**Гр18-1 5.11.20 Техническое обслуживание турбинного оборудования**

**Лекция . Режимы пуска и остановка основного оборудования ТЭС**

|  |
| --- |
|  |

*Содержание лекционного занятия*

1 Общие положения по пуску и остановку котлоагрегатов и турбин.

2 Порядок и график пуска барабанных котлоагрегатов на общую магистраль котельной.

3 Особенности пуска прямоточных котлоагрегатов.

4 Пуск конденсационных турбин из холодного состояния.

5 Особенности пуска теплофикационных турбин.

6 Пуск турбин из горячего состояния.

7 Требования, предъявляемые к пусковым схемам блочных паротурбинных установок, и особенности их выполнения.

8 Пусковые схемы и особенности пусковых режимов блоков с барабанными и прямоточными котлоагрегатами.

9 Особенности пуска блоков из неостывшего и горячего состояний.

10 Методы ускорения пусков паротурбинных установок. Автоматизация пусковых операций.

11 Останов турбоагрегатов.

12 Останов котлоагрегатов.

13 Особенности и виды останова блочных установок.

1 - Пуск и останов котлоагрегатов и турбин — очень ответствен­ные операции, поскольку сопровождаются значительными изме­нениями напряжений в их элементах под действием механических и тепловых деформаций. Обслуживающий персонал котлотурбинного цеха должен иметь четкое представление о физических процессах, происходящих при пусках и остановах оборудования, и строго соблюдать условия падежного и безопасного проведе­ния этих операции. Одновременно необходимо учитывать вопро­сы экономики и добиваться сокращения затрат времени и расхо­да топлива па пуски котлоагрегатов и турбин.

От правильного проведения пусков и остановов, существенным образом зависят эксплуатационная надежность и долговечность агрегатов. Опыт эксплуатации показывает, что число возникаю­щих дефектов в первые дни после пуска оборудования значитель­но превосходит число дефектов, выявляемых за тот же период времени, но после достаточно длительной непрерывной кампании котлоагрегатов или турбины. При частых пусках и остановах может снижаться не только надежность, но и экономичность по­следующей работы агрегатов, например из-за повреждения уп­лотнений, арматуры, нарушения плотности соединений и др.

Наиболее сложной операцией является пуск, поскольку воз­никающие в процессе его механические и термические напряже­ния в элементах агрегата, как правило, суммируются. Особенно необходимо учитывать явления, вызываемые нестационарностью теплового состояния и возникающие при прогреве или охлажде­нии оборудования**. Каждый градус разности температур между внутренней и наружной поверхностями стенки вызывает термиче­ские напряжения примерно 2 МПа.** Опыт эксплуатации показы­вает, что значительная часть аварий котлоагрегатов и турбин, появление трещин в толстостенных элементах (барабаны котлов, корпуса турбин, паропроводы и др.), коробление фланцев гори­зонтального разъема происходят при пусках из-за неправильно­го режима прогрева или других ошибочных действий персонала.

Расчет температурных полей и термических напряжений при неустановившемся тепловом состоянии представляет очень слож­ную задачу, особенно для элементов неправильной формы.

При пусках турбин ротор, как менее массивная и имеющая большую поверхность теплообмена деталь, прогревается значи­тельно быстрее статора. При этом в связи с различным тепловым расширением цилиндра и ротора могут выбираться осевые зазо­ры в проточной части и произойти задевание вращающихся час­тей о неподвижные. К тому же надо иметь в виду, что для дости­жения высокой экономичности осевые зазоры в ступенях имеют небольшую величину. Поэтому при пусках необходимо тщатель­но контролировать относительное удлинение ротора.

При остановах турбин с интенсивным расхолаживанием происходит относительное укорочение ротора, которое может ока­заться особенно опасным, так как при этом выбираются входные зазоры в ступенях (между соплами и рабочими лопатками), ко­торые выполняются существенно меньшими, чем выходные.

При прогреве роторов может происходить также ослабление посадки втулок и дисков, и даже полное исчезновение натяга, так как в связи со значительным термическим сопротивлением в мес­тах посадки температура вала существенно ниже, чем темпера­тура втулок или дисков. Это может вызвать радиальное смеще­ние насадных элементов и интенсивную вибрацию турбины. Наоборот, при охлаждении турбины насадные элементы испыты­вают значительные напряжения в связи с увеличением натяга. Поэтому в современных турбинах насадные втулки и диски в области высоких температур не применяются.

Повышенная вибрация турбин может быть также следствием прогиба вала в случае неравномерного его прогрева или охлаж­дения либо работы на скоростях вращения, близких к критиче­ским. Уже при прогибе ротора примерно 0,1 мм центробежная си­ла неуравновешенной массы становится равной весу ротора, при­чем такой прогиб соответствует разности температур диаметраль­но противоположных точек ротора около 7 °С.

Исследование пуско-остановочных режимов производится различными научно-исследовательскими и наладочными органи­зациями, а также заводами-изготовителями. В результате разра­батываются технически и экономически обоснованные графики и инструкции по пуску котлоагрегатов и турбин. В этой главе будут рассмотрены лишь общий принцип и примерные критерии опти­мального пуска и останова основного оборудования. Подробное описание пуско-остановочных операций и условий их проведения содержится в инструкциях для конкретного оборудования.

2 - Перед пуском котлоагрегата после продолжительного останова производятся его проверка и осмотр. Проверяются поверхности нагрева, обмуровка с лазами, взрывные и предохранительные клапаны, паровая и водяная арматура, контрольно-измерительные приборы, элементы ручного и автоматического управления, вспомогательные механизмы (дымососы, вентиляторы, мельничное оборудование). Проводится пробное включение в работу и проверяется автоблокировка дымососов и вентиляторов. Запрещается пуск котлоагрегата при неисправности средств защиты.

Для пуска производится подготовка растопочной схемы (см. рисунок 1). Закрываются дренажи 4 и открываются воздушники 6 ивентиль на линии продувки пароперегревателя 7. Главная паровая задвижка *8*остается закрытой, а дренаж перед ней откры­вается, чтобы обеспечить возможность прогрева паропровода и предупредить гидравлические удары при конденсации пара, поступающего в холодный паропровод.

Рисунок 1 – Растопочная схема барабанного котлоагрегата,

 работающего на общую магистраль

Во избежание интенсивной коррозии внутренних поверхностей труб заполнение котлоагрегата перед растопкой про­изводится только деаэрированной водой. Температура воды перед барабаном не должна отличаться от температуры металла барабана более чем на 40 °С. При большей раз­ности температур заполнение котла водой запрещается из-за опасности появления чрезмерных температурных напряжений. Скорость заполнения должна быть такой, чтобы обеспечить равномерный прогрев барабана (максимальная разность температур между любыми двумя точками не должна превышать 40—50° С). При заполнении котла водой следует наблюдать за арматурой на питательной линии 1 и дренажными линиями. В случае появления течи необхо­димо устранить ее или прекратить питание.

Барабан заполняется до нижнего уровня, поскольку при рас­топке котлоагрегата уровень поднимается за счет увеличения удельного объема воды и вытеснения части ее из экранных поверхностен 5 образующимся паром. После заполнения котлоагрегата водой следует убедиться, что уровень ее в барабане не снижается. В противном случае необходимо найти место утечки, устранить ее, а затем довести уровень до растопочного.

Перед растопкой и при останове котлоагрегата топка и все газоходы должны вентилироваться дымососом и дутьевым вентилятором не менее 10 мин. Вентиляции производится с целью удаления из топки и газоходов взрывоопасном смесей воздуха с газами и несгоревшим топливом, которое может находиться в отложениях на поверхностях нагрева, образующихся при работе котлоагрегата по причине неудовлетворительного топочного режима, углубленного помола топлива, плохого распиливания мазута или низкого его подогрева и т. п. Особенно тщательно должны вентилироваться котлоагрегаты, сжигающие газ.

