

Лабораторная работа №3

Численное моделирование теплофикационных циклов

Большая часть подведённой теплоты к циклу Ренкина не преобразуется в работу, а передаётся в конденсаторе охлаждающей воде и необратимо рассеивается в окружающую среду. Потерю энергии в конденсаторе можно уменьшить, повышая КПД цикла, но полностью устранить невозможно вследствие второго закона термодинамики. Однако низкопотенциальную энергию можно использовать для отопления, горячего водоснабжения, технологических нужд. При этом итоговая эффективность цикла увеличивается, поскольку снижается бесполезное рассеивание энергии.

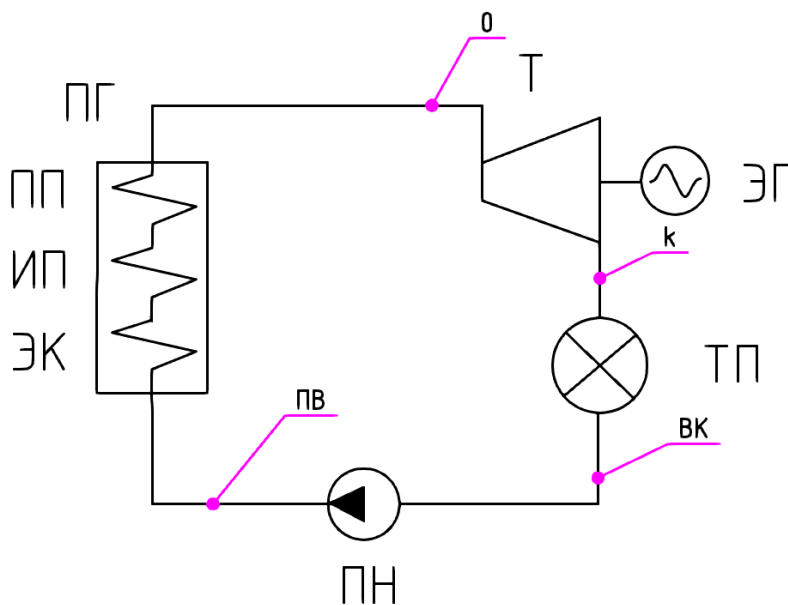
В современных конденсационных паровых турбинах конечное давление поддерживается $\sim 3-5$ кПа, чему соответствует температура конденсации $24-33$ °С. Для отвода теплоты от конденсирующегося пара температура охладителя должна быть ещё ниже. Теплоноситель с температурой $15-20$ °С практически бесполезен.

Чтобы повысить температуру теплоносителя, необходимо повысить конечное давление p_k . Это приведёт к снижению полезной работы в турбине и, соответственно, меньшей выработке электроэнергии при неизменном расходе топлива. Термический КПД конденсационного цикла при таких условиях также существенно снизится. Однако при этом возникает возможность полезно применять высокопотенциальную теплоту для технологических и бытовых нужд, при этом сокращается или полностью отпадает необходимость использовать котлы малой и средней производительности, надёжность, экологичность и экономичность которых значительно ниже, чем у энергетических котлов.

Комбинированная выработка электрической и тепловой энергии называется теплофикацией или когенерацией. Тепловые электрические станции с комбинированной выработкой называются теплоэлектроцентралями (ТЭЦ). Турбины на ТЭЦ, как правило, созданы по двум основным схемам: на основе турбин с противодавлением и на основе турбин с регулируемыми отборами пара.

Рассмотрим работу установки с противодавлением (рис. 3.1). Пар, срабатывающий теплоперепад $H=h_0-h_k$, после турбины направляется к тепловому потребителю ТП и отдаёт ему теплоту $q_{тп}$. Как правило, пар из турбины выходит в перегретом состоянии. Предполагается, что потеря теплоносителя у потребителя нет, и вся вода в виде конденсата возвращается обратно на ТЭС с удельной энтальпией $h_{вк}$. Важно отметить, что возвращаемый конденсат не находится в состоянии насыщения, его давление и температура определяются особенностями теплового потребителя.

Поскольку конденсатора нет, то и потери теплоты в цикле q_2 фактически отсутствуют. Безусловно, ТП потребляет не всю внутреннюю энергию и у него есть потери тепла, но эти потери не имеют отношения непосредственно к паротурбинной установке. Поэтому с точки зрения I закона термодинамики турбины типа Р наиболее экономичны.



