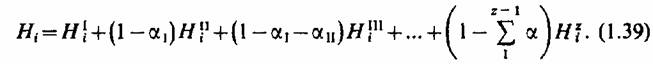
**РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ ПОДОГРЕВ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ.**

При проектировании конкретной турбинной установки выполняется детальный расчет реальной тепловой схемы. Примером такой схемы может служить изображенная на рис. 1.26 тепловая схема установки с промежуточным перегревом пара. Из конденсатора конденсат откачивается конденсатным насосом и направляется сначала в холодильники воздушного эжектора (на схеме на рис. 1.26 воздушного эжектора нет), а затем в систему регенеративного подогрева питательной воды. Пройдя последовательно два смешивающих и несколько поверхностных подогревателей, конденсат поступает в специальный смешивающий подогреватель, питаемый паром из пятого отбора. Этот подогреватель используется в качестве деаэратора, в котором вода освобождается от растворенного в ней кислорода. Из деаэратора, куда также сбрасывается конденсат греющего пара подогревателей высокого давления (ПВД) поверхностного типа, вода забирается питательным насосом, под большим напором подающим питательную воду через систему ПВД в котел. Регенеративные подогреватели на линии конденсата от конденсатора до питательного насоса называются подогревателями низкого давления (ПНД).

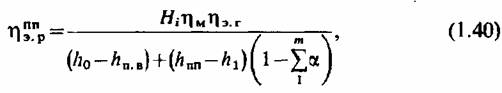
В такой установке электрическая мощность агрегата находится по формуле

http://www.tehnoinfa.ru/images/parovyeturbiny/image316.jpg

где G — расход свежего пара; Hi— приведенная работа 1 кг пара, подводимого к турбине. Подсчитывается Нх как сумма произведений использованных теплоперепадов (рис. 1.27) на относительное количество пара, протекающего через отсек турбины, т. е.



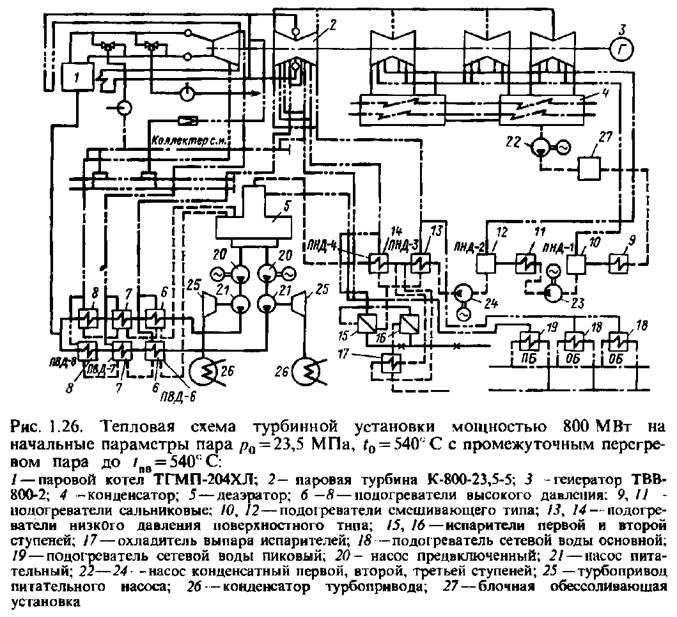
Абсолютный электрический КПД такой установки равен

