

УДК 621.165

ИССЛЕДОВАНИЕ МАЛОРАСХОДНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕПЛОФИКАЦИОННЫХ ТУРБИН

Трахимович И.А., Пантелей Д.Е.

Научный руководитель – старший преподаватель Пантелей Н.В.

Малорасходными режимами называются режимы с малым расходом пара непосредственно через турбину или ее цилиндры и отсеки. Малорасходные режимы представлены такими режимами как: режимы холостого хода и нагрузки собственных нужд, беспаровой и моторный режимы.

Под моторным режимом работы турбин понимают такой режим, при котором генератор потребляет энергию из сети, а не передает ее в сеть в результате вращения турбиной. На этом режиме, пар в последнюю часть турбины не поступает, а в конденсаторе поддерживается номинальное давление. Ротор турбины вращается при номинальной частоте вращения. Чаще всего моторный режим возникает автоматически при остановах турбины. Для дубли-блочных установок такой режим характерен во вращающемся резерве одной из турбин. Продолжительность режима 3-4 минуты, что обусловлено перегревом проточной части за счет теплоты от трения и вентиляции. Если необходима более длительная работа, то подается низко потенциальный пар для охлаждения проточной части турбины.

Беспаровой режим – это режим, при котором отсутствует расход пара через цилиндр. Данный режим фактически является аналогом моторного режима работы турбины. Особенность беспарового режима заключается в недопустимости его использования в турбинах высокого и среднего давления. Обосновывается это большими потерями на трение, которые возникают из-за отсутствия потока пара через турбину. А это в свою очередь являются причиной разогрева ротора и корпуса, что в итоге приводит к немалым повреждениям различных участков проточной части турбины.

Холостой ход турбины осуществляется на номинальной частоте и с нулевой мощностью на зажимах генератора. Этот режим приводит к сильному разогреву концевой части турбины, появляются сильные вибрации из-за перемещения в вертикальном направлении разогретых корпусов подшипников. Наиболее опасным является вибрационное напряжение на лопатках последних ступеней, возрастающее при малых объемных расходах пара. В ходе холостого хода отмечается рост температуры выходной части турбоагрегата (ТА), вызываемый ростом динамических напряжений на рабочих лопатках. Данный режим используется для проведения ряда необходимых проверок надежной эксплуатации турбины. Допустимая продолжительность режима холостого хода после сброса электрической нагрузки составляет 15 минут, а для испытания электрического оборудования при пуске после капитального ремонта или монтажа - не менее 20 часов.

При режиме нагрузки собственных нужд расход пара идет только на покрытие мощности, необходимой для электроснабжения всего оборудования блока и всего оборудования станции. Электрическая энергия в сеть не

отпускается. Данный режим расходует немного больше пара, чем режим холостого хода, однако, в то же время, представляет все те же опасности. Продолжительность работы турбоагрегата на режиме нагрузки собственных нужд ограничивается 40 минутами после сброса нагрузки.

Режимы работы турбины с малым расходом пара, как и любые другие режимы, должны соответствовать ряду технико-экономических показателей. При работе на малорасходных режимах работы на детали турбины действует огромное количество механических и тепловых нагрузок. Чтобы эти нагрузки не привели к аварии турбины или к снижению долговечности эксплуатации, необходимо соблюдать некоторые критерии надежности. Снижение надежности возможно по таким причинам как: нагрев ступени, увеличение вибраций, большие нагрузки на детали турбины.

Нагрев ступени обусловлен трением рабочего колеса о пар и ухудшением режима охлаждения ступени (расход проходящего через нее пара уменьшается). Нагрев ступени приводит к быстрому увеличению температуры выхлопного патрубка турбины, что может вызвать расцентровку турбоагрегата.

Увеличение вибраций обосновывается сбоем в однородности течения пара при снижении объемного расхода, а также появление вихрей в корневой и периферийной зонах.

Количество подсасываемого корневым вихрем в последнюю ступень вторичного пара в несколько раз может превышать количество рабочего через ЧНД потока. На малорасходных режимах выявлен эффект саморегулирования, когда уменьшение расхода рабочего пара приводит к соответствующему увеличению вторичного с корневым вихрем. Последнее имеет большое значение, так как при неорганизованном вторичном потоке им в последнюю ступень вносится достаточно большое количество влаги, которая активно участвуя в охлаждении ЧНД и выхлопа турбины приводит к ряду побочных негативных эффектов. Среди них наиболее опасным является эрозионный износ выходных кромок рабочих лопаток последней ступени. Эжектируемая в последнюю ступень влага проявляет себя в создании значительной окружной, осевой и радиальной неравномерности градиентов и полей температур в последней ступени, что ведет к накоплению в металле лопаток усталостных явлений от температурных напряжений. Долгое время считалось, что основным источником влаги, поступающим в последнюю ступень являются капельные потоки, поднимающиеся из конденсатора. Однако это не совсем так. Визуальные наблюдения на турбине Т-110/120-130 МТЭЦ-4 и ПТ-60-130/22 БТЭЦ-4 показали, что основное поступление влаги к выходным кромок последней ступени обусловлено захватом корневым вихрем струй и плёнок стекающих с верхней части выхлопного патрубка и конуса заднего подшипника. Эта влага образуется за счет конденсации пара на холодных стенках патрубка и конуса заднего подшипника турбины. И ее в патрубке настолько много, что картина напоминает хороший “грозовой дождь”. Полученные наблюдения имеют большое значение при организации эффективного охлаждения ЧНД.

Максимальная концентрация напряжений приходится на последнюю ступень. Именно последняя ступень ТА имеет наибольшие геометрические размеры в радиальном направлении, т.е. максимально меняются параметры пара по радиусу. Изменения такого плана довольно существенны несмотря на использование различных конструкторских решений, которые влияют на пространственную геометрию потока. Очень большую роль тут играет изменение реактивности ступени в каждом из сечений.

Внимание следует обращать и на экономичность. В качестве основных факторов, влияющих на экономичность, можно выделить изменение давления в конденсаторе, изменение расхода пара, изменение величины теплоперепада.

Мощность ступени при увеличении давления в конденсаторе или при снижении расхода снизится, т.е. снизится и экономичность. При снижении величины теплоперепада (за счет уменьшения объемного расхода) оптимальное отношение скоростей нарушается, а именно – возрастает, т.е. происходит переход в режим с пониженным КПД. При определенном для данного сечения отношении скоростей окружной КПД становится равным нулю, т.е. полезная мощность перестает вырабатываться. Уменьшение объемного расхода приводит к уменьшению степени реактивности ступени. Другими словами, чем меньше величина начальной степени реактивности, относящейся к корню рабочих лопаток, тем более сильно изменяется реактивность.

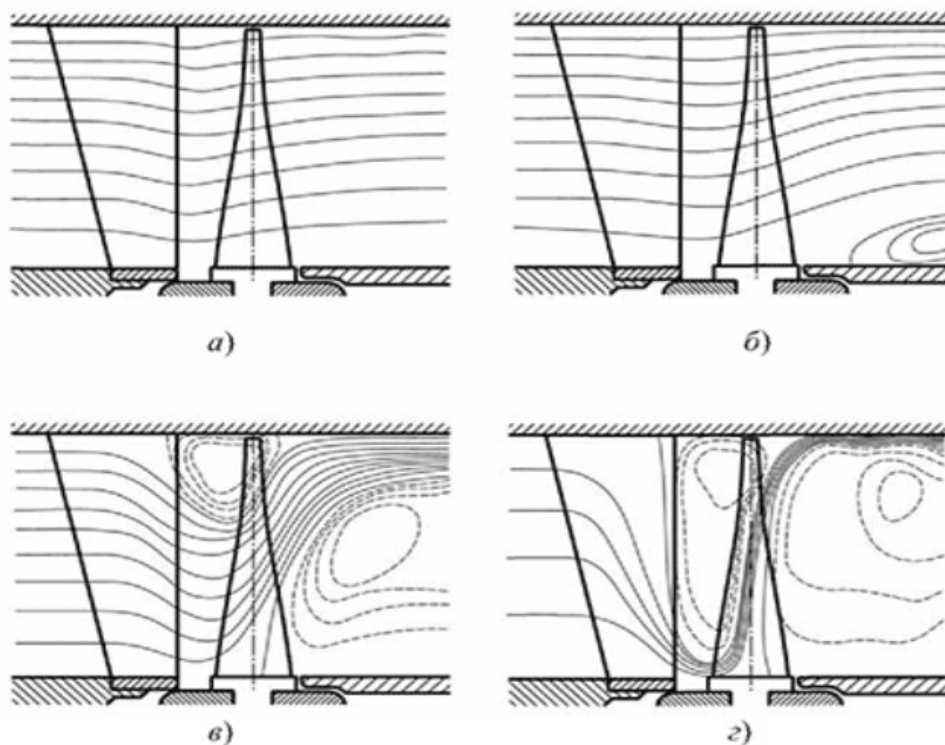


Рисунок 1. Схема течения парового потока в последней ступени турбины в зависимости от объемного расхода пара: а) $\bar{G}v = 1,0$; б) $\bar{G}v = 0,7$; в) $\bar{G}v = 0,25$; г) $\bar{G}v = 0,05$

Уменьшение реактивности в свою очередь ведет к затормаживанию парового потока. Сильней всего это выражается у корня лопатки. В итоге, происходит перестройка парового потока: линии потока поднимаются к периферийной части лопатки, расход через которую увеличивается. В

результате чего образуются вихри в периферийной и корневой зонах осевого зазора. Эти вихри вращаются с почти окружной скоростью рабочего колеса вокруг оси ротора

Такое течение потока присуще всем поочередно ступеням по направлению к первой, по мере снижения объемного расхода пара. Снижению экономичности будет способствовать тот факт, что поток поднимается от корня к периферии и работает не вся поверхность рабочих лопаток ступени, а только периферийная часть.

Малорасходные режимы являются неотъемлемой частью эксплуатации каждой турбины. Подытожив, можно сделать вывод, что при грамотном учете каждой из вышеперечисленной характеристик, возможно обеспечение надежности и экономичности процесса работы теплофикационных турбин.