Необходимо иметь в виду, что длительная вентиляция только что остановленного котлоагрегата может привести к резкому его расхолаживанию и к появлению опасных температурных напряжений. Поэтому барабанные котлоагрегаты на давление 98 МПа и выше не разрешается вентилировать более 15 мин.

Для обеспечения равномерного прогрева топки и других поверхностей растопка котлоагрегата должна производиться ни возможно большем числе горелок при обеспечении достаточном подачи воздуха к каждой из них. Растопка пылеугольных котлоагрегатов осуществляется на специальных растопочных мазутных форсунках. Переход на сжигание угольной пыли производится только после прогрева топки до уровня, обеспечивающего устойчивое сжигание пыли и определяемого маркой топлива и местной инструкцией. Подача пыли в непрогретую топку может привести не только к ее потере, но и загоранию несгоревшего топлива и конвективных газоходах и как следствие к повреждению котлоагрегата.

3 - Главной особенностью пуска прямоточных котлоагрегатов является то, что у них с самого начала растопки осуществляется непрерывная подача воды по замкнутому растопочному контуру. Питательная линия, дренажи и задвижки подготавливаются так же, как и для барабанных котлоагрегатов.

Заполнение водой прямоточных котлоагрегатов производит­ся достаточно быстро (в течение 20 ÷ 40 мин), так как трубы по­верхностей нагрева, имеющие малые диаметры и толщину сте­нок, прогреваются достаточно равномерно, и значительные тер­мические напряжения возникнуть в них не могут.

При заполнении котлоагрегатов водой необходимо обеспечить надежное удаление воздуха, чтобы предупредить образование воздушных пробок и как следствие пережог труб поверхностей нагрева. Поэтому воздушники закрываются после появления в них сплошной струи воды. Для более глубокого удаления возду­ха после заполнения котлоагрегата водой расход воды через не­го в течение нескольких минут увеличивают до 60 ÷ 80 % Номи­нальной паропроизводительности, после чего он снижается до растопочной величины.

Растопка прямоточного котлоагрегата ведется с расходом пи­тательной воды примерно 30 % номинального, что обеспечивает устойчивый гидравлический режим (достаточно равномерное распределение воды по параллельным змеевикам) и надежное охлаждение поверхностей нагрева.

Перед растопкой котлоагрегатов из холодного состояния обычно производится водная промывка поверхностей нагрева, которая осуществляется при расходе воды, близком к номинальному. Пред­пусковая промывка заканчивается, если увеличение жесткости сбрасывае­мом полы не превышает 5 ÷ 10 мкг·экв/кг. По окончании промывки расход воды уменьшают до растопочного зна­чения.

Различают дни способа растопки прямоточных котлоагрегатов: *прямо­точный*и *сепараторный.*

Упрощенная схема прямоточного способа растопки представлена на рисунке 2. Сущность этого способа за­ключается в том, что подача среды производится через весь тракт котлоагрегата до выходного коллектора (до ГПЗ-1). После этого сре­да сбрасывается через растопочную РОУ *2*в растопочный рас­ширитель *3.*Здесь происходит разделение среды, причем пар попользуется в тепловой схеме ТЭС, а конденсат в зависимости от его качества может подаваться в конденсатор, деаэратор или промежуточный бак, а также па сброс в канал для циркуляцион­ной воды.



Рисунок 2 – Схема прямоточной растопки прямоточных котлоагрегатов

В начальный период растопки после зажигания горелок во всех поверхностях происходит только нагрев воды. В дальней­шем по мере прогрева котлоагрегата и увеличения тепловыделе­ния в топке появляются испарительная и пароперегревательная зоны, и на выходе из котлоагрегата получается перегретый пар. С ростом тепловой нагрузки котлоагрегата размеры экономайзерной зоны сокращаются, а пароперегревательной —  увеличи­ваются.

Растопку прямоточных котлоагрегатов обычно ведут с поддер­жанием полного рабочего давления среды в экономайзерно - испарительных поверхностях нагрева. Это обеспечивает более устой­чивый гидравлический режим испарительных труб, увеличивает их экономайзерный участок и снижает разверки температур ме­талла отдельных труб радиационной части. В особенности это важно для котлоагрегатов на сверхкритические параметры пара, так как снижение давления в испарительном тракте до докритических величин может привести к расслоению среды и явиться причиной нестабильности гидравлической характеристики труб ввиду значительной разности удельных объемов пара и воды.

Основным недостатком прямоточного способа растопки явля­ется увеличенный расход топлива на пуск паротурбинной уста­новки, в особенности в случае блочного пуска, так как количест­во растопочного пара, получаемого в котлоагрегате, превышает величину, необходимую для первоначального пуска турбины. Не­обходимо отмстить, что параметры пара за котлоагрегатом долж­ны соответствовать температурному состоянию металла турбины. Например, для пуска неостывшей турбины, имеющей температу­ру металла около 450 °С, температуру пара перед ГПЗ-1 с учетом дросселирования его необходимо поднять до номинальной вели­чины.

В целом при прямоточном способе растопки практически нельзя реализовать всех преимуществ пуска блока на скользя­щих параметрах пара, т.е. при постепенном нарастании произво­дительности котлоагрегата, давления и температуры пара. Кроме того, чисто прямоточная схема растопки не позволяет про­извести пуск котлоагрегата из горячего состояния без предвари­тельного охлаждения пароперегревателя и паропровода до ГПЗ-1, а прокачка воды по всему тракту приводит к выносу со­лей и окислов железа из экономайзерно - испарительной зоны в пароперегреватель и турбину.

Эти недостатки исключаются при пуске прямоточных котлоагрегатов по сепараторному способу, т. е. при наличии в расто­почной схеме встроенного сепаратора (рисунок 3). В данном слу­чае экономайзерно - испарительная зона котлоагрегата отделяет­ся от пароперегревательного участка встроенной задвижкой (ВЗ) 1. В начальный период растопка ведется при закрытых ВЗ 1 и дроссельном шиберном клапане 2на выходе из встроенного сепаратора (ВС)3*,*так что пароперегреватель остается без пара. Вода прокачивается через экономайзер и испарительный тракт котлоагрегата под полным рабочим давлением и через ВС 3 сбра­сывается в выносной расширитель 4*.*Поддержание полного дав­ления и расхода среды в растопочном тракте на уровне 30% но­минального обеспечивает надежный гидравлический режим ис­парительных труб. После включения горелок и нагрева воды в экранных поверхностях до температуры свыше 200 °С постепенно открывается шиберный клапан на выпаре ВС, и нар из сепаратора на­чинает отводиться в пароперегревательный тракт котлоагрегата за ВЗ. Количество пара, поступающего в пароперегреватель, определяется температурой (или паросодержанием) среды перед ВЗ и давлением в ВС. Обычно расход пара через па­роперегреватель поддерживается на уровне 10 ÷ 12% номинальной произ­водительности, что примерно равно расходу пара, необходимому для толчка ротора турбины.



Рисунок 3 - Схема сепараторного способа растопки

прямоточных котлоагрегатов

При данном способе пуска котло­агрегата имеется возможность под­держивания любого давления пара перед турбиной, что позволяет осу­ществить пуск ее па скользящих па­раметрах. При этом разворот турбины до номинальной скорости вращения и частичное нагружение ее могут производиться при пониженных параметрах пара, что улуч­шает условия прогрева турбины. Обычно поминальное давление пара перед турбиной достигается при нагрузке, равной примерно 30 % номинальной. При дальнейшем повышении нагрузки тур­бины встроенный сепаратор отключается, открывается встроен­ная задвижка, и котлоагрегат переводится на прямоточный ре­жим работы.

Таким образом, основной режимной особенностью сепаратор­ного способа пуска прямоточных котлоагрегатов является малый первоначальный расход топлива (на уровне 10 % номинального). Это наряду с ускорением пуска турбин на скользящих парамет­рах обеспечивает существенное уменьшение затрат топлива на пуск блоков. Схема со встроенным сепаратором обеспечивает пуск блока из всех исходных тепловых состояний.

При малых тепловыделениях в топке снижается также тем­пература на выходе из топки (она составляет 450 ÷ 500 °С) и по всем газоходам, что обеспечивает надежный температурный ре­жим первичного и вторичного пароперегревателей.

При сепараторном способе пуска котлоагрегата продукты коррозии и соли не выносятся в пароперегреватель, причем од­новременно с пуском производится отмывка испарительных по­верхностей. Солесодержание пара, поступающего в паропере­греватель, определяется уносом влаги из встроенного сепарато­ра, коэффициент сепарации которого достаточно высок.

Вследствие отмеченных преимуществ, все прямоточные котло­агрегата в настоящее время выпускаются со встроенны­ми сепараторами.

4 - Различают пуск турбин из холодного и горячего состояния. Турбина считается холодной, если температура металла ЦВД в зоне паровпуска не превышает 150 ÷ 180 °С. В противном случае, она считается не остывшей, и режим пуска ее существенно отли­чается.

Режим пуска турбины зависит от ее типа, начальных парамет­ров пара и мощности, а также от ее конструктивных особенно­стей и особенностей тепловой схемы. Пуск должен осуществ­ляться согласно инструкции, разработанной заводом-изготовите­лем или наладочными организациями. Пуск турбины включает три этапа: подготовку к пуску; толчок ротора и повышение ско­рости вращения до номинальной; включение генератора в сеть и нагружение турбины.

*Подготовка турбины к пуску.*Перед пуском турбины из холодного состояния необходимо проверить исправность средств технологической защиты, блокировок, вспомогательного обору­дования, масляной системы, резервных и аварийных маслонасосов, контрольно-измерительных приборов и средств оперативной связи. Запрещается пуск турбины при неисправности средств защиты, предупреждающих возникновение и развитие аварий при повреждении турбины пли недопустимом отклонении режи­ма работы и отключающих подачу пара в турбину (защита от разгона турбины, реле осевого - сдвига, вакуум-реле, реле - паде­ния давления масла в системе смазки и др.).

Наибольшую опасность для турбины представляет возмож­ность разгона ее в случае неплотного закрытия (заедания) регулирующих и стопорного клапанов, обратных клапанов регене­ративных отборов, а также вследствие дефектов системы регу­лирования. К серьезной аварии с выплавлением подшипников может привести неисправность масляных насосов и систем авто­матического включения их из резерва.

Перед пуском турбины собирается схема дренажей, проверя­ются уровень масла в маслобаке, работа указателей уровня, по­ложение задвижек па маслопроводах и производится опробова­ние маслонасосов.

В объем подготовительных работ по пуску турбины входит также пуск конденсационной установки, который включает пуск циркуляционных насосов для подачи охлаждающей воды в кон­денсатор, пуск конденсатных насосов, включение эжекторов и создание вакуума в конденсаторе.

Для первоначального создания разрежения в конденсаторе используются пусковые, а затем подключаются основные паро­струйные эжекторы. Пусковые эжекторы отключаются при ваку­уме порядка 500 ÷ 550 мм рт. ст. (68 ÷ 75 кПа). В турбоустановках, оборудованных водоструйными эжекторами, пусковые эжек­торы не предусматриваются.

Для облегчения создания пускового вакуума в конденсаторе и герметизации корпуса турбины в местах выхода вала из ци­линдров перед включением эжекторов производится подача пара на концевые уплотнения, например от станционной магистрали или деаэраторов соседнего блока.

Перед пуском турбины необходимо убедиться в отсутствии заеданий регулирующих клапанов уровня регенеративных подо­гревателей и проверить действие сигнализации и защиты ПВД. Слив конденсата из подогревателей собирается по чисто каскад­ной схеме на конденсатор. Включение регенеративных подогре­вателей в работу при пуске турбины происходит автоматически в случае появления расхода воды через их трубную систему и соответствующего повышения давления в отборах турбины.

*Толчок ротора и повышение скорости вращения до номи­нальной.*Перед толчком ротора необходимо проверить величину биения вала, которая для различных турбин не должна превы­шать 0,03 ÷ 0,05 мм. К моменту толчка ротора в конденсаторе не­обходимо набрать пусковой вакуум, величина которого указыва­ется в инструкции по пуску турбины и составляет не менее 300 мм рт. ст. (40 кПа).

Толчок ротора следует производить перегретым паром, так чтобы его температура превышала температуру насыщения не менее чем на 50 °С. Пуск турбины перегретым паром уменьшает опасность возникновения тепловых ударов при прогреве и воз­можность заброса воды в турбину, а также снижает количество конденсата, образующегося в цилиндрах при конденсации пара. При применении перегретого пара прогрев турбины происходит несколько медленнее, чем при использовании насыщенного па­ра, но более равномерно по длине и периметру цилиндра.

До толчка турбины следует прогреть стопорные клапаны и пе­репускные трубы ЧВД. Для этого при закрытых регулирующих клапанах частично открываются стопорные клапаны и байпасы главной паровой задвижки (ГПЗ). В этом случае предупрежда­ется сильное охлаждение пара при впуске его в турбину. Пере­пускные трубы ЧВД и сам цилиндр могут предварительно прогреваться также путем подачи постороннего пара со стороны вы­хлопа цилиндра при вращении ротора с помощью валоповорота. Толчок турбины может производиться с помощью, как регулирую­щих клапанов, так и байпаса ГПЗ. В последнем случае турбина пускается при полностью открытых регулирующих клапанах, что обеспечивает более равномерный прогрев ее по окружности. По­этому такой способ пуска является более предпочтительным, и в современных турбоустановках проходное сечение байпасного клапана выбирается по условию обеспечения полного разворота турбины и частичного ее нагружения.

При толчке ротор турбины набирает скорость 30 ÷ 500 об/мни. При этом валоповоротное устройство должно авто­матически отключиться. Па этих скоростях производится тща­тельное прослушивание турбины с целью выявления задевании и проточной части и осуществляется первоначальный прогрев турбины.

В начальный период прогрева происходит обильная конденсация пара и турбине, И внутренние стенки ее быстро нагреваются до температуры насыщения, не превышающей 80 °С. При этом конденсат должен надежно удаляться через дренажи ци­линдра и паропроводов отборов. Затем постепенно температура металла внутренней стенки повышается выше температуры насыщения, а пар протекает через цилиндр в перегретом состоя­нии. Для предотвращения больших термических напряжений на внутренней стенке нельзя допускать чрезмерного превышения температуры пара по сравнению с температурой стенки.

Время прогрева турбины на пониженных скоростях враще­ния и график дальнейшего их повышения устанавливаются ин­струкцией по пуску в соответствии с условием сохранения допу­стимых температурных разностей и термических напряжении в деталях турбины.

Если детали турбины имеют температуру t и к ним подводит­ся тепло среды (пара) с температурой t', то уравнение теплооб­мена имеет вид:

|  |  |
| --- | --- |
| https://konspekta.net/lektsiiorgimg/baza17/2046824471459.files/image194.gif   | (4.1) |

где *R*— суммарное термическое сопротивление; *С*— теплоем­кость тела.

Как видно, скорость изменения температуры тела, а значит, и температурные напряжения пропорциональны разности темпе­ратур t'- t.Для уменьшения до минимума времени прогрева же­лательно эту разность поддерживать все время па максимально допустимом уровне. При этом следует добиваться соблюдения линейного закона изменения температуры металла турбины во времени.

На рисунке показаны изменение температуры цилиндра (а) и непосредственно измеренные в стенке его температурные напря­жения (б)при пуске турбины с противодавлением. Как вид­но, в отдельные моменты термические напряжения достигают большой величины. Если бы в течение того же времени прогрева температура металла изменялась прямолинейно (пунктир на рисунке 4, а), то термические напряжения не превысили бы 100 МПа (рисунок, 4, б).



1 - температура металла; 2 - противодавление; 3 - скорость вращения; 4 - нагрузка; 5 - измеренные тангенциальные напряжения на наружной стенке корпуса за вычетом

напряжений от внутреннего давления.

Рисунок 4 - Температура металла и термические напряжения в стенке корпуса при пуске турбины с противодавлением

При подходе к номи­нальной скорости вращения останавливают пусковой масляный насос, так как главный насос на валу турбины уже создает необходимый напор, а при некоторых скоростях вращения, достаточно близких к номиналь­ным и определяемых степенью неравномерности регулирования и положением синхронизатора, вступает в работу система регулирования турбины. К моменту достижения турбиной номинальной скорости вращения вакуум в конденсаторе доводится до нормального, а также производится включение системы охлаждения генератора. На холостом ходу необходимо турбину еще раз осмотреть и проверить показания приборов, характеризующих механическое и температурное состояния турбины.

*Включение турбогенератора в сеть и набор нагрузки.*Продолжительная работа турбины на холостом ходу не рекомен­дуется, так как из-за потерь на трение и вентиляцию в ступенях турбины возможен перегрев выхлопного патрубка, что вызыва­ет расцентровку турбины и повышение ее вибрации. Поэтому не­обходимо произвести синхронизацию и включение генератора в сеть и сразу же набрать некоторую минимальную, по видимую по показаниям приборов нагрузку па турбине, чтобы не допус­кать перевода ее в моторный режим работы при закрытии по ка­ким-либо причинам регулирующих клапанов.

Обычно применяют метод точной синхронизации генератора, при котором достигается равенство частоты и напряжения под­ключаемого генератора и сети, а также обеспечивается совпаде­ние их одноименных фаз. Для осуществления точной синхрони­зации используется, кроме вольтметров и частотомеров, синхро­носкоп — прибор, скорость вращения стрелки которого пропор­циональна разности частот сети и подключаемого генератора.

При скорости вращения турбогенератора, близкой к синхрон­ной, в обмотку генератора подастся возбуждение и с помощью щитового реостата напряжение на обмотках статора доводится до номинального. Генератор можно включать в сеть, когда стрелка синхроноскопа останавливается в вертикальном положении и конец ее совпадает с чертой на циферблате. При этом будут иметь место совпадения как частот, так и фаз. Обычно включе­ние генератора производится с некоторым опережением (с уче­том времени срабатывания выключателя генератора), когда стрелка синхроноскопа медленно приближается к вертикальной черте.

Более простой и быстрый метод самосинхронизации применяется в аварийных условиях. В этом случае генератор разворачивается до скорости вращения, близкой к синхронной, и без возбуждения включается в сеть. После этого на обмотки ротора подается возбуждение, и турбогенератор ав­томатически втягивается в синхронизм. Недостатком такого спо­соба включения генератора является возможность резкой посад­ки напряжения на шинах и появления значительных динамиче­ских усилий в элементах подключаемого генератора.

Дальнейший набор нагрузки необходимо осуществлять по рекомендуемому инструкцией графику, так как при увеличении расхода пара растет давление по ступеням турбины и происхо­дит ее дальнейший прогрев. Для снижения температурных раз­ностей в толстостенных элементах турбины и уменьшения тер­мических напряжении обычно делаются выдержки во времени на определенных величинах нагрузки.

При нагружении турбины автоматически включаются в рабо­ту регенеративные подогреватели. При этом необходимо пре­кратить каскадный слив конденсата из ПНД и включить сливной насос, а дренажи ПВД переключить на деаэратор.

Точно выполнить заданный график пуска турбины затрудни­тельно, поэтому для снижения затрат времени и топлива на пуски необходимо внедрять разрабатываемые в настоящее вре­мя системы автоматического пуска оборудования.

5 - Теплофикационные турбины с отборами пара пускаются в конденсационном режиме с выключенными регуляторами давле­нии в регулируемых отборах. При этом органы парораспределе­нии в ЧСД и ЧНД (регулирующие клапаны и поворотные диа­фрагмы) полностью открыты, и порядок пуска теплофикацион­ных турбин не отличается от изложенного выше.

Когда расход пара в конденсатор превысит минимально-вен­тиляционный пропуск, можно произвести включение регулируе­мых отборов. Для этого вводят в работу регуляторы давления, поднимают давление в регулируемых отборах до необходимой величины и открывают задвижки на паропроводах, соединяющих турбину с магистралями отборного пара. Дальнейшее изменение мощности турбины и нагрузки регулируемых отборов осуществляется системой автоматического регулирования с помощью регулирования скорости и давления.

Увеличение отбора пара должно производиться со скоростью не более 5 % номинальной в минуту. Если отбор турбины включается на магистраль, которая питается от РОУ или от других турбин, то открытие задвижки на отборе должно начинаться при давлении в камере отбора на 0,02 ÷ 0,03 МПа больше, чем в магистрали. При включении отопительного отбора необходимо убедиться, что вентиль на линии, соединяющей камеру мембраны регулятора давления с отбором, открыт, и камера мембраны заполнена конденсатом. Эта операция выполняется для предотвра­щения образования в камере воздушной пробки.

При пуске турбин со ступенчатым подогревом сетевой воды сетевые подогреватели должны включаться последовательно, на­чиная с нижнего. Отключение их производится в обратном по­рядке.

Во избежание разгона турбины паром из магистрали запре­щается включение регулируемого отбора при неисправности об­ратного или предохранительного клапана данного отбора. Это относится также к регенеративным отборам всех турбин. Проверка посадки обратных клапанов всех отборов производится один раз в месяц. Проверка посадки обратных клапанов регулируемых отборов и срабатывания предохрани­тельных клапанов производится не реже одного раза в год и пе­ред испытанием на сброс нагрузки. Проверка плотности обратных клапанов регулируемых отборов осуществляется в процессе пуска турбины (при скорости вращения около 2000 об/мин) или на холостом ходу. Для этого в трубопровод регулируемого отбо­ра после обратного клапана подается пар от постороннего источ­ника давлением 0,2 ÷ 0,3 МПа. Неплотность клапана определяет­ся по увеличению частоты вращения ротора турбины. Пар должен подаваться от паропровода, имеющего отключающую арматуру и манометр.

Турбины с противодавлением в конструктивном отношении более просты, обычно имеют одноцилиндровое исполнение, не­большие осевые размеры и малое число ступеней, что упрощает их прогрев. Кроме того, в турбинах с противодавлением отсутст­вуют регенерация низкого давления и конденсационная установ­ка, что также упрощает процесс их пуска. Однако пуск противодавленческих турбин имеет свои особенности. При пуске их на магистраль под давлением при любом расходе пара давление в цилиндре превышает давление в магистрали, что может вы­звать недопустимые скорости начального прогрева турбины и по­явление чрезмерных термических напряжении. Поэтому совре­менные турбины с противодавлением, имеющие валоповоротные устройства, в начальный период прогреваются со стороны, вы­хлопа паром, подаваемым из паропровода отбора. При этом турбина вращается валоповоротом. После плавного подъема давления в выхлопном паропроводе выполняются толчок ротора свежим паром и дальнейший прогрев турбины и набор скорости вращения.