ПН – питательный насос
 ПГ – парогенератор
 ЭК – экономайзер
 ИП – испарительная поверхность
 ПП – пароперегреватель
 Т - турбина
 ЭГ – электрогенератор
 ТП – тепловой потребитель

0 – пар на входе в турбину
 к – пар на выходе из турбины
 ВК – возврат конденсата
 ПВ – питательная вода

Рисунок 3.1 – Турбина с противодавлением.

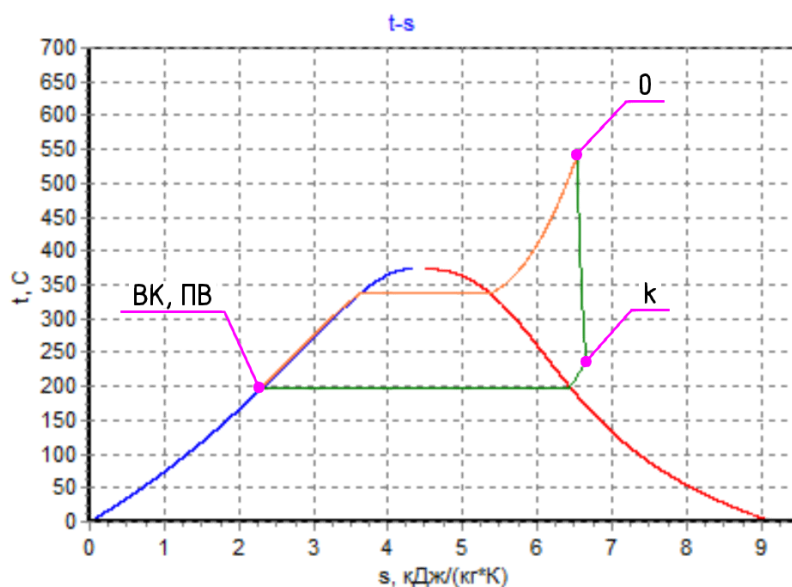


Рисунок 3.2 – Цикл турбины с противодавлением.

Процесс к-ВК протекает у потребителя и, следовательно, непосредственно к паротурбинному циклу не относится. Поэтому на диаграмме эта линия проведена условно.

Недостатками турбин с противодавлением являются невысокая электрическая мощность и необходимость работать исключительно по тепловому графику нагрузки. Расход пара G , определяющий выработку электроэнергии, зависит от нагрузки теплового потребителя Q_T :

$$G = \frac{Q_T}{(h_k - h_{ВК})}$$

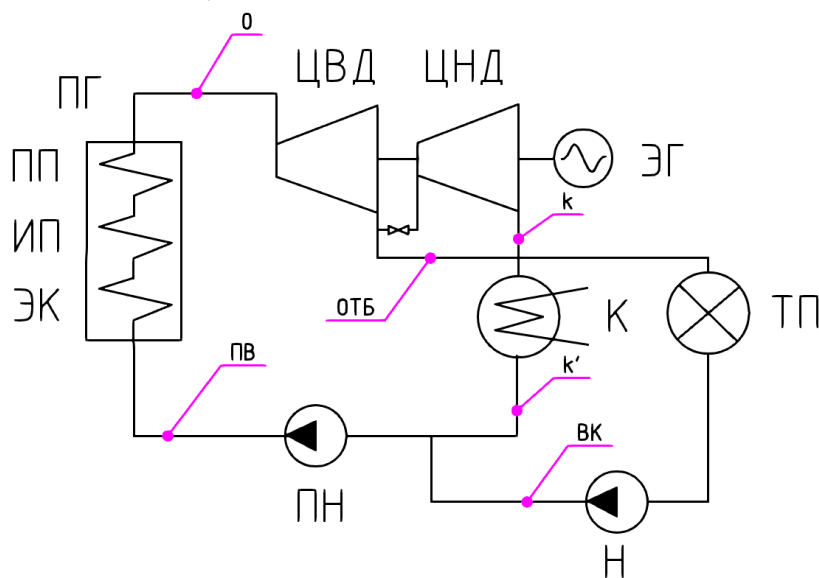
Соответственно, электрическая мощность равна

$$N = G(h_0 - h_k) = Q_T \frac{(h_0 - h_k)}{(h_k - h_{ВК})}$$

Поскольку суточные графики потребления электрической и тепловой энергии существенно не совпадают, то и выработка э/э турбиной типа Р только в отдельные периоды может совпадать с нагрузкой потребителей. Обычно электрическая нагрузка больше мощности турбины. Нехватка электроэнергии восполняется параллельно работающими конденсационными турбинами, из-за чего усложняется структура энергосистемы и условия её эксплуатации. Кроме того, при плановом или аварийном останове турбины Р, чтобы не прерывать подачу пара, приходится применять редуционно-охладительные устройства РОУ. В РОУ принудительно снижают давление и температуру свежего пара до параметров k , т.е. происходит необратимая потеря энергии, поступившей в котле.

Вследствие этих режимных особенностей турбины с противодавлением находят лишь ограниченное применение. Главным образом их эксплуатируют для снабжения промышленных потребителей с равномерной тепловой нагрузкой.

Значительно более высокое применение получили турбины с теплофикационными и/или промышленными отборами пара – турбины типа Т, П и ПТ. Такие установки позволяют более широко изменять тепловую нагрузку при неизменной электрической мощности и электрическую мощность при неизменной тепловой нагрузке. Если теплота не потребляется, эти турбины могут работать в конденсационном режиме, развивая дополнительную мощность.



- | |
|---------------------------------|
| ПН – питательный насос |
| ПГ – парогенератор |
| ЭК – экономайзер |
| ИП – испарительная поверхность |
| ПП – пароперегреватель |
| ЦВД – цилиндр высокого давления |
| ЦНД – цилиндр низкого давления |
| ЭГ – электрогенератор |
| ТП – тепловой потребитель |
| Н – насос |
| 0 – пар на входе в турбину |
| ОТБ – пар в отборе |
| k – пар на выходе из турбины |
| k' – конденсат |
| ВК – возврат конденсата |
| ПВ – питательная вода |

Рисунок 3.3 – Турбина с регулируемым отбором.

У турбины регулируемым отбором имеются органы парораспределения после отбора. При изменении тепловой или электрической нагрузки регулирующий орган автоматически приводится в действие и изменяет потоки пара, чтобы турбина вышла на новый режим работы с сохранением главных режимных характеристик – частоты вращения и давления пара, идущего к потребителю. Например, при увеличении тепловой нагрузки клапан на ЦНД прикрывается, и в отбор пара поступает больше. Тогда, чтобы скомпенсировать снижение электрической мощности, на всю турбину идёт

повышенный расход свежего пара за счёт увеличения нагрузки парогенератора.

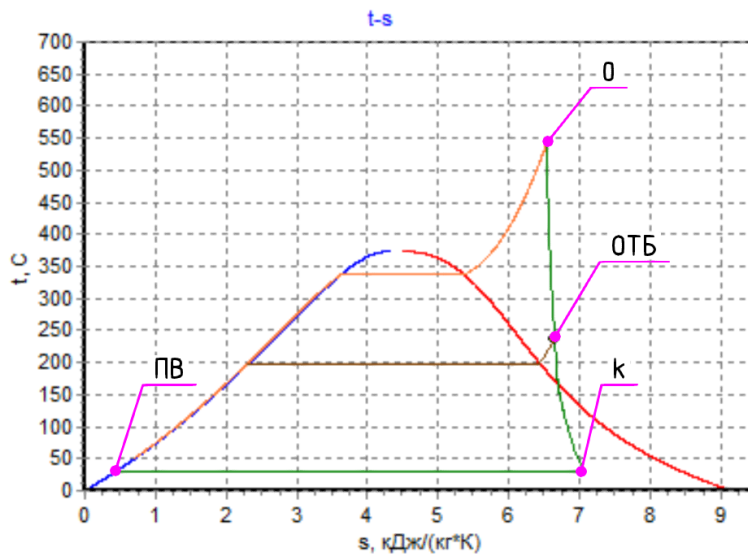


Рисунок 3.4 – Цикл с одним регулируемым отбором.

