

УДК 621.3

Системы парораспределения современных паровых турбин

Гапеев К.Н.

Научный руководитель – ст. препод. ПАНТЕЛЕЙ Н.В.

Экономичность работы турбоустановки при переменном графике работы во многом определяется способом парораспределения, которым обладает турбина. Можно выделить в настоящее время три основных типа парораспределения для паровых турбин: дроссельное, сопловое и обводное парораспределение.

Принцип работы дроссельного парораспределения заключается в том, что расход пара регулируется путем синхронного открытия (закрытия) одного или же нескольких регулирующих клапанов. Процесс расширения пара при дроссельном парораспределении представлен на рисунке 1.

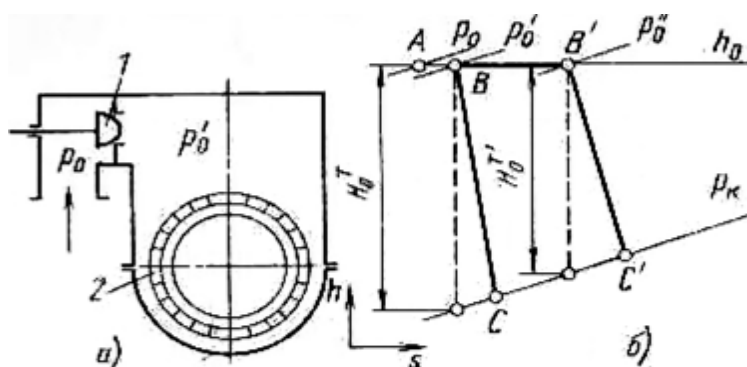


Рисунок 1 – Схема дроссельного парораспределения и процесс расширения в $h-s$ -диаграмме:

1 – регулирующие клапаны; 2 – сопла первой нерегулируемой ступени

Этот способ крайне прост в исполнении, поскольку не требует установки большого количества регулирующих клапанов. Так же нужно отметить, что характерным признаком дроссельного парораспределения является отсутствие регулирующей ступени и, как следствие, отсутствие потерь связанных с парциальным подводом пара. Исходя из процесса расширения пара при дроссельном парораспределении можно сказать, что в случае, когда регулирующий клапан полностью открыт, давление за ним лишь немного ниже давления свежего пара. Располагаемый теплоперепад при этом равен H_0^T . При прохождении потоком пара через не полностью открытый клапан давление пара существенно снижается вследствие дросселирования, а также уменьшается располагаемый теплоперепад $H_0^{T'}$. Отсюда следует, что наиболее эффективно дроссельное парораспределение будет работать в турбинах, которые должны нести длительное время номинальную нагрузку (например, турбоагрегаты АЭС большой мощности, турбины К-1200-240).

При сопловом способе парораспределения расход пара изменяется путем асинхронного открытия или закрытия регулирующих клапанов. Каждый клапан при этом подводит пар к своей отдельной группе сопел. Этот вид парораспределения является более эффективным при переменном графике нагрузок, т.к. поток пара дросселируется только проходя через частично открытые регулирующие клапаны. Но в это же время этот способ обладает рядом недостатков в сравнении с дроссельным парораспределением. В случае дроссельного парораспределения при полностью открытых регулирующих клапанах экономичность работы турбины будет ниже, чем у дроссельного парораспределения, за счет потерь связанных с парциальным подводом пара. Так же возникают динамические напряжения действующие на рабочие лопатки ротора турбины. Это возникает из-за того, что они поочередно проходят перед активными и неактивными дугами подвода пара.

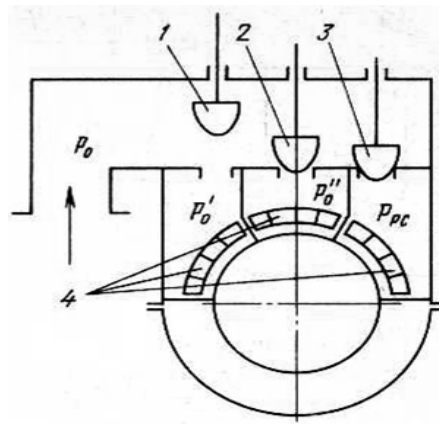


Рисунок 2 – Схема соплового парораспределения: 1,2,3 – регулирующие клапаны; 4 – группа сопел

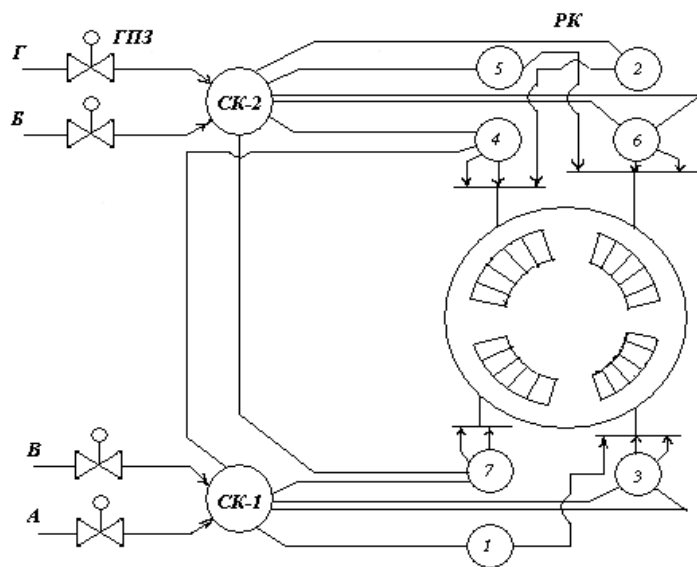


Рисунок 3 – Схема парораспределения турбины. К – 300 – 240 ЛМЗ

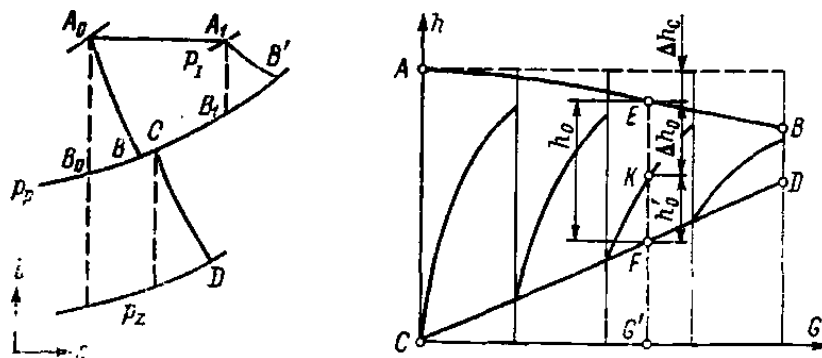


Рисунок 4 – Процесс на is-диаграмме при частично открытом регулирующем клапане

Суть обводного парораспределения заключается в том, что часть пара идет в обход некоторого количества ступеней турбины. Обычно этот способ применяют вместе с дроссельным парораспределением и в том случае, когда требуется получить максимальную мощность при сниженных начальных параметрах или при повышенном противодавлении.

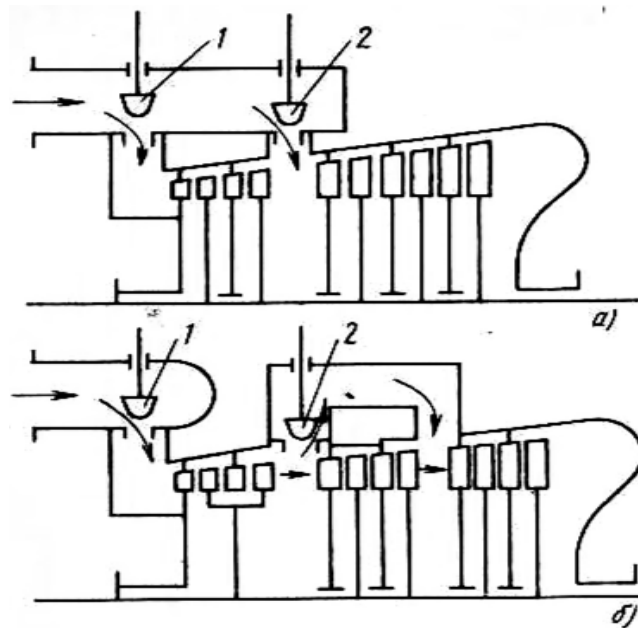


Рисунок 5 – Схема обводного парораспределения: а) с внешним обводом; б) с внутренним обводом: 1 – регулирующие клапаны; 2 – обводной клапан

Номинальная мощность достигается путем полного открытия регулирующего клапана 1. В случае, когда требуется повышение производительности сверх номинальной, открывается клапан 2, а, как следствие, обводная линия. При этом давление в камере за обведенной группой ступеней, а, следовательно, возрастает и расход пара.

Появление в тепловых схемах турбин такого элемента как промежуточный перегрев пара позволило усовершенствовать схемы с обводным парораспределением. В турбине, работающей при номинальной нагрузке с регулирующими клапанами, которые открыты не полностью, возможно в случае необходимости повышение мощности путем открытия клапанов, но при этом снижается тепловая экономичность блока. Вследствие чего возникает задача по разработке средств для увеличения тепловой экономичности при несении номинальной мощности. Решением этой проблемы стало двойное обводное парораспределение.

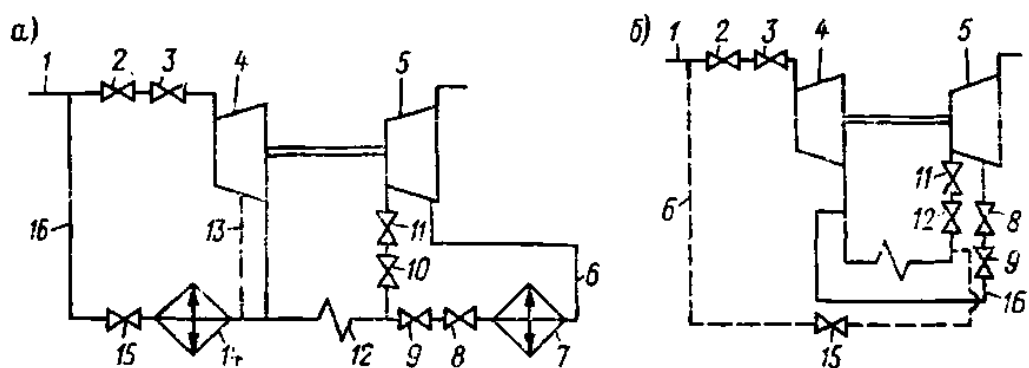


Рисунок 6 – Принципиальные схемы двойного обводного парораспределения: а – с впрыскивающими пароохладителями; б – без пароохладителей

Значительным недостатком обводного способа парораспределения является то, что при не полностью открытом клапане обводной линии поток пара теряет энергию, которая равно располагаемому теплоперепаду обведенных ступеней. Его можно устранить включив в обводную линию дополнительную турбину, подключенную к своему генератору. Поток пара, расширяясь до давления в промежуточной камере совершает полезную работу, тем самым

вырабатывая дополнительную мощность. При режимах работы, когда на турбину приходится расход пара меньше номинального, регулирующий клапан главной турбины приоткрыт, а линия обвода пара отсечена полностью. Если появляется необходимость повышения нагрузки сверх номинальной, то регулирующий клапан главной турбины открывается полностью и подключается линия обвода.

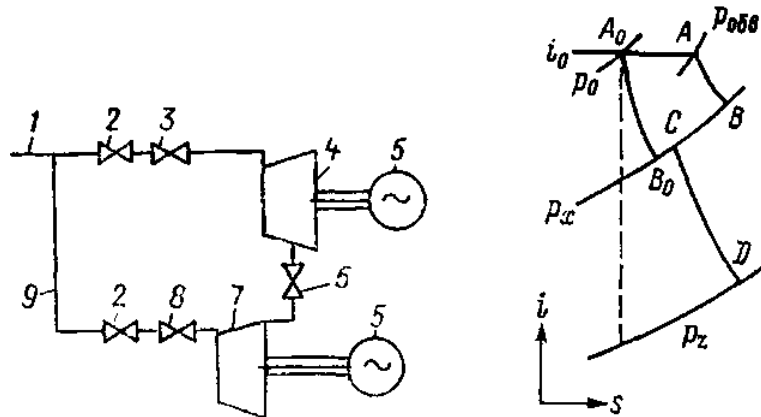


Рисунок 7 – Принципиальная схема и процесс расширения для турбообводного парораспределения: 1 – главный паропровод; 2 – стопорные клапаны; 3 – регулирующие клапаны; 4 – главная турбина; 5 – генератор; 6 – задвижка; 7 – дополнительная турбина; 8 – обводной клапан; 9 – обводная линия

Схему с турбообводным парораспределением можно усовершенствовать если использовать дополнительную турбину для привода компрессора.

