

5.1. Выбор типа и характеристик привода питательных насосов

Питательные насосы наиболее мощные потребители собственных нужд ТЭС. Для блоков СКД мощность потребляемая питательными насосами может

доходить до 4% номинальной мощности. Важное значение приобретают выбор типа, характеристик и схем включения привода питательных насосов.

Основные типы привода:

I. Электропривод с постоянным числом оборотов.

На рис. 5.1. в общем виде показаны характеристики насоса и сети. Использование электропривода с постоянной скоростью вращения сопряжено со значительными потерями энергии при пониженных производительностях насоса. По мере снижения нагрузки блока сопротивление питательных трубопроводов и элементов котлоагрегата уменьшается, вследствие чего уменьшается и необходимый напор против соответствующей расчетной величины. Между тем фактический напор, развиваемый питательными насосами возрастает.

Это приводит к необходимости дросселирования значительного избыточного напора (особенно при пусковых режимах), что связано с потерями энергии и вызывает быстрый износ узла регулирования котлоагрегата. Для обеспечения надежного питания котлоагрегата при переменных нагрузках блока питательные насосы должны выбираться с некоторым запасом производительности котла. В свою очередь котлоагрегаты часто проектируются с некоторым запасом производительности относительно расчетного расхода пара на турбину. Таким образом, питательный насос даже в условиях номинальной нагрузки блока работает, как правило, со значительным запасом по нагрузке и следовательно, с большими потерями энергии на регулирование.

Эти недостатки электропривода с нерегулируемой скоростью вращения существенно усиливаются по мере повышения начальных параметров пара в связи с увеличением удельного расхода энергии на привод питательного насоса.

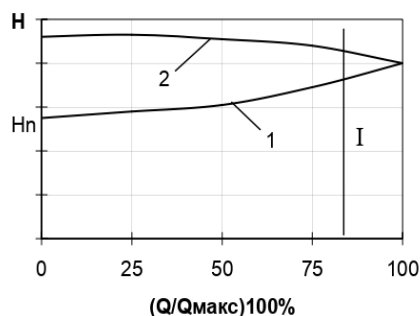


Рис. 5.1. Типовая характеристика $H - Q$ сети и питательного насоса.

1 – характеристика насоса; 2 – характеристика сети; H_n – постоянная составляющая сопротивления сети; I – нагрузка турбины 100%.

Вместе с тем максимальная мощность изготавливаемых электродвигателей не превышает 12000 кВт, что вызывает необходимость применения в блоке по крайней мере двух рабочих насосных агрегатов 50%-ной производительности. Преимуществами электрического привода насоса являются простота и высокая надежность в эксплуатации.

Эффективная мощность главной турбины требуемая для привода питательного электронасоса, в общем определяется следующим выражением:

$$N_{\text{ЭП}} = \frac{G_0(P_n - P_{\text{вс}}) \cdot \varrho}{\eta_n \eta_{\text{эд}} \eta_m \eta_r \eta_{\text{т}}}$$

где ϱ – удельный объем воды в насосе,
 G_0 – весовая производительность насоса,
 $P_n, P_{\text{вс}}$ – давление нагнетания и всасывания,
 η_n – к.п.д. насоса,
 $\eta_{\text{эд}}$ – к.п.д. электродвигателя,
 η_m – к.п.д. мультипликатора,
 η_r – к.п.д. генератора,
 $\eta_{\text{т}}$ – к.п.д. трансформатора.

2. Электропривод с регулируемым числом оборотов

В качестве электропривода питательного насоса с регулируемым числом оборотов на практике используется электродвигатель с гидромуфтой.

Применение гидромуфты между электродвигателем и насосом позволяет посредством изменения скольжения муфты изменять число оборотов насоса при постоянной скорости вращения электродвигателя.

Этот тип привода имеет следующие преимущества при сниженных нагрузках блока по сравнению с нерегулируемым электронасосом:

- по мере снижения нагрузки блока напор насоса снижается в соответствии с характеристикой сети (а не возрастает, как при $n_n = \text{const}$), исключаются потери связанные с дросселированием избыточного напора;
- при снижении производительности насоса в условиях переменной скорости вращения, КПД его падает менее резко, чем при $n_n = \text{const}$;
- уменьшается расчетный напор, на который рассчитывается трубная система ПВД.

Однако вариант электропривода с гидромуфтой имеет ряд недостатков:

- появляются дополнительные потери присущие гидромуфте (скольжение, механические потери), в формуле определения $N_{\text{ЭП}}$ добавляется $\eta_{\text{гм}}$,
- остаются трудности по созданию электродвигателей повышенной (более 12 МВт) мощности.

Регулирование подачи насоса гидромуфтой изменением числа оборотов насоса n показано на рис. 5.2.

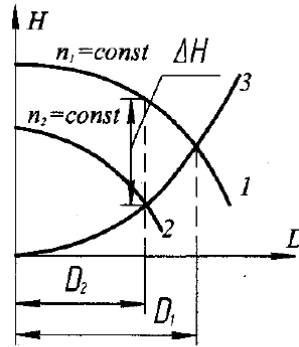
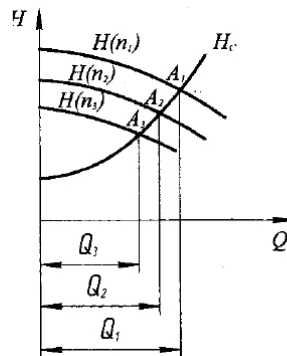


Рис.5.2. Характеристика напор – производительность центробежного насоса и регулирование расхода изменением числа оборотов и дросселированием.
 1 – напор, создаваемый насосом при числе оборотов n_1 ; 2 – напор при числе оборотов n_2 ; 3 – характеристика сети (зависимость гидравлического сопротивления от расхода воды); ΔH – напор, срезаемый клапаном при дроссельном регулировании производительности.

3. Турбинный привод питательного насоса

Применение турбопривода питательного насоса позволяет в широком диапазоне плавно менять частоту вращения и оправдано для мощных энергоблоков, когда возрастают мощность и КПД приводной турбины (η_{oi}) приближается по своему значению к η_{oi} главной турбины.

На рис. 5.3 показано регулирование подачи питательного насоса изменением его частоты вращения.



5.3. Регулирование подачи насоса изменением частоты вращения его рабочего колеса:

$H(n_1), H(n_2), H(n_3)$ – характеристики насоса при трех значениях частоты вращения; H_c – характеристика сети;

Q_1, Q_2, Q_3 – подача насоса при каждом из трех режимов;

A_1, A_2, A_3 – рабочие точки для трех режимов.

Основные преимущества турбинного привода питательного насоса (ТПН):
 - сохраняются достоинства электропривода с регулируемым числом оборотов;

- исключаются проблемы связанные с созданием и эксплуатацией мощных электродвигателей;

Приводная турбина может быть изготовлена на любую мощность необходимую для обслуживания насоса 100% производительности:

- Тепловая экономичность турбопривода (η_{oi}) незначительно меняется при снижении нагрузки и скорости вращения (в отличие от гидромурфты);

- Исключаются мультипликатор и гидромурфта, отсутствуют потери в генераторе и трансформаторе;

- Непосредственное соединение турбины с насосом, т.е. проектирование ее на повышенное число оборотов повышает экономичность турбины и снижает ее стоимость;

- Появляется возможность уменьшить удельную паровую нагрузку выходного сечения последней ступени главной турбины и снизить потери с выходной скоростью. Это особенно важно для мощных блоков с предельной длиной лопаток последней ступени.

Отмечая недостатки турбинного привода питательного насоса можно указать:

- относительно низкую экономичность приводной турбины в случае ее малой мощности и расходов пара.

При трубоприводе отсутствует расход электроэнергии на питательные насосы, но повышается расход на привод конденсатного и циркуляционного насосов, дымососов, вентиляторов, механизмов топливоподдачи и золоудаления из-за увеличения расхода пара в конденсатор и топлива на котлы. Капитальные затраты на станции с переходом на трубопривод возрастают: увеличивается стоимость питательной установки, так как затраты на турбонасос выше, чем на электронасос с редуктором и гидромурфтой; увеличивается стоимость котла, топливоприготовления, тягодутьевой установки, конденсационной установки и сооружений технического водоснабжения.

В России ТПН применяется для блоков мощностью более 200 МВт. Наиболее применяемые противоавленческие и конденсационные приводные турбины. Противоавленческий ТПН включается обычно на байпасе ЦСД, отличается компактностью и меньшей стоимостью.

Конденсационный ТПН с выхлопом в отдельный конденсатор или конденсатор главной турбины усложняет тепловую схему, позволяет уменьшить удельную паровую нагрузку выходного сечения последней ступени главной турбины и снизить потери с выходной скоростью. Это особенно важно для мощных блоков с предельной длиной лопаток последней ступени (960 мм, 1200 мм и выше). На блоках с турбинами К-300 и Т-250 применяют противоавленческий привод. Для блоков 500 МВт и выше - конденсационный из отборов 1,0 ÷ 1,5 МПа. Эффективность применения более дорогого, но и более экономичного конденсационного ТПН возрастает с увеличением стоимости топлива. Оптимизируемые параметры для ТПН: начальное давление; частота вращения (3000-4500 об/мин); конечное давление в конденсаторе, его поверхность и кратность охлаждения (50-60).

Оптимальные характеристики приводных турбин должны выбираться с учетом их унификации, т.к. индивидуальное изготовление с оптимальными параметрами для каждого экономического района ведет к росту затрат в производстве.

Для энергоблоков с турбинами К-300-240 ЛМЗ используются питательный турбонасос ПГН-1150-340 (номинальная подача воды 115 м³/час, давление нагнетания 33,4 МПа, номинальная частота вращения 6000 об/мин, номинальная потребляемая мощность 12,5 МВт) и приводная противоаварийная турбина ОР-12П КТЗ (давление пара 1,5 МПа, противоаварийное давление 0,23 МПа, расход пара 114 т/час), подключенная к отбору № 3 главной турбины, отработавший пар отводится в отбор № 6 главной турбины. Реальные характеристики этих агрегатов по результатам испытаний приведены на рис. 5.4. и 5.5.

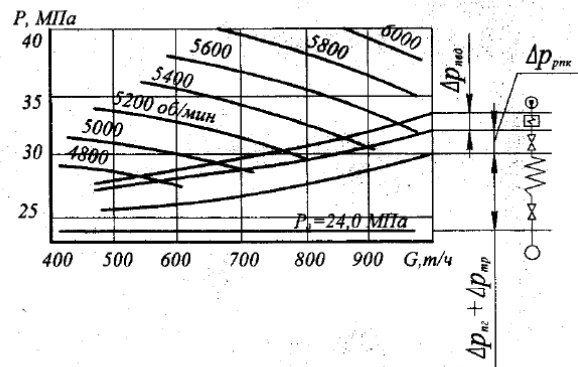


Рис. 5.4. Характеристики питательного турбонасоса ПГН-1150-340 и пароводяного тракта энергоблока.

$\Delta p_{пвд}$, $\Delta p_{пк}$, $\Delta p_{пг}$, $\Delta p_{тр}$ - потери давления в ПВД, регулирующем питательном клапане, в парогенераторе, трубопроводах свежего пара до стопорного клапана турбины.

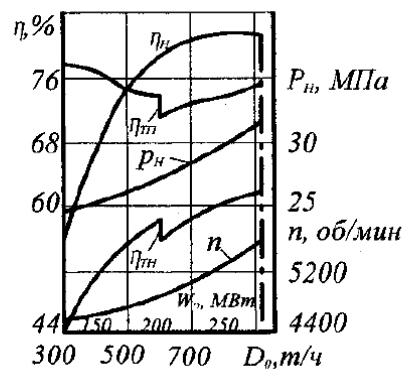


Рис. 5.5. Зависимость к.п.д. питательного насоса η_n приводной турбины $\eta_{тп}$, турбонасоса $\eta_{пг}$, давления нагнетания p_n и частоты вращения n от расхода пара на турбину D_0 и мощности W_3 энергоблока 300 МВт.

В случае применения приводных турбин с отборами пара на регенерацию для повышения экономичности их целесообразно подключать к холодной нитке промперегрева. За счет переноса ряда регенеративных отборов на приводную турбину упрощается конструкция корпуса основной турбины.

Характеристики приводных турбин должны выбираться с учетом особенности работы блоков на переменных режимах. При работе блоков при частичных нагрузках с постоянным начальным давлением пара располагаемая мощность приводной турбины уменьшается в большей степени, чем мощность главной турбины. В особенности это относится к конденсационным приводным турбинам, располагаемая мощность которых снижается как за счет уменьшения пропускной способности, так и располагаемого перепада тепла. Поэтому такие турбины проектируются с определенным запасом по пропускной способности при номинальной нагрузке блока. Избыток мощности устраняют прикрытием регулировочных клапанов на номинальном режиме, что приводит к потерям на дросселирование. При работе на частичных нагрузках со скользящим начальным давлением резко снижается гидравлическое сопротивление пароводяного тракта энергоблока (рис. 5.6.) и располагаемая мощность турбопривода во всем диапазоне нагрузок становится больше потребной. Т.е., в этом случае мощность турбопривода можно выбирать без запаса, что снижает потери на дросселирование.

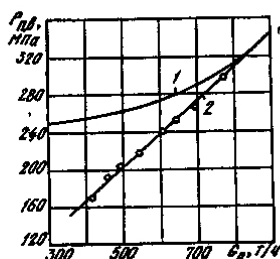


Рис. 5.6. Давление питательной воды для блока 300 МВт, в зависимости от расхода свежего пара:

1 — при постоянном давлении пара; 2 — при скользящем давлении пара.