Пуск турбины с противодавлением производится с отключен­ным регулятором давления, который вводится в работу только после синхронизации генератора и включения его в сеть.

При отсутствии валоповоротного устройства и невозможно­сти вращения ротора турбина с противодавлением не может прогреваться со стороны выхлопа из-за опасности прогиба ротора. Поэтому пуск таких турбин осуществляется на выхлоп пара в атмосферу через специальный паропровод. После включения ге­нератора в сеть выхлоп пара в атмосферу закрывают и турбину включают на паровую магистраль.

При пуске турбины с противодавлением па не заполненную паром магистраль, особенно при увеличении расхода пара через турбину, возможна перегрузка последней ступени в связи с ро­стом теплопадения в ней. Поэтому в данном случае необходимо очень внимательно контролировать перепад давлении па послед­ней ступени, не допуская увеличения его по сравнению с расчет­ным значением. В особенности это важно для турбин, не имею­щих специальной защиты от перегрузки последней ступени.

6 - Температурное состояние турбины определяется режимом останова и временем ее простоя. Турбина полностью остывает в течение нескольких суток. Если турбина останавливалась без специального расхолаживания, то после простоя в течение ночи (6 ÷ 8 ч) или выходных дней (24 ÷ 38 ч) температура металла ЧВД в области паровпуска будет превышать 150 ÷ 180 °С, т. е. турбина должна пускаться, как из горячего состояния. Такой пуск имеет ряд особенностей. Температура пара, подаваемого в турбину, должна соответствовать ее температурному состоянию. Пар должен быть перегретым, причем рекомендуется, чтобы его температура превышала температуру металла турбины в зоне паровпуска 50 ÷ 70° С. При подаче холодного пара возникает опасность резкого укорочения ротора, что может вызвать исчезновение входных осевых зазоров и задевания в проточной части. Кроме того, возможно возникновение больших температурных разностей в толще металла и появление чрезмерных термических напряжений. Нео6хидпмо иметь в виду, что котлоагрегаты, особенно прямоточные, остывают быстрее, чем турбина. Поэтому в случае блочной схемы пуска до подачи пара на турбину необходимо осуществить растопку котлоагрегата и поднять температуру пара на выходе из него до требуемых значений.

При пуске неостывшей турбины на уплотнения ЦВД и ЦНД должен подаваться горячий пар, так чтобы его температура немного превышала температуру металла. Наиболее горячими являют­ся передние уплотнения ЦВД и ЦСД турбины, а также уплотне­ния со стороны выхлопа ЦВД. Уплотнения ЧНД будут более хо­лодными.

Желательно на уплотнения турбины подавать пар различных параметров. Обычно па уплотнения ЦВД и передние уплотнения ЦСД подается горячий пар, например, с линии промперегрева, а остальные уплотнения питаются паром из деаэратора. Подача пара на уплотнения производится до включения в работу эжек­торов.

Повышение скорости вращения при пуске горячей турбины производится быстрее, чем при пуске из холодного состояния, так как при медленном развороте могут произойти охлаждение ротора, его деформация и задевания в проточной части. Если параметры свежего пара соответствуют температурному состоянию турбины, то увеличение скорости вращения до номинальной мож­но осуществить за 10 ÷ 15 мин, считая от момента толчка ротора. При пуске горячей турбины контроль за допустимыми разно­стями температур, механическим состоянием и тепловой дефор­мацией турбины следует осуществлять с особой тщательностью, учитывая значительную скорость пуска и возможность остаточных деформации ротора и цилиндра. Необходимо внимательно следить, чтобы перед толчком турбины ротор не имел прогиба, превышающего 0,04 мм. Опыт эксплуатации показывает, что большинство прогибов ротора турбин происходит при пусках из поостывшего состояния по причине отступлений от режимов пуска.

Для уменьшения деформации цилиндра и разности темпера­тур верха и низа его при остывании турбины и облегчения после­дующего пуска из горячего состояния большое значение имеет качественная изоляция корпуса по всему периметру. Это достига­ется при нанесении изоляции методом напыления, который в на­стоящее время широко применяется на ТЭС.

Оптимальные графики и режимы пуска турбин из различных тепловых состояний разрабатываются специальными наладоч­ными организациями. Такой график пуска турбины ПТ-60-130/13(22) паром поминальных параметров приведен в качестве примера на рисунке 2.



Рисунок 5 - Общее время пуска турбины ПТ-60-130/13(22) паром

номинальных параметров и продолжительность отдельных пусковых

операций в зависимости от температуры низа ЦВД

Нижняя часть графика — разворот турбины (за­штрихованная часть) - холостой ход и синхронизация генератора; верхняя часть — нагружение турбины.

7 - В случае блочных паротурбинных установок операции пуска и останова котлоагрегатов и турбин совмещаются во времени и неразрывно связаны между собой. Это потребовало нового под­хода к организации режимов пуска оборудования, планового и аварийного его останова, сброса нагрузки до холостого хода, а также разработки специальных пусковых схем. К пусковым схе­мам блоков предъявляются следующие требования:

- возмож­ность пуска блока при любом тепловом состоянии котлоагрегата и турбины при безусловном соблюдении условии надежности работы оборудования;

- обеспечение минимальной продолжи­тельности пусковых операций при минимальных затратах топли­ва и потерь конденсата и соблюдение оптимальных условий прогрева котлоагрегата, паропроводов и турбины;

- обеспече­ние надлежащего водного режима при пусках блоков;

- пре­дельное упрощение пусковых операций, возможность унифика­ции режимов и программ пусков с внедрением систем автомати­ческого управления ими;

- возможность удержания блока в работе при сбросе нагрузки до холостого хода или нагрузки соб­ственных нужд;

- возможность ремонта одного из котлоагрега­тов дубль-блока при работе турбины и второго котельного агрегата.

Пусковые схемы блоков с прямоточными котлоагрегатами должны обеспечивать растопочную нагрузку на уровне 30 % но­минальной и давление в испарительных поверхностях, близкое к рабочему, по условию надежной работы котлоагрегата.

Для создания оптимальных условий пуска турбины пусковые схемы должны обеспечивать необходимую стартовую температу­ру свежего пара и пара промперегрева, соответствующую тем­пературному состоянию ЧВД и ЧСД турбины. Важным факто­ром является также обеспечение плавного регулирования темпе­ратуры пара после первичного и вторичного пароперегревателей.

В настоящее время пуск блоков осуществляется на скользя­щих параметрах пара. Такой способ пуска об­ладает по сравнению с пуском при поминальных параметрах пара рядом существенных достоинств:

- при пусках на скользящих параметрах пара уменьшается общая продолжительность пусковых операции, так как паро­проводы и турбина прогреваются одновременно с пуском котло­агрегата, а не последовательно, как в случае пуска при номи­нальных параметрах;

- одновременно достигается уменьшение тепловых потерь, так как пуск турбины начинается уже при получении в котлоагрегате небольших расходов пара пониженных параметров. При этом даже в случае применения прямоточных котлоагрегатов лишь небольшое количество пара сбрасывается помимо турбины в конденсатор;

- пуск блока происходит при небольших тепловыделениях в топке, что позволяет обеспечить благоприятный температур­ный режим его поверхностей нагрева;

- при пуске на скользящих параметрах пара улучшаются условия прогрева паропроводов и турбины. Использование для этой цели пара малых давлений, имеющего большие удельные объемы, обеспечивает высокие скорости потока, за счет чего до­стигается равномерный прогрев всех элементов блока;

- пуск на скользящих параметрах повышает надежность блоков и увеличивает срок службы отдельных узлов и элементов оборудования.

Переход со скользящего на номинальное давление при пус­ках блоков желательно осуществлять при максимальном наборе нагрузки, чтобы в наибольшей степени прогреть турбину при пол­ностью открытых регулирующих клапанах. Для блоков с бара­банными котлоагрегатами переход возможен при полном погру­жении турбины.

Каждая пусковая схема блока должна иметь систему байпасирования турбины, которая позволяет в необхо­димых случаях сбросить часть расто­почного пара помимо турбины в конден­сатор и предотвратить потерю конден­сата при пуске. Система байпасирования турбины необходима также для удержания блоков в работе при частич­ном и полном сбросе нагрузки, в том числе и при сбросе нагрузки до холо­стого хода. Для всех блоков в этом ре­жиме предусмотрен перевод котлоагрегата на растопочную нагрузку, вклю­чение системы байпасирования и сброс излишком пара в конденсатор.

|  |  |
| --- | --- |
| https://konspekta.net/lektsiiorgimg/baza17/2046824471459.files/image200.jpg | https://konspekta.net/lektsiiorgimg/baza17/2046824471459.files/image201.jpg |

а –двухбайпасная; б – однобайпасная; 1 – котлоагрегат;

2 – первичный пароперегреватель; 3 – вторичный пароперегреватель;

4 – БРОУ-1; 5 – турбина; 6 – конденсатор; 7 – БРОУ -2.

Рисунок 6 – Пусковая схема блока

По способу байпасирования турби­ны различают одно- и двухбайпасные пусковые схемы. Двухбайпаспые схемы (рисунок 6, а)применялись на первых отечественных блоках. В этом случае при растопке, и сбросах нагрузки свежий пар обво­дится ними ЦВД и через быстродействующую редукционно-охладительную установку (БРОУ -1) поступает в промежуточный пароперегреватель, а затем с линии горячего промперегрева через БРОУ - 2 сбрасывается в конденсатор.

Двухбайпасиые схемы обеспечивают надежное охлаждение вторичного пароперегревателя при сбросах нагрузки. Однако они сложны в исполнении, требуют значительных расходов тепла на поддержание БРОУ в прогретом состоянии и отличаются слож­ностью в управлении в связи с трудностью обеспечения полной синхронности и работе отдельных звеньев.

Поэтому с 1964 г. блочные установки стали выполнять с одно-байпасными пусковыми схемами (рисунок 6 ,б). В этом случае применяется одна БРОУ, которая байпасирует сразу всю турби­ну и сбрасывает свежий пар в конденсатор. Это позволяет су­щественно упростить выполнение пусковой схемы и управле­ние ею.

При необходимости в период пусков в случае применения од-нобайпасных схем на охлаждение вторичного пароперегревателя можно подавить пар через обычную редукционно-охладительную установку. Как правило, это производится при пуске блоков из горячего состояния, когда перед подачей пара на турбину тре­буется значительная форсировка мощности котлоагрегата.

Для блоков с прямоточными котлоагрегатами в наибольшей степени отмеченным выше требованиям отвечают пусковые схе­мы со встроенным сепаратором, позволяющие полностью реали­зовать преимущества пуска на скользящих параметрах пара. Все современные блоки обеспечивают возможность сепаратор­ного пуска на скользящих параметрах пара.

8 - Барабанные котлоагрегаты применяются для некоторых бло­ков мощностью 160 и 200 МВт. Однобайпасная пусковая схема моноблока 200 МВт с барабанным котлоагрегатом ТП-100 показана на рисунке 7.



Рисунок 7 – Пусковая схема блока 200 МВт

с барабанным котлоагрегатом

Два главных паропровода диаметром 325x50 имеют по од­ном главной паровой задвижке (ГПЗ) 5*,*расположенной вблизи турбины, и одному стопорному клапану б. Непосредственно перед ГПЗ подключена быстродействующая редукционно-охладительная установка, быстро включающийся клапан 10 которой для сброса пара во время растопки имеет специальную обводную задвижку. БРОУ включает также редукционный клапан 11 и па­роохладитель 12*.*Таким образом, весь главный паропровод при пусках прогревается одновременно с выходными коллекторами котлоагрегата. Каждая ГПЗ имеет байпас, включающий последовательно установленную запорную задвижку и дроссельный клапан, который используется для регулирования расхода пара при прогреве и увеличении скорости вращения турбины. Система парораспределения турбины включает 4 регулирующих кла­пана 7.

Главные паропроводы вблизи котлоагрегата соединены пере­мычкой, которая служит для выравнивания давления пара в обо­их потоках и для подключения предохранительных клапанов 4. К этой перемычке подключена РОУ 140/25 3, которая позволяет подавать пар на прогрев и охлаждение линии вторичного перегрева и промежуточного пароперегревателя 1 при пусках и остановах блока.

Горячие нитки промперегрева включают четыре паропрово­да, что связано с увеличением удельных объемов пара после его перегрева. Скорость пара в паропроводах после промперегрева примерно 45 м/с. У паропроводов промперегрева нет отключа­ющей арматуры. Они имеют только предохранительные клапа­ны 2, которые служат для защиты контура вторичного перегрева и выхлопной части ЦВД от чрезмерного повышения давления при закрытии регулирующих или отсечных клапанов ЦСДна ра­ботающей турбине. Отсечные клапаны ЦСД 8предохраняют турбину от разгона за счет объема пара, находящегося в линии промперегрева, при срабатывании автомата безопасности и от­ключении генератора. Регулирующие клапаны ЦСД 9служат для удержания турбины на холостом ходу при сбросах нагрузки. При срабатывании отсечных клапанов ЦСД пар из горячих ли­ний промперегрева сбрасывается в конденсатор через специаль­ные сбросные клапаны, которые выполняются отдельными или встроенными в отсечные клапаны и управляются от системы ре­гулирования турбины.

В первый период пуска блока пар через БРОУ сбрасывается в конденсатор, в котором предварительно создается вакуум не менее 40 кПа (300 мм рт. ст.). Такая величина вакуума выбира­ется из-за ограниченной термостойкости анионита блочных обес­соливающих установок (на уровне 40 °С), а также для обеспе­чения устойчивой работы конденсатных насосов и предупрежде­ния чрезмерного разогрева выхлопной части турбины и наруше­ния плотности вальцовочных соединений трубок конденсатора. Для всех блоков при выходе турбины на холостой ход вакуум должен составить не менее 86,5 кПа (650 мм рт. ст.). Охлажде­ние первичного и вторичного пароперегревателей, паропроводов свежего пара и промперегрева до давления пара в них 0,098 ÷ 0,196 МПа производится через дренажи, а в дальнейшем — че­рез БРОУ и растопочную РОУ. Перед подачей пара в турбину растопочная РОУ отключается.

При пуске неопытного блока необходимо предусмотреть ме­роприятия по выравниванию температур отдельных элементов блока. Быстрее всех остывает котлоагрегат, несколько медлен­нее — паропроводы и еще медленнее — турбина. Поэтому при пуске неостывшего блока  необходимо форсировать мощность котлоагрегата для получения параметров пара, соответствующих температурному состоянию турбины, а предварительно до толч­ка турбины прогреть паропроводы свежего пара и линию промперегрева. Прогрев главных паропроводов производится свежим паром путем сброса его через БРОУ в конденсатор. Прогрев ли­нии и ром перегрева осуществляется через РОУ со сбросом пара и конденсатор через трубопроводы от отсечных клапанов ЦСД.

При пусках блоков из горячего состояния необходимо обра­тить внимание на создание безопасных режимов для промежу­точного пароперегревателя и на предупреждение значительного относительного укорочения роторов ЦВД и ЦСД, т. е. на соблю­дение условий разворота и нагружения горячей турбины.