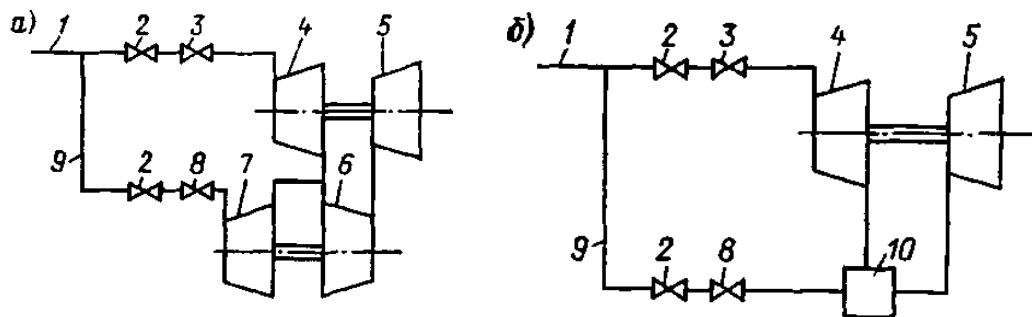


Рисунок 8 – Принципиальная схема компрессорно-обводного парораспределения: а – с турбокомпрессором; б – со струйным компрессором. 1 – главный паропровод; 2 – стопорные клапаны; 3 – регулирующие клапаны; 4 – ЧВД; 5 – ЧНД; 6 – турбокомпрессор; 7 – приводная турбина турбокомпрессора; 8 – обводной клапан; 9 – обводная линия; 10 – струйный компрессор

Компрессор устанавливают перед ЧНД главной турбины. Через него идет поток пара как из ЧВД основной турбины, так и поток прошедший дополнительную турбину обводной линии. при использовании этой схемы понижается давление в камере обвода, а, как следствие, теплоперепад ЧВД. Так же в этой схеме вместо компрессора с турбоприводом можно использовать струйный компрессор. При этом как и в первом случае повысится теплоперепад ЧВД, а, как следствие, мощность турбины.

При выборе системы парораспределения стоит учитывать назначение и режимы работы турбоустановки. В случае, если турбина проектируется для длительной работы при номинальной мощности, ее стоит проектировать с минимальным количеством клапанов при сопловом парораспределении или же с дроссельным парораспределением. Если же требуется работа по переменному графику нагрузок, тот лучше всего подойдет сопловое парораспределение.

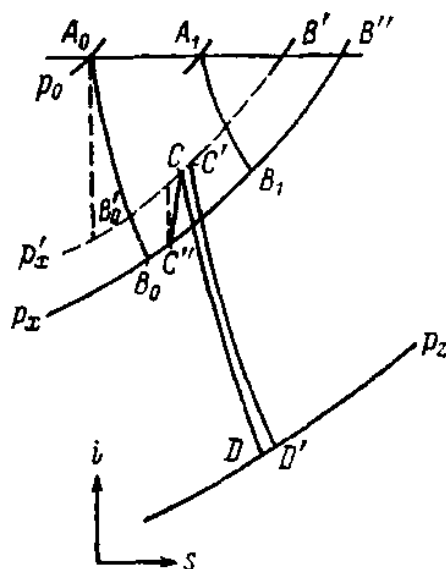


Рисунок 9 – Процессы расширения пара в ПТУ с обводным и компрессорно-обводным парораспределением.

Литература

1. Богомольный Д.С. Исследование режимов работы мощных теплофикационных энергоблоков и систем их автоматического регулирования при различных программах регулирования мощности: Автореф. дис. канд. техн. наук. Л.: ЛПИ, 1980. – 18 с.
2. Гиршфельд В.Я., Князев А.М., Куликов В.Е. Режимы работы и эксплуатация ТЭС. М.: Энергия, 1980. – 288 с.