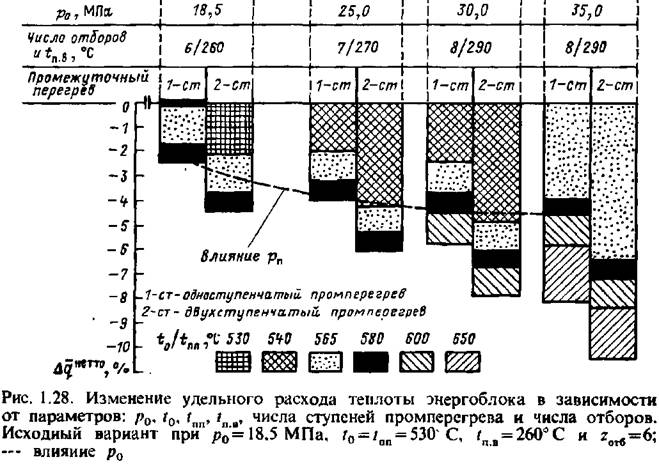
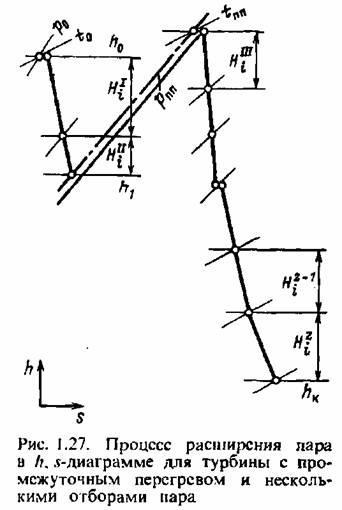


где m — число отборов до промежуточного перегрева (по потоку пара).

Использование системы регенеративных отборов пара приводит к повышению относительного внутреннего КПД турбины. Расход пара G через первые ступени возрастает, что требует увеличения высот лопаток, и тем самым повышается КПД этих ступеней. Наоборот, уменьшение расхода пара через последнюю ступень турбины означает меньшце выходные потери и более высокий КПД части низкого давления.

Выбор параметров пара, в том числе начальных, схемы с одним или двумя промперегревами и температуры промперегрева, температуры питательной воды, числа регенеративных отборов  это технико-экономическая задача. При решении ее учитывается изменение удельного расхода теплоты, капитальных затрат, надежности и других характеристик оборудования и энергоблока в целом.





http://www.tehnoinfa.ru/images/parovyeturbiny/image328.jpg

http://www.tehnoinfa.ru/images/parovyeturbiny/image330.jpg

На рис. 1.28 можно произвести оценку реального изменения экономичности энергоблока в зависимости от разных параметров. Наибольший выигрыш в экономичности для рассмотренного диапазона параметров, составляющий:

http://www.tehnoinfa.ru/images/parovyeturbiny/image334.jpg

В конденсаторе давление рабочей среды наименьшее; в парообразующем агрегате — наибольшее. Этот перепад давлений должен быть преодолен насосом. Установка на этом пути регенеративных подогревателей существенно повышает требуемый напор насоса, так как необходимо преодолеть еще и гидравлические сопротивления всех подогревателей. Если для подачи воды в парообразующий агрегат насос установлен только после конденсатора, то все регенеративные подогреватели находятся под давлением, превышающим давление в парообразующем агрегате. Это удорожает оборудование.

В связи с этим тракт от конденсатора до парообразующего агрегата разделяют на две части: конденсатный и питательный тракты. Между ними обычно устанавливается деаэратор. Напор конденсатного насоса (КН), устанавливаемого после конденсатора, равен давлению в деаэраторе, суммируемому с сопротивлением всего тракта, в том числе с сопротивлением всех регенеративных подогревателей, расположенных до деаэратора. В связи с относительно низким давлением для этих подогревателей их называют подогревателями низкого давления (ПНД). После деаэратора (Д) устанавливается питательный насос (ПН), напор которого равен перепаду давления между парообразующим агрегатом и деаэратором, суммируемому с сопротивлением всего тракта, в том числе с сопротивлениями всех регенеративных подогревателей, расположенных после деаэратора. В связи с относительно высоким давлением для этих подогревателей их называют подогревателями высокого давления (ПВД). Обычно число ПНД не более пяти, а число ПВД — не более трех.

Расход пара на подогреватель зависит от его типа, схемы включения, параметров пара и воды.

Для регенеративного подогрева воды на электростанции применяют преимущественно поверхностные подогреватели и частично — смешивающие. Смешивающие подогреватели энергетически выгоднее, так как в них возмо­жен наиболее высокий подогрев воды - до температуры насыщения греющего конденси­руемого пара:

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-X0H2Nw.png

Смешивающие подогреватели дешевле и надежнее поверхностных, обеспечивают луч­ший водный режим установки. Однако после каждого смешивающего подогревателя (за отдельными исключениями) необходима уста­новка перекачивающих насосов, так как дав­ление в каждом последующем по ходу воды подогревателе выше, чем в предыдущем.