Как известно, на диаграммах состояния отображаются состояния вещества с одним и тем же количеством вещества. Так как общий расход пара (G_0) разделяется на пар, идущий в отбор ($G_{отб}$), и пар, поступающий в конденсатор (G_k), то линия 0-k и ОТБ-k по сути являются проекциями на плоскость линий трёхмерной диаграммы, где по третьей оси отложен расход или доля расхода. Однако для рассмотрения процессов двумерной диаграммы бывает вполне достаточно.

Параметры возвращаемого конденсата ВК зависят в основном от потребителя теплоты. Поэтому точка подмешивания ВК в основную линию цикла выбирается исходя из технико-экономического анализа.

Общий расход пара на турбину:

$$G_0 = G_{отб} + G_k.$$

Электрическая мощность равна

$$\begin{aligned} N &= G_0(h_0 - h_{отб}) + G_k(h_{отб} - h_k) = \\ &= G_0(h_0 - h_k) - G_{отб}(h_{отб} - h_k). \end{aligned}$$

Коэффициент недовыработки мощности паром отбора:

$$y_H = \frac{h_{отб} - h_k}{h_0 - h_k}.$$

Коэффициент недовыработки показывает долю теплоперепада, которую не доработал отборный пар по отношению к полному теплоперепаду конденсационного потока.

Определение КПД цикла с отбором затруднено не только по техническим, но и по методологическим причинам. На сегодняшний день эта задача не имеет общепринятого решения. Для стимулирования теплофикации принято на долю тепловых потребителей относить всю отпускаемую им теплоту, в том числе и тепловые потери. На долю электрических потребителей относят всю остальную затрату теплоты, в том числе потери в конденсаторе.

Таким образом, расход теплоты на теплофикационный цикл:

$$Q_0 = Q_э + Q_T,$$

где $Q_э$ – расход теплоты на выработку электроэнергии:

$$Q_э = N + Q_k.$$

Потеря теплоты в конденсаторе у теплофикационной турбины значительно ниже, чем у конденсационной, и рассчитывается так:

$$Q_k = G_k(h_k - h_{k'}).$$

Отпуск тепловой энергии:

$$Q_T = G_{отб}(h_{отб} - h_{вк}).$$

КПД ТЭЦ по производству электроэнергии равен отношению теплового эквивалента полученной электроэнергии к расходу теплоты на её выработку:

$$\eta_{ТЭЦ\ э} = \frac{N}{Q_э}.$$

Для характеристики общей экономичности работы ТЭЦ применяется так называемый коэффициент использования теплоты K , определяемый как отношение суммы теплового эквивалента мощности турбины и отпущенной тепловой энергии к общему расходу теплоты:

$$K = \frac{N + Q_T}{Q_0}.$$

Иногда вместо полезно подведённой в парогенераторе теплоты Q_0 применяют теплоту, выделившуюся при сгорании топлива.

Существенным и неустранимым недостатком данной методики определения эффективности ТЭЦ является отождествление электроэнергии с её тепловым эквивалентом, что заведомо неверно. Электроэнергия может быть целиком преобразована в прочие виды энергии, а теплота целиком преобразована быть не может в силу второго закона термодинамики. Однако достоинство метода в том, что он прост и интуитивно понятен.

Задания

Задача 1.

Исследовать влияние противодавления на характеристики цикла с турбиной Р. Рекомендуемые исходные параметры: $p_0=3-15$ МПа, $t_0=400-600$ °С, $G_0=50-1000$ т/ч, $\eta_{oit}=0,8-0,92$, $\eta_{oin}=0,8-0,95$. Значения p_k менять в диапазоне 0,5-5 МПа.

Задача 2.

Исследовать влияние давления отбора $p_{отб}$ на характеристики цикла. Рекомендуемые исходные параметры: $p_0=5-25$ МПа, $t_0=400-600$ °С, $p_k=3-10$ кПа, $G_0=50-1000$ т/ч, $G_{отб}=(0,1-0,5)G_0$, $\eta_{oit}=0,8-0,92$, $\eta_{oin}=0,8-0,95$. Давление отбора менять в диапазоне 0,1-0,5 МПа.

Задача 3.

Исследовать влияние расхода пара в отборе на характеристики цикла постоянной электрической мощности в диапазоне 50-500 МВт. Исходные параметры принять как в предыдущей задаче.