических примесей и следов масла с целью дальнейшего ее использования.

Названные выше требования необходимо учитывать при разработке тепловой схемы системы охлаждения. Их совокупность определяет выбор гидравлической схемы соединения теплообменников, необходимость применения промежуточных теплообменников, величину давления, механические и химические свойства потока охлаждающей воды.

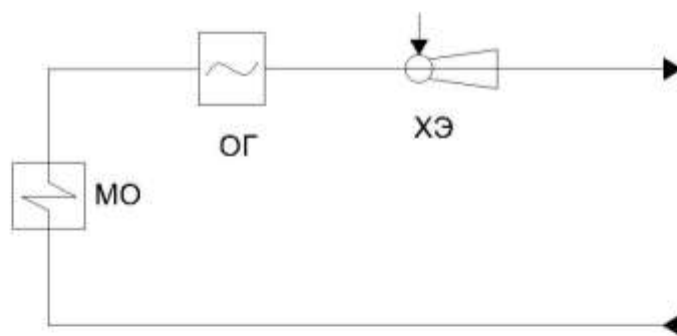
В настоящей статье приводится классификация схем охлаждения вспомогательного оборудования мини-ТЭЦ с паровыми турбоагрегатами.

1. Схемы соединения теплообменных аппаратов.

Применяются параллельная (рис. 1а) и последовательная (рис. 1б) схемы соединения теплообменников друг с другом. Вид подключения зависит от температуры охлаждающей воды. При невысоком нагреве воды в каждом теплообменнике возможен выбор последовательной схемы их подключения. Такая схема обычно характеризуется меньшей протяженностью трубопроводов, но большими значениями их диаметров. Обычно для паровых блочных турбогенераторов производства ОАО “КТЗ” используется последовательная схема, для паровых турбоустановок на средние параметры пара – параллельная схема. Напор подкачивающих насосов в схеме с последовательным соединением теплообменников выше в сравнении с параллельной схемой.



а)



б)

Рис. 1. Схемы соединения теплообменных аппаратов

а) параллельная схема; б) последовательная схема.

ХЭ - холодильный эжектор; ОГ - охладитель генератора; МО - маслоохладитель.

2. Прямоточная схема охлаждения.

Наиболее простой по исполнению является прямоточная схема охлаждения (рис. 2). Теплообменники маслоохладителя, электрогенератора и холодильник эжектора для паровых блочных турбогенераторов производства ОАО “КТЗ” последовательно подключаются к системе охлаждения технической или водопроводной воды. Вода проходит через теплообменники, нагревается до 30-40 °С, затем сбрасывается в канализацию.

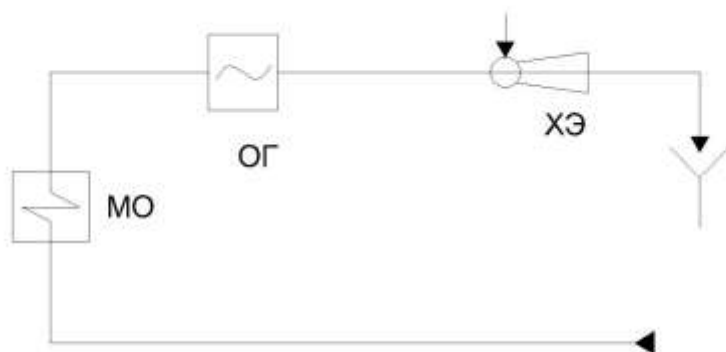
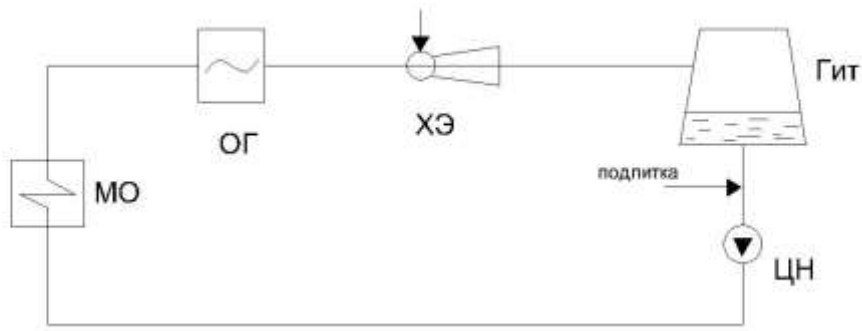


Рис. 2. Схема прямоточного охлаждения
ХЭ - холодильник эжектора; ОГ - охладитель генератора;
МО - маслоохладитель.

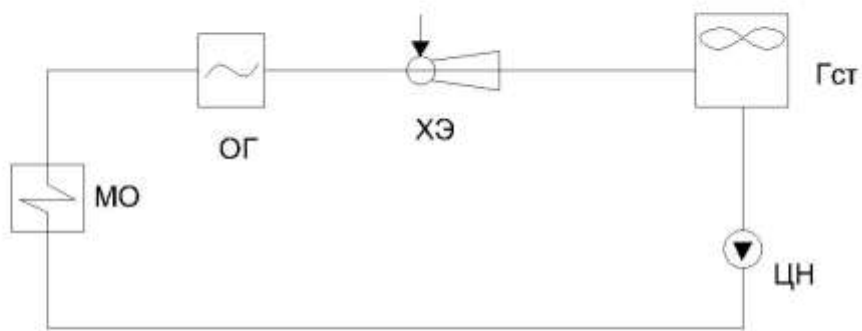
Несмотря на простоту схемы, сброс нагретой воды является неэкономичным, так как приводит к значительным затратам на потребление и сброс воды в канализацию, а также потере отводимого тепла. Её применение можно рекомендовать лишь в крайних случаях при отсутствии возможности использовать более рациональные схемы охлаждения.

3. Схема с обратным водоснабжением.

В схеме на рис. 3 представлен цикл обратного водоснабжения с охлаждением нагретой воды в градирне испарительного типа (рис. 3а), либо в сухой градирне (аппарате воздушного охлаждения) (рис. 3б). В этом случае отводимое тепло также не используется.



а)



б)

Рис. 3. Схемы с обратным водоснабжением.

а) с градирней испарительного типа; б) с сухой градирней.

ХЭ - холодильник эжектора; ОГ - охладитель генератора; МО - маслоохладитель; Гит - градирня испарительного типа; Гст - градирня сухого типа; ЦН - циркуляционный насос.

В схеме с градирней испарительного типа необходимо предусмотреть подпитку контура в размере 2-10% циркулирующего расхода.

4. Схема с непосредственным подключением к трубопроводу охлаждающей воды.

Распространенной схемой охлаждения вспомогательного оборудования мини-ТЭЦ является схема с непосредственным подключением теплообменников к трубопроводу охлаждающей воды (рис. 4а-4в) без использования дополнительных насосов. Охлаждающая вода забирается из трубопровода технической, водопроводной, либо другого подходящего по параметрам потока воды. Весь поток или его часть подается в теплообменники вспомогательного оборудования, нагревается в них и возвращается в тот же трубопровод, смешиваясь с оставшимся потоком. Роль такого потока обычно выполняет сырая вода котельной, используемая для приготовления

подпиточной или питательной воды. Подключение к трубопроводу охлаждающей воды может быть выполнено с установкой секционирующей задвижки при использовании всего потока воды (рис. 4а), дроссельной шайбы (рис. 4б) или регулирующей арматуры (рис. 4в) при отборе в систему охлаждения требуемого расхода воды. Во всех случаях необходимо компенсировать гидравлическое сопротивление системы охлаждения за счет напора, создаваемого насосной группой, обеспечивающей необходимое давление в трубопроводе охлаждающей воды. Такая схема может быть реализована при достаточно высоком давлении в трубопроводе охлаждающей воды, не превышающем расчетное давление теплообменных аппаратов.

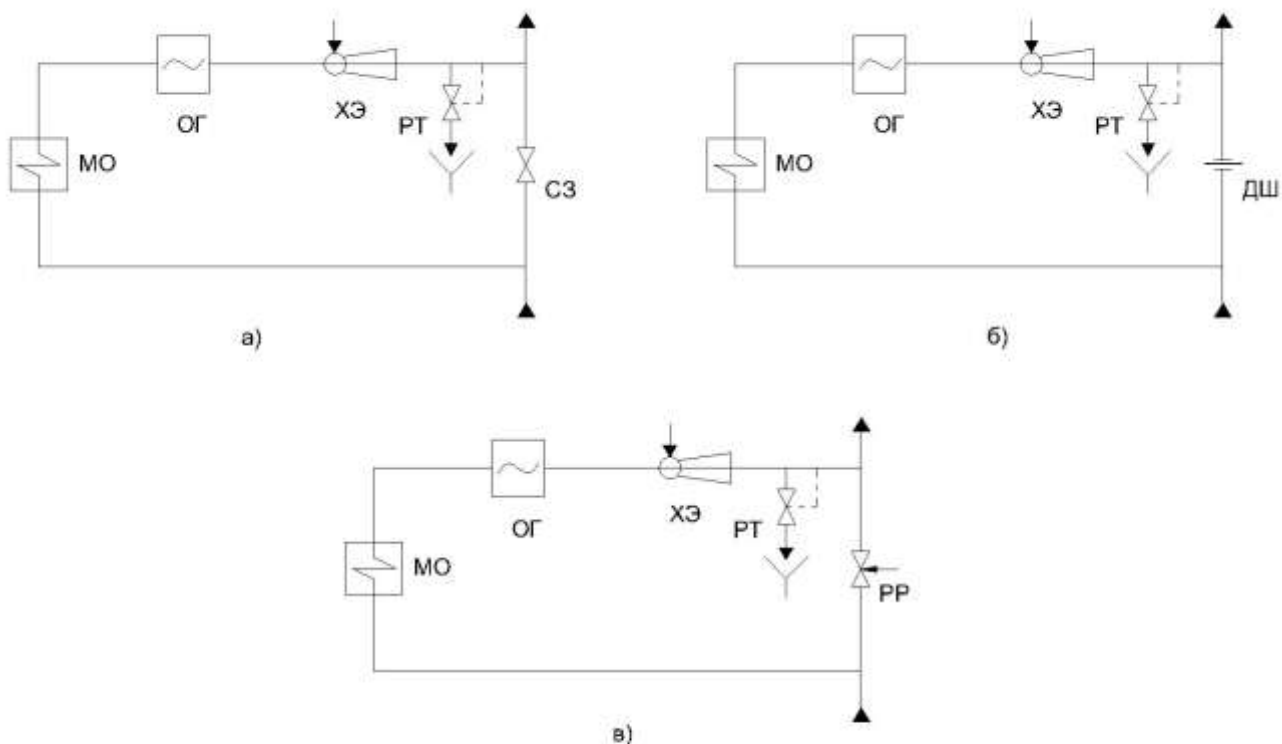


Рис. 4. Схема с непосредственным подключением к трубопроводу охлаждающей воды
а) схема с использованием всего потока воды; б) и в) схемы с использованием части потока воды.
ХЭ - холодильник эжектора; ОГ - охладитель генератора; МО - маслоохладитель; РР - регулятор расхода; ДШ - дроссельная шайба; СЗ - секционирующая задвижка; РТ - регулятор температуры.

Кроме того, широко применяются схемы охлаждения с дополнительными насосами, имеющими в зависимости от параметров исходной воды различное исполнение.

При низком, либо существенно изменяющемся с течением времени давлении воды в трубопроводе охлаждающей воды необходимо использовать подкачивающие (повысительные) насосы (рис. 4г, 4д). Их применение позволяет стабилизировать расход воды через теплообменники в условиях переменного давления без использования регулирующей арматуры. В зависимости от величины давления воды и расчетного давления теплообменных аппаратов, подкачивающие насосы могут располагаться как до (рис. 4г), так и после (рис. 4д) теплообменных ап-

паратов. Расход воды в трубопроводе охлаждающей воды определяется потребностью других потребителей воды, расположенных ниже по течению. При снижении расхода охлаждающей воды в трубопроводе охлаждающей воды до значения, меньшего производительности подкачивающего насоса, возникает рециркуляция в контуре системы охлаждения вспомогательного оборудования, приводящая к росту температуры воды с течением времени. Объем воды в контуре циркуляции играет роль теплового аккумулятора. При достижении предельно допустимой температуры воды на входе в теплообменные аппараты необходимо предусмотреть автоматический сброс нагретой воды в канализацию.

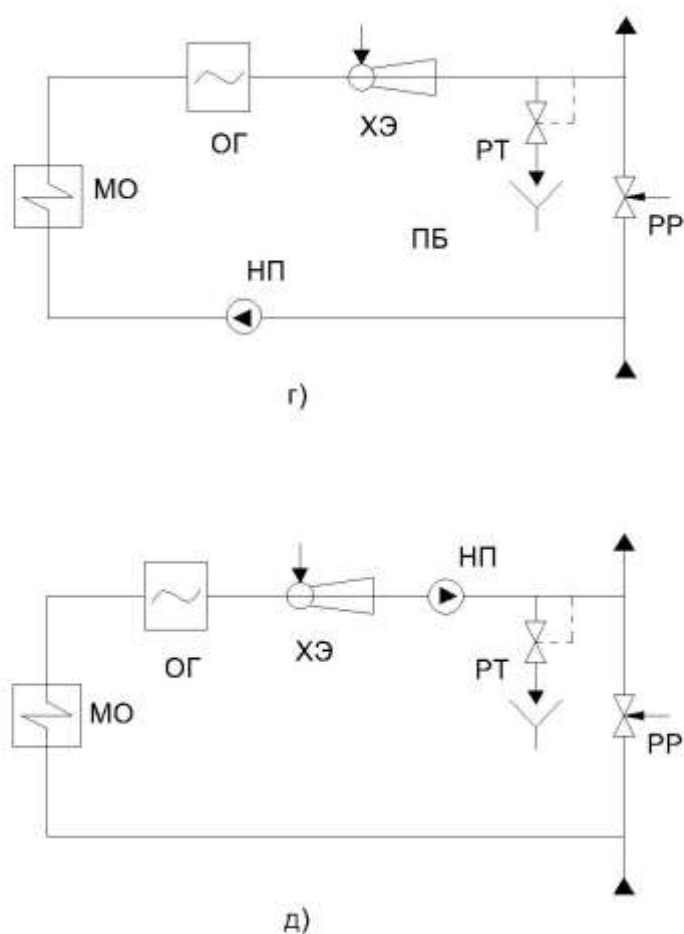


Рис. 4. Схема с непосредственным подключением к трубопроводу охлаждающей воды

г) схема с использованием подкачивающего насоса до теплообменников;

д) схема с использованием подкачивающего насоса после теплообменников.

ХЭ - холодильник эжектора; ОГ - охладитель генератора; МО - маслоохладитель; НП - подкачивающий насос; РР - регулятор расхода; РТ - регулятор температуры.

При давлении в трубопроводе охлаждающей воды, превышающем расчетное давление теплообменных аппаратов вспомогательного оборудования, применяется атмосферный бак сбора охлаждающей воды. Напор 1-й группы подкачивающих насосов в этом случае необходи-

мо выбирать, исходя из преодоления сопротивления теплообменных аппаратов, напор 2-й группы подкачивающих насосов – исходя из максимально возможного давления в трубопроводе охлаждающей воды (рис. 4е). Подкачивающие насосы 1-й группы можно исключить, если атмосферный бак поместить на высоту, создав статическое давление на входе в теплообменники, превышающее потери давления по тракту (рис. 4ж).

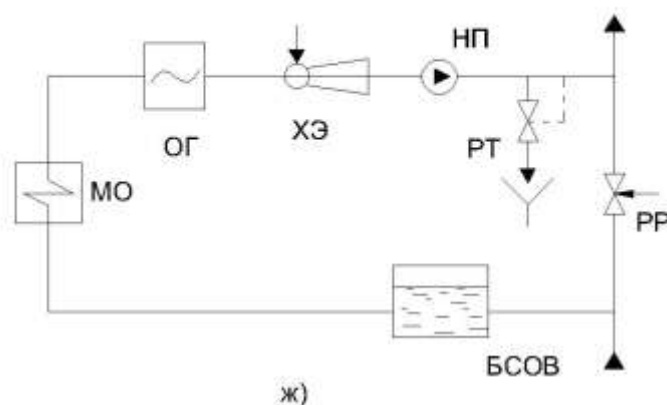
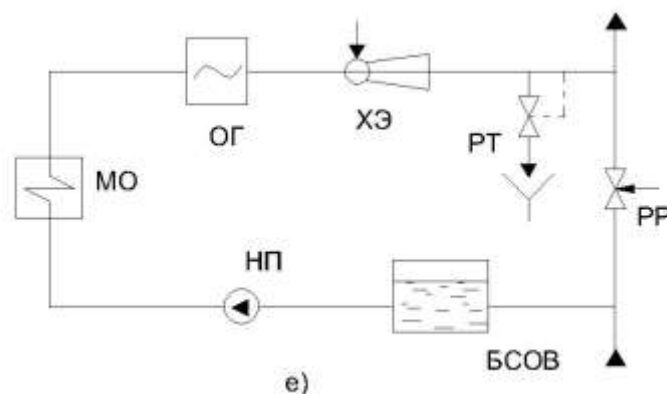


Рис. 4. Схема с непосредственным подключением к трубопроводу охлаждающей воды

е) схема с использованием подкачивающего насоса до теплообменников;
 ж) схема с использованием подкачивающего насоса после теплообменников.
 ХЭ - холодильник эжектора; ОГ - охладитель генератора; МО - маслоохладитель; НП - подкачивающий насос; БСОВ - бак сбора охлаждающей воды; РР - регулятор расхода; РТ - регулятор температуры.

В схеме охлаждения с непосредственным подключением системы охлаждения оборудования маззала к трубопроводу охлаждающей воды отводимое тепло используется в котельной, однако она имеет следующие недостатки. Исходная вода для охлаждения должна соответствовать по качеству и параметрам требованиям, предъявляемым заводами-изготовителями турбин и генераторов. В случае превышения расчетных значений давления и температуры охлаждаю-

щей воды в теплообменных аппаратах возможно возникновение аварийных ситуаций. Протечки масла в теплообменнике маслоохладителя приводят к загрязнению охлаждающей воды.

5. Схема с регулированием давления охлаждающей воды в теплообменных аппаратах.

Давление в трубопроводе охлаждающей воды может изменяться в широких пределах с течением времени. В этом случае при разработке тепловой схемы требуется обеспечение давления охлаждающей воды ниже расчетного давления теплообменников.

Тепловая схема системы охлаждения, учитывающая изменение параметров исходной воды, реализована в рабочем проекте паротурбинного цеха ОАО «Сокольский целлюлозно-бумажный комбинат» (рис. 5).

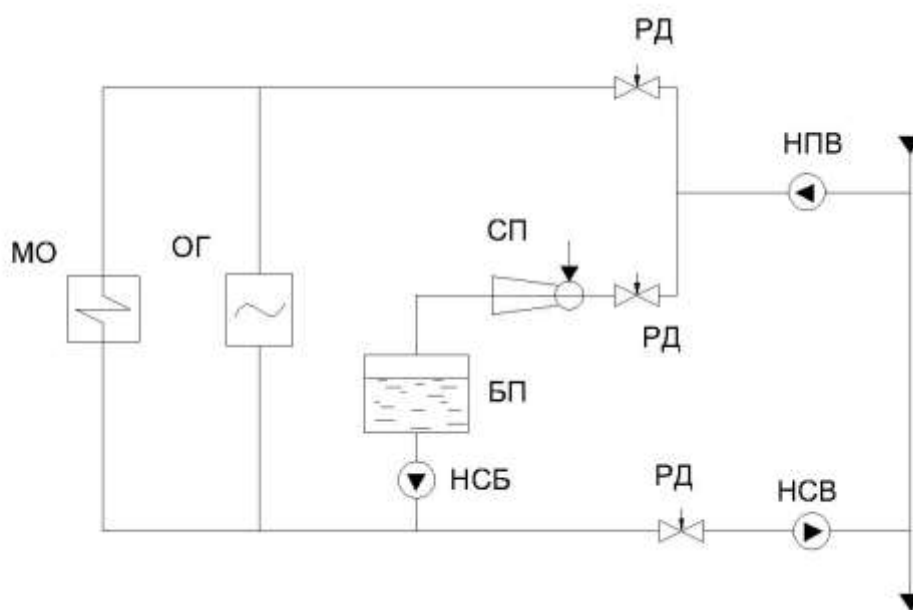


Рис. 5. Схема с регулированием давления охлаждающей воды в теплообменниках

СП - струйный подогреватель; ОГ - охладитель генератора; МО - маслоохладитель; НСВ - насос слива воды; БП - бак промежуточный; НСБ - насос слива воды из бака промежуточного; НПВ - насос подачи воды; РД - регулятор давления.

В паротурбинном цехе ОАО «Сокольский ЦБК» устанавливаются два турбоагрегата Р-4-35/5М и ПР-6-35/15/5М производства ОАО «КТЗ».

Для нормального функционирования каждого турбоагрегата требуется охлаждение водой с температурой не более 20 °С маслоохладителей, водо-воздушных охладителей электрогенератора и подача химически очищенной воды температурой до 40°С давлением 0.35-0.4 МПа для работы струйного подогревателя, обеспечивающего отсос пара из уплотнений турбины. Расчетное давление по водяному тракту в водо-воздушном теплообменнике электрогенераторов и маслоохладителях равно 0.3 МПа.

В качестве охлаждающей воды был выбран поток механически очищенной воды, применяемый для собственных нужд ОАО «Сокольский целлюлозно-бумажный комбинат», в том числе и для работы струйного подогревателя в связи с отсутствием в котельной необходимого расхода потока химически очищенной воды. Вследствие образования отложений солей в сопле струйного подогревателя необходимо устанавливать два струйных подогревателя: рабочий и резервный. Давление в трубопроводе охлаждающей воды изменяется от 0.1 до 0.4 МПа.

Колебания давления в трубопроводе охлаждающей воды привели к усложнению гидравлической схемы контуров охлаждения различного оборудования.

При низком давлении в трубопроводе охлаждающей воды ~0.1 МПа насос забора воды НЗ повышает давление воды до 0.3-0.4 МПа. Регуляторы давления после себя, расположенные перед теплообменниками, обеспечивают необходимый уровень давления на входе в охлаждаемое оборудование. Нагретая вода после маслоохладителей и водо-воздушных охладителей генераторов удаляется по общему трубопроводу с давлением около 0.25 МПа. Регулятор давления до себя, расположенный после теплообменного оборудования, поддерживает заданный перепад давления на теплообменниках, соответствующий номинальным расходам охлаждающей воды через теплообменники. Насос возврата охлаждающей воды НВ компенсирует потери давления контура охлаждения с регулирующей арматурой.

При давлении в трубопроводе механически очищенной воды 0.3 – 0.4 МПа насосы НЗ отключаются, и охлаждение производится только при работе насоса НВ.

Работа струйных подогревателей турбин производится следующим образом. На выходе из них давление нагретой воды близко к нулю, поэтому ее прямой слив в трубопровод удаления подогретой воды давлением около 0.25 МПа невозможен. Нагретая вода сливается в атмосферный сборный бак, из которого перекачивается насосом НСБ в общую линию возврата нагретой воды.

Система охлаждения с регулированием давления охлаждающей воды в теплообменниках при колебаниях давления в трубопроводе охлаждающей воды характеризуется сложностью, высокой степенью автоматизации, высокой стоимостью. В то же время затруднительно предложить более простую схему для работы вспомогательного оборудования в таких сложных условиях.

6. Схема охлаждения с независимым присоединением.

В случае, если исходная вода для системы охлаждения не удовлетворяет требованиям по качеству очистки или давлению, рекомендуется применять независимое присоединение теплообменников вспомогательного оборудования (рис. 6). Охлаждающая вода внешнего контура направляется в промежуточный теплообменник контура охлаждения.

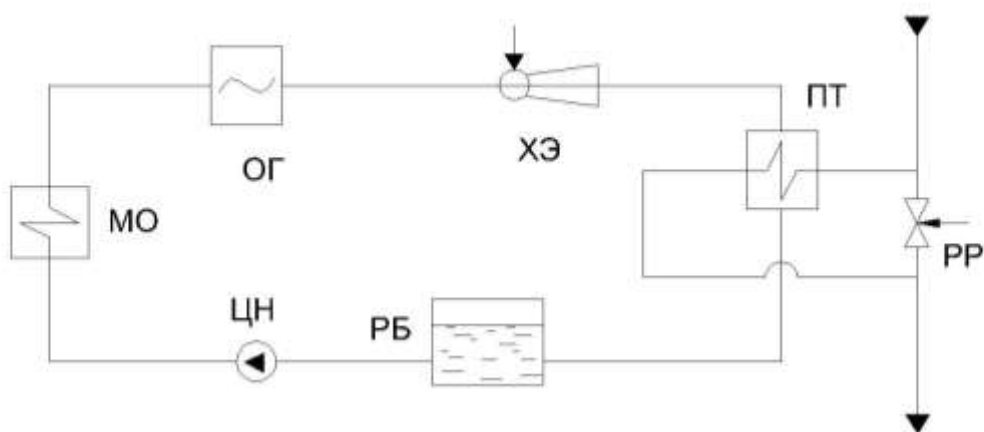


Рис. 6. Схема охлаждения с независимым присоединением.

ХЭ - холодильник эжектора; ОГ - охладитель генератора; МО - маслоохладитель; РР - регулятор расхода; ПТ - промежуточный теплообменник; ЦН - циркуляционный насос; РБ - расширительный бак.

В качестве исходной воды первичного контура применяется поток сырой воды котельной, который предварительно подогревается в теплообменнике промежуточного контура и далее направляется в фильтры ХВО.

Внутренний контур системы охлаждения выполнен с применением промежуточного атмосферного бака охлаждающей воды и циркуляционных насосов. Бак выполняет функции расширительного бака и теплового аккумулятора охлаждающей воды. На мини-ТЭЦ Восточной котельной Витебских тепловых сетей и мини-ТЭЦ ОАО «Агростройконструкция» г. Вологды используются баки объемом порядка 10 кубометров, что обеспечивает работу системы охлаждения в течение нескольких часов при прекращении подачи охлаждающей воды из трубопровода охлаждающей воды. Давление масла больше давления воды в промежуточном контуре, давление воды во внешнем контуре больше, чем давление воды промежуточного контура. Такое соотношение давлений теплоносителей практически исключает возможность загрязнения маслом потока подпиточной воды котельной и обводнение масла. Внутренний контур системы охлаждения заполняется водой из внешнего контура охлаждения, этой же водой производится подпитка контура.

Схема охлаждения с независимым присоединением охлаждаемого оборудования обладает следующими преимуществами. Внутренний контур системы охлаждения вспомогательного оборудования не зависит от качества и величины давления воды внешнего контура. Организа-

ция гидравлических режимов работы такой схемы значительно снижает возможность загрязнения потока сырой воды котельной.

7. Схема охлаждения с промежуточным контуром маслоохладителей.

В результате аварийных ситуаций в системе охлаждения основное загрязнение исходной воды возможно в маслоохладителях турбин.

По требованию заводов-изготовителей турбин давление охлаждающей воды в маслоохладителе должно превышать давление масла не менее, чем на 0.05 МПа. Такое соотношение давлений служит для предотвращения попадания масла в контур системы охлаждения. На переменных режимах работы (пуск, останов работы мини-ТЭЦ) это условие может не соблюдаться. Для исключения попадания масла в исходную воду маслоохладители могут выделяться в отдельный контур с использованием промежуточных теплообменников (рис. 7).

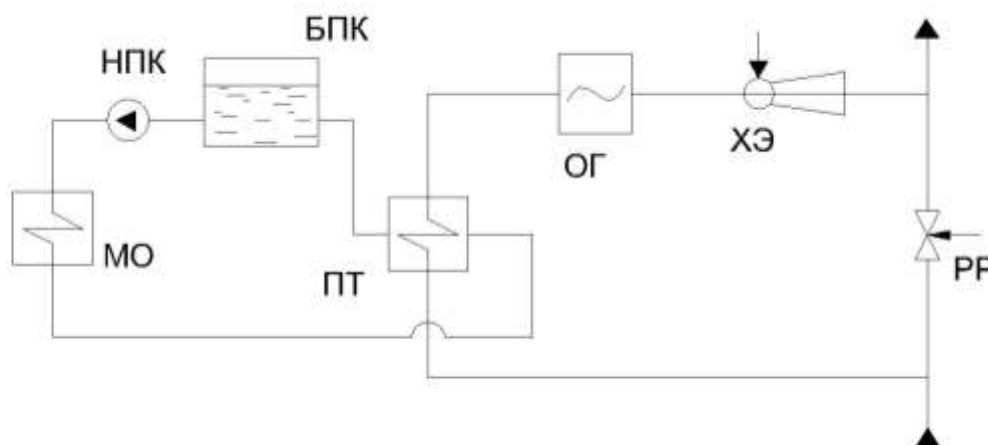


Рис. 7. Схема с промежуточным контуром маслоохладителя

ХЭ - холодильник эжектора; ОГ - охладитель генератора; МО - маслоохладитель; РР - регулятор расхода; ПТ - промежуточный теплообменник; БПК - бак промежуточного контура; НПК - насос промежуточного контура.

Охлаждающая вода первичного контура забирается из ввода сырой воды котельной и направляется в промежуточный теплообменник, в котором охлаждает воду, подогретую в маслоохладителе. Вода промежуточного контура после охлаждения в промежуточном теплообменнике сливается в расширительный бак. Из бака вода забирается циркуляционными насосами и подается на маслоохладители. Подпитка циркуляционного контура осуществляется из первичного контура через бак.

При работе мини-ТЭЦ в течение года температура в трубопроводе охлаждающей воды изменяется от 5 до 23°C. При максимальной температуре охлаждающей воды для обеспечения температуры масла в заданных пределах потребовалась бы очень большая площадь поверхно-

сти теплообмена промежуточных теплообменников. В связи с этим в летнее время предусмотрено охлаждение маслоохладителя напрямую в обвод промежуточного теплообменника. Давление охлаждающей воды выше давления масла, поэтому загрязнение воды маслом при номинальном режиме работы исключается.

Схемы охлаждения с отдельно выделенным промежуточным контуром маслоохладителей применены в проектах мини-ТЭЦ Приморской, 2-й Ломоносовской, 1-й и 2-й Правобережной котельных ГУП «ТЭК СПб», мини-ТЭЦ ОАО «Стройэнерго» г.Череповец, мини-ТЭЦ ОАО «ВОМЗ» г. Вологда.

Выбор вида тепловой схемы охлаждения вспомогательного оборудования мини-ТЭЦ с паровыми турбоагрегатами должен обеспечивать эффективную и надежную работу для всех режимов работы мини-ТЭЦ с учетом реального диапазона изменения давления потока охлаждающей воды.