Продолжительность пуска блока из горячего состояния зави­сит от длительности его простоя. Пусковые схемы блоков с прямоточными котлоагрегатами за последние годы значительно усовершенствовались в отношении упрощения пуско - сбросных устройств, повышения надежности и экономичности схем при различных режимах пуска.

Для первых блоков применялись пусковые схемы с выносным сепаратором на всем потоке пара (рисунок 8). Однако опыт экс­плуатации таких блоков показал, что из-за неравномерного рас­пределения среды между параллельно включенными паропере­гревателями в них могут возникать недопустимые разверки тем­ператур. Поэтому пуск блоков с выносными сепараторами в начальный период проводится с получением избыточного пара, а значит, с повышенными потерями тепла. В связи с этим для современных блоков применяются исключительно схемы со встро­енными сепараторами на каждом регулируемом потоке котлоагрегата.



1— пароперегревающий тракт; 2 — байпас ВЗ; 3 — пароперегреватель; 4 - РОУ; 5— БРОУ; 6 — конденса­тор;

 7 —клапан на сбросе пара из выносного сепаратора; 8 — деаэра­тор; 9 — выносной сепаратор;

ВЗ — встроенная задвижка; Др1 — клапа­ны на подводящем трубопроводе сепаратора.

Рисунок 8 - Пусковая схема бло­ка с прямоточным котлоагрегатом

и выносным сепаратором

Па основе накопления опыта эксплуатации была создана типовая усовершенствованная пусковая схема для блоков как на докритические, так и на сверхкритические параметры пара. Та­кая схема приведена на рисунке 9. Основной особенностью ее является двухступенчатая схема сепарации, включающая встро­енный сепаратор и растопочный расширитель. Ко второй ступени сепарации подключена линия от БРОУ, что делает схему более гибкой и маневренной.



1,2 — сбросные клапаны из встроенного сепарато­ра; 3 — встроенный сепаратор;

4 — шиберные кла­паны; 5 — отсечной клапан сепаратора; 6 — пер­вичный пароперегреватель; 7 - встроенная за­движка; 8 — испарительная поверхность котла;  9 — бак запасного конденсата; 10—БРОУ; 11— байпас ГПЗ; 12 — пар к турбине; 13 — холодная линия промперегрева; 14—горячая линия промперегрева; 15 — паровой байпас; 16— линия к пароприемным устройствам конденсатора; 17 — станционный коллектор 1,275 МПа; 18 — пар от пусковой котельной; 19 — линия от отборов турбины;  20 - деаэратор; 21 — линия к водоприемным устройст­вам конденсатора;  22 — растопочный расширитель; 23— сброс в канализацию.

Рисунок 9 - Типовая модернизированная пус­ковая схема

с прямоточными котлоагрегатами

В представленной схеме часть тепла растопочной среды в ви­де пара из растопочного расширителя используется для питания деаэратора или для прогрева трубопроводов промперегрева при пуске блока из холодного состояния. Применение второй ступени расширения и отвод из нее воды в конденсатор позволяет обес­печивать надежный водный режим при минимальных потерях конденсата. Наличие парового шибера на выходе из встроенного сепаратора исключает попадание холодной среды в горячие па­ропроводы при пуске блока из неостывшего состояния. Подклю­чение пароперегревателя осуществляется при достижении задан­ной температуры пара на выходе из сепаратора, что позволяет производить пуск блока из любого теплового состояния при ми­нимальных затратах топлива.

9 -Технология пуска блоков зависит от исходного теплового со­стояния котлоагрегата, паропроводов и турбины, которое опре­деляется продолжительностью простоя блока. Наиболее быстро остывает котлоагрегат. Барабанные котлоагрегаты остывают более медленно. Еще медленнее (в те­чение 1÷1,5 суток) остывают перепускные трубы и паропроводы промперегрева. Паропроводы свежего пара и стопорные клапаны остывают в течение 2÷3 суток. Наиболее медленно остывают цилиндры турбин: время их естественного остывания доходит до 5÷6 суток. Таким образом, при данной продолжительности простоя блока основные элементы его будут иметь различную температуру, что должно учитываться при разработке графиков пуска блока.

Различают пуски блоков из неостывшего (при температуре паропроводов или турбины выше 150 °С) или горячего состоя­ния, когда в котле сохраняется давление, близкое к номиналь­ному. Указанная классификация пусков является в опреде­ленной мере условной и для конкретного оборудования может несколько изменяться.

Для различных исходных тепловых состояний блока разра­батываются свои графики-задания по пуску, которые должны обеспечить отсутствие тепловых ударов, допустимые скорости прогрева или охлаждения элементов блока, соблюдение крите­риев механической надежности турбины, а также минимальное время пуска. С этой целью необходимы надлежащий выбор па­раметров пара для толчка турбины, выдерживание оптимального времени разворота турбины и ее нагружения, а также прогрев паропроводов свежего пара и паровпускных органов турбины, чтобы не допустить значительного снижения температуры пара, подаваемого в горячую турбину.

Пуск неостывшего блока осуществляется при соблюдении следующих, условий: температура свежего пара и после проме­жуточного перегрева должна не менее чем на 50 °С превышать температуру наиболее нагретых элементов соответственно ЦВД и ЦСД турбины; на уплотнения ЦВД и передние уплотнения ЦСДнеобходимо подавать горячий пар температурой 300÷320 °C; прогрев ЦВД и перепускных труб высокого давления сле­дует осуществлять при подаче в турбину пара через байпас ГПЗпри полностью открытых регулирующих клапанах и вращении ротора турбины со скоростью примерно 500 об/мни.

Пуск из горячего состояния производится аналогично пуску неостывшего блока, но без предварительного прогрева тракта промежуточного перегрева и перепускных труб высокого давле­нии Такой пуск позволяет быстро нагрузить блок, но одновре­менно предъявляет жесткие требования ко времени выполнения отдельных операций. Очень важно своевременное установление растопочного расхода питательной воды и топлива.

Начальное тепловыделение в топке устанавливается пример­но равным 20 % номинального. Подключение пароперегревателя производится при повышении температуры газов в поворотной камере до 500 °С.

После подключения пароперегревателя необходимо отрегули­ровать тепловую нагрузку котлоагрегата для получения необходимого предтолчкового уровня температуры свежего пара. Подъ­ем скорости вращения и нагружения турбины производятся со­гласно графику-заданию, разработанному применительно к дан­ному тепловому состоянию блока перед пуском.

10- Время пуска паротурбинных установок зависит от типа кот-лоагрегатов и турбин, начальных параметров пара, исходного теплового состоянии, режима пуска основного оборудования и других факторов.

Продолжительность пуска котлоагрегатов в зависимости от их типа и начального давления находится в пределах 1 ÷ 6 ч. Время пуска турбин с начальным давлением 12,75 МПа паром номинальных параметров в зависимости от исходного температурного состояния ЧВД составляет 80 ÷ 390 мни

Время пуска паротурбинных установок в значительной мере определяется допустимыми скоростями прогрева их наиболее толстостенных элементов (фланцы ЦВД и ЦСД для турбин и барабаны для котлоагрегатов). Поэтому для ускорения пуска турбин высокого давления применяется обогрев фланцев и шпилек ЦВД и ЦСД. Обогрев фланцев снаружи позволяет существенно снизить разность температур по ширине фланцев, между стопкой и фланцем, а также уменьшить относительные удлинения ротора ЦВД и время пуска турбины. Обогрев фланцев следует производить одновременно с дополнительным обогревом шпилек, чтобы не допустить появления значительной разности температур между фланцем и шпилькой.

В первом способе для обогрева фланцев пар подводится в короба, примеренные к наружной поверхности фланцев. Шпильки обогреваются снаружи за счет подвода пара через углубление в плоскости горизонтального разъема фланцев или изнутри путем подачи пара через центральное отверстие в шпильке.

Для прогрева фланцев и шпилек более целесообразно использование не свежего пара, а пара из камеры регулирующей ступени или из пространства между внутренним и внешним корпусами ЦВД. При этом исключается возможность перегрева фланцев и шпилек и уменьшается температурный перекос по длине фланца. Кроме того, такой способ подачи пара обладает свойством саморегулирования, так как по мере роста нагрузки турбины температура и расход греющего пара автоматически увеличиваются, что соответствует требуемому режиму обогрева фланцев и шпилек. В установках с промперегревом для обогрева фланцев и шпилек рекомендуется использовать пар из линии промперегрева, так чтобы фланцы обогревались снаружи и из изнутри паром одинаковых параметров.

Рациональным методом ускоренного пуска барабанных котло-агрегатов является предварительный разогрев их паром от параллельно работающих котлоагрегатов, что позволяет уменьшить разность температур между верхом и низом барабана, а также способствует более быстрому возникновению циркуляции в котле.

Наиболее перспективным и современным способом ускорения пуска мощных паротурбинных установок является освоение и широкое внедрение систем автоматического управления пусками на основе применения управляющих машин и автоматов пусков. При ручном управлении обслуживающий персонал не в состоянии провести все пусковые операции с максимально допустимыми разностями температур и скоростями прогрева. Обычно из опасения появления чрезмерных термических напряжений время пуска затягивается.

Использование при пусках электронных вычислительных машин и автоматов позволяет с большей оперативностью и тщательностью учитывать температурное состояние оборудованный обеспечивать минимальную продолжительность пуска. Применение систем автоматического пуска сокращает на 20 ÷ 25% время пусковых операций.

При использовании управляющих вычислительных машин (УВМ) полнота автоматизации пусков может быть различной. Опыт показывает, что автоматизация ряда вспомогательных предпусковых операций нецелесообразна. Эти операции выполняются задолго до основных пусковых операции. Причем при наличии развитой системы блокировок и защиты вероятность ошибочных действий персонала небольшая и непосредственно не угрожает надежности оборудования. В то же время отказ от автоматизации предпусковых вспомогательных операций значительно сокращает число объектов управления и упрощает программы пусков и задачу УВМ.

Такой принцип был попользован при разработке систем автоматического пуска блоков 200 МВт. Подготовка оборудования и приведение его в предпусковое состояние производятся обслуживающим персоналом. После этого УВМ осуществляет автоматический пуск блока, проверив предварительно соответствие теплового состояния блока типу пуска, заданному УВМ оператором. УВМ производит необходимые переключения в пусковой схеме, включает и отключает механизмы собственных нужд и регуляторы, управляет автоматизированными растопочными форсунками. В процессе проведения всех операции производится непрерывный контроль за температурным и механическим состоянием элементов оборудования и параметрами пара. Полученные после обработки этих данных результаты сравниваются с величинами, заложенными в памяти машины, такими, как допустимая разность температур, допустимая скорость прогрева элементов, вибрация и др. УВМ не только производит пуск оборудования с оптимальными скоростями, но при необходимости осуществляет также ликвидацию аварийных ситуации.

В случае невыполнения какой-либо команды УВМ пуск приостанавливается. Пуск с помощью управляющей машины будет продолжен после выполнения данной команды персоналом и получения УВМ соответствующего сигнала.

Системы автоматического управления пусками строятся с использованием стандартных первичных датчиков, причем их дублирование обычно не предусматривается. В случае выхода из строя отдельных элементов системы имеется возможность перехода на ручное дистанционное управление соответствующими пусковыми операциями.

В настоящее время отработке и внедрению систем автоматического пуска оборудования уделяется большое внимание.

11 - Как и при пуске, при останове турбины происходят изменение ее термического и механического состояний и деформация дета­лей. Поэтому при останове турбин также необходимо выдержи­вать определенный режим расхолаживания и вести контроль за термическим расширением и механическим состоянием элементов турбоагрегата. Следует помнить, что при останове турбины про­исходят охлаждение и относительное укорочение ротора, что является весьма опасным ввиду небольших входных осевых зазо­ров в проточной части турбины. Различают следующие виды останова турбоагрегата: нормальный останов в горячий и хо­лодным резервы; останов в ремонт с принудительным расхола­живанием турбины; аварийный останов.

Нормальный останов производится в плановом порядке с про­ведением необходимых подготовительных операций и соблюдени­ем всех требований инструкции. Останов в горячий резерв осу­ществляется без специальных мер расхолаживания с целью мак­симального сохранения аккумулированного в турбоагрегате тепла. Как с этой точки зрения, так и для предупреждения рез­кого охлаждения и деформации деталей турбин наиболее целе­сообразным было бы мгновенное прекращение подачи пара на турбину, т. е. полный сброс нагрузки, что обеспечивает медленное остывание турбины и исключает возможность возникновения опасных термических напряжений и задевании в проточной части.

Однако мгновенный сброс большой нагрузки нежелателен с точки зрения работы энергетической системы, так как может вызвать значительное снижение напряжения и частоты. Поэтому при нормальном останове турбоагрегата в горячий резерв про­изводят обычно достаточно быстрое снижение электрической на­грузки до 30 ÷ 35 % номинальной с последующим мгновенным сбросом оставшейся нагрузки путем закрытия стопорных и регу­лирующих клапанов. При таком способе останова в турбине ак­кумулируется достаточное количество тепла, а толчок нагрузки в системе будет незначительным. При останове турбины в хо­лодный резерв она полностью разгружается. Снижение нагруз­ки обычно производится ступенчато *с*выдержкой времени на промежуточных нагрузках. Снижение нагрузки осуществляется со скоростью 0,5 ÷ 1% мин. Разгрузка турбин, работающих на общую магистраль, а также в блоке с прямоточными котлами, производится путем прикрытия регулирующих клапанов. Раз­грузка турбин, работающих в блоке сбарабанными котлоагрегатами, может осуществляться при полностью открытых регули­рующих клапанах путем снижения давления пара перед турби­ной, т. е. на скользящих параметрах.

Подготовка к останову турбин предполагает расхаживание регулирующих и стопорных клапанов, проверку работы вспомо­гательных маслонасосов и исправности приводов РОУ и БРОУ. По мере снижения нагрузки в соответствии с инструкцией по обслуживанию данного турбоагрегата производятся необходи­мые переключения в тепловой схеме: отключается испаритель, питание деаэратора и эжекторов переводится на резервный ис­точник, останавливаются сливные насосы ПНД, а дренажи реге­неративных подогревателей переводятся по каскадной схеме на конденсатор. Если при полной нагрузке на блоке работают по два питательных и конденсатных насоса, то оставляют в работе по одному насосу. Необходимо также убедиться в открытии клапана на линии рециркуляции конденсата. В блочных турбоустановкax с пускорезервным питательным насосом с электро­приводом при нагрузках 30 ÷ 50 % номинальной питание котлоагрегата переводится на электронасос, а питательный турбона­сос, согласно местной инструкции, останавливается.

После отключения турбины необходимо включить резервный масляный насос и убедиться в том,что он создает требуемое для системы смазки давление масла. Температура масла после мас­лоохладителей все время должна поддерживаться па уровне 40 ÷ 42 °С за счет сокращения подачи воды на маслоохладители. Не­обходимо также уменьшить подачу воды для охлаждения гене­ратора, чтобы не допустить резкого охлаждения обмоток статора и ротора генератора.

Вопросы к лекции :

1. Почему наиболее сложной операцией является пуск турбины
2. Почему при пусках турбин ротор разогревается значительно быстрее чем корпус
3. Как производится подготовка растопочной схемы для пуска блока
4. Что может являтся следствием повышенной вибрации турбоагрегата