Поверхностные подогреватели свободны от этого недостатка: достаточно иметь конденсатный насос, перекачивающий воду через группу поверхностных подогревателей низкого давления (ПНД), и питательный на­сос, перекачивающий воду через группу по­догревателей высокого давления (ПВД) (рис. 2).

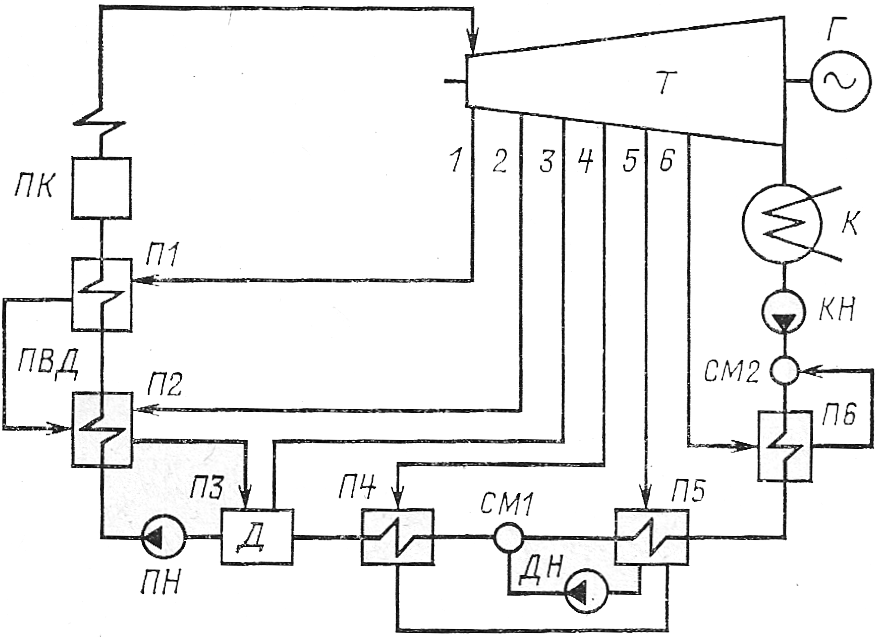


Рис. 2. Схема турбоустановки с поверхностными по­догревателями низкого давления*(ПНД),* смешиваю­щим подогревателем и подогревателями высокого дав­ления*(ПВД), ДН —* дренажный насос

В поверхностных подогревателях из-за тер­мического сопротивления металла трубок вода нагревается до температуры ниже темпе­ратуры насыщения (конденсации) греющего пара:

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-Vpnk64.png

где https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-03Xh8M.png и https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-fM9FGi.png — недогрев воды до состояния на­сыщения по температуре и по энтальпии, °С и кДж/кг.

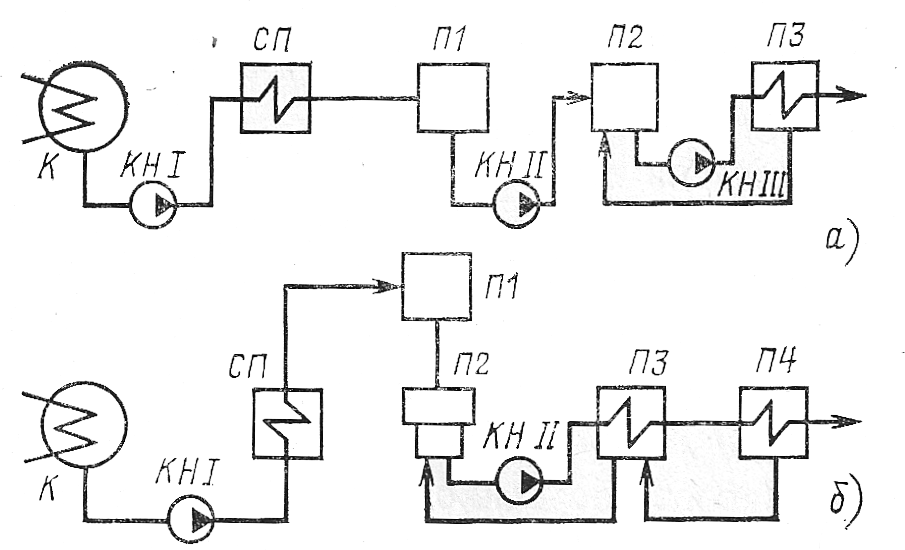
+

Рис. 3. Схемы включения смещивающих подогревате­лей:

а — с перекачивающим насосом; б — гравитационная схема; *СП*'— сальниковый подогреватель

Значения недогрева воды https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-3ZtSHG.png и https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-sv6uzj.pngопреде­ляют технико-экономическим расчетом; чем меньше недогрев, тем меньше расход тепло­ты и топлива, но тем больше поверхность нагрева и стоимость подогревателя.

В ПВД применяют стальные трубки; в ПНД в определенных условиях продолжа­ют применять латунные трубки. Медь из ла­туни вымывается конденсатом и переносится в котел и турбину. Надежность и экономич­ность энергоблока при этом снижаются. При­менение ПНД с трубками из нержавеющей стали удорожает установку. В настоящее время в энергоблоках применяют один или два первых по ходу воды ПНД смешивающе­го типа. Между двумя смешивающими ПНД устанавливают перекачивающий насос (рис. 3) или первый ПНД размещают выше второго для перелива воды во второй ПНД .без насоса (гравитационная схема) (рис. 3**).**

Один из смешивающих подогревателей с давлением пара 0,6—1,0 МПа используют для удаления газов из воды в качестве де­аэратора.

Распространение получил нейтрально-кис­лородный водный режим энергоблоков с вво­дом кислорода в тракт конденсата (перед конденсатным насосом). Образующаяся при этом на внутренней поверхности трубок ок­сидная пленка предохраняет металл от даль­нейшей коррозии. Исключая при таком вод­ном режиме деаэратор, получают бездеаэраторную схему.

Расходы пара на подогреватели определя­ют из уравнений их теплового и материаль­ного баланса. Уравнения теплового баланса составляют по следующим принципам:

смешивающие подогреватели — сумма теплот, подводимых к подогревателю, равна сум­ме теплот, отводимых из подогревателя;

поверхностные подогреватели — теплота, отдаваемая греющими потоками, равна теп­лоте, получаемой подогреваемой водой (ос­новным конденсатом).

Расход пара на подогреватели в тепловой схеме целесообразно определять, начиная с подогревателей высокого давления. Пропуск воды через ПВД известен. Для конденсаци­онной электростанции принимаем ап.в=а0=1.

Для смешивающих подогревателей № 1 *(П1)* и № 2 (*П2)* имеем : для П1:

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-pGg7OB.png

отсюда

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-OFVXV6.png

где: https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-G0B9Ao.png

для П2:

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-PiCf2j.png

Где https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-rDjcvs.png

Важной величиной в основном выражении для КПД турбоустановки является ак; из соотношения для https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-jZUszZ.png и https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-RZHMPK.png получим:

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-xG7nxO.png

*При любом числе смешивающих подогревателей*

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-rJ_3TE.png

где П — знак произведения;*z* — общее число ступеней подогрева. Это выражение исполь­зуется при оптимизации параметров регене­ративного подогрева воды.

Схема с поверхностными подогревателя­ми усложняется наличием дополнительных линий дренажа (конденсата греющего пара). Простейшим является отвод (слив) дренажа №2 из данного подогревателя в соседний, более низкого давления.

Определению и выбору при проектировав нии энергоблока подлежат следующие параметры и характеристики регенеративного по- -1догрева воды: конечная температура подогре­ва питательной воды; число отборов пара и ступеней подогрева воды; распределение по­догрева между отдельными последовательно включенными подогревателями (ступенями).

Конечную температуру питательной воды выбирают на основании технико-экономиче­ских расчетов энергоблока.

С повышением температуры питательной воды в значительных пределах тепловая экономичность турбоустановки и энергоблока в целом улучшается, расход топлива уменьша­ется. Вследствие увеличения расхода свежего пара котел и трубопроводы удорожаются, од­нако топливо и зольное хозяйство, тягодутьевые устройства, техническое водоснабжение удешевляются.

По минимуму расчетных затрат (с учетом стоимости топлива) определяют экономиче­скую температуру питательной воды. В зависимости от начального давления пара она принимается равной около 230 °С при р0 = 13 МПа и около 265°С при*р0 =* 24 МПа.

С увеличением числа отборов пара и сту­пеней подогрева воды КПД турбоустановки повышается, однако стоимость подогреватель­ной установки возрастает. С учетом этих фак­торов для современных крупных турбоустановок принимают семь — девять регенератив­ных отборов пара.

Общий подогрев воды распределяют меж­ду отдельными ступенями, используя анали­тические методы и вариантные расчеты.

Рассмотрим аналитические методы опти­мального распределения регенеративного по­догрева воды между ступенями конденсаци­онной турбоустановки без промежуточного перегрева пара.

Оптимальное распределение регенератив­ного подогрева воды между ступенями произ­водят из условия максимума абсолютного внутреннего КПД турбоустановки:

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-F8_W4M.png

Из выражения КПД выделяют перемен­ную его часть:

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-qUu6mB.png

Пользуясь методом условного экстремума Лагранжа, составляют экстремальную функ­цию

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-uuNZM9.png

где https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-MwEAUn.pngвспомогательная нулевая функция; т — искомые подогревы; https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-HFC87N.png— извест­ная их сумма; https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-_O94m3.png— неопределенный множи­тель, исключаемый в процессе решения за­дачи.

В простейшем случае для электростанции с одной ступенью регенеративного подогрева воды в смешивающем подогревателе полу­чим :

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-hFqqFE.png

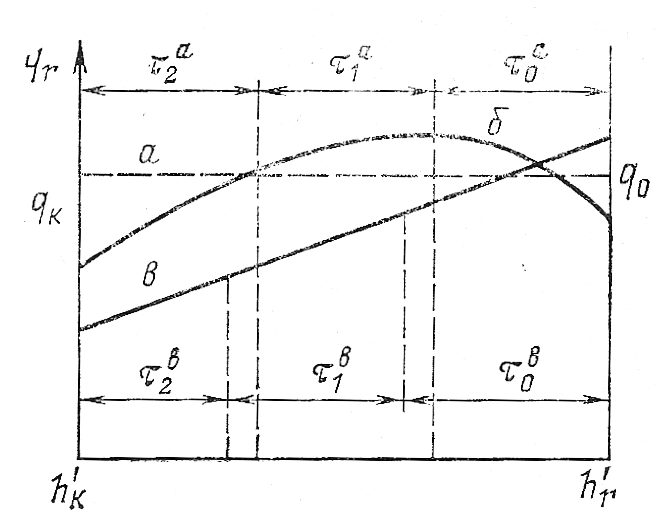
гдеhttps://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-5kyHJo.png — теплота образования и пе­регрева свежего пара; то — подогрев

воды до температуры насыщения свежего пара в экономайзерной части котла;

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-OaWMN_.png

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-saUpYJ.png

Оптимальное распределение подогрева зависит от вида функции*q=h\*—*hi' — f(h')*

(рис. 4). При невысоких начальных пара­метрах пара принимают приближенно*q—* const. При значительном перегреве пара более точна линейная зависимость вида

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-StCR2Y.png

гдеhttps://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-DPlTZA.png— угловой коэффициент прямой.

Дифференцируя функцию Ф по https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-I1pzKp.png и https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-lBKWqc.png приравнивая частные производные нулю, из совместного решения полученных выражений определяем оптимальные значения https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-raw7Rg.png и https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-x4JGQC.png. В рассматриваемом случае при условии

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-EKBubL.png

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-xhSlcS.png

и

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-pUXGkm.png

Из этих двух уравнений, исключая https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-HNoJuF.png, находим при https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-EcdxlQ.png=const=idem (рис. 4, прямая*а)*

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-cFz0Ht.png

т. е. получаем равное распределение подогре­ва воды между регенеративным подогрева­телем и экономайзером котла. Этот метод равного (равномерного) распределения по­догрева между ступенями (метод арифмети­ческой прогрессии) широко используется при решении практических задач оптимизации па­раметров регенеративного подогрева воды. Если https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-6cDVNq.png, то https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-avEv4n.png

При невысоких начальных параметрах па­ра зависимость***https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-DGNaC4.png***имеет вид несим­метричной параболы ( кривая б). При этом***https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-30O1tO.png*** и в данном случае https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-1mLuBH.png.

Соотношение https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-TwjTre.png можно при­вести к видуhttps://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-dm9kKO.png, т. е.https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-3eONZB.png***—***теплоперепад пара отбора должен равняться подогреву воды паром этого отбора.

При линейной зависимости вида https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-gRTDfd.png получим (рис. 4, прямая*в).*

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-s9Rvp2.png

и

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-A9E2ui.png

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-OzEEma.png

Обычно https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-Dgwauj.png и, следовательно https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-ANYMbG.png

Выражение равносильно геометрической прогрессии величины https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-RyRk6K.png

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-REz3XS.png

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-ANBhNH.png

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-KbaoWw.png

*Отсюда https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-U_uvyk.png или https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-6GCEfu.png, но*

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-qHEX1e.png

*Поэтому*

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-qZ9kPM.png

*Следовательно*

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-_zq7bG.png

Эти результаты можно получить для любого числа 2 отборов пара и ступеней подогрева воды, а именно:

Арифметическая прогрессия

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-cpU_1X.png

*Геометрическая прогрессия*

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-JEEHAY.png

Полученные уравнения сов­местно с равенством https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-ZM975f.pngпозволяют определить оптимальные значения https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-0PUgFE.png.

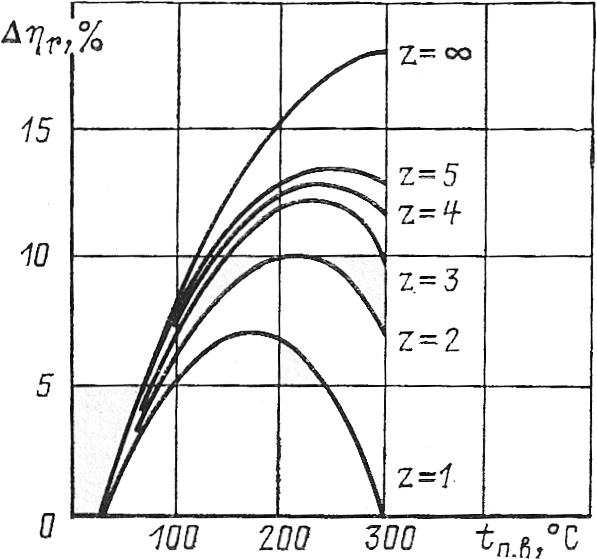


Рис. 5. Зависимость относительного повышения КПД турбоустановки от подогрева питательной воды и числа отборов турбины: https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-KJZgnS.png

Охлаждение пара, отбираемого из «горя­чей» ступени турбины после промежуточного перегрева, существенно влияет на оптималь­ное распределение подогрева между «холод­ной» и «горячей» ступенями подогрева воды. С применением пароохладителя увеличение подогрева воды в «горячей» ступени может стать выгоднее, чем увеличение подогрева в «холодной» ступени в схеме без пароохлади­теля. Точно так же может оказаться выгодным дополнительное увеличение подогрева в сту­пени с пароохладителем за счет уменьшения подогрева в нижележащей ступени, особенно в том случае, если нижележащая ступень не имеет своего пароохладителя. Обычно в схеме с пароохладителем получается

https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-Y4fIbc.png

Оптимальное соотношение подогрева воды в этих ступенях можно определить аналитичес­ки. Для этого используется метод условного экстремума Лагранжа, так же как и в случае расчета схем без пароохладителей. При этом определяют максимум КПД турбоустановки. Применение этого метода возможно, так как приближенно зависимость теплоты перегрева пара, отводимой в пароохладителе*qrno,* от теп лоты, выделяемой неохлажденным паром*qr,*можно принять прямолинейной (рис. 5).

Оптимизация распределения регенератив­ного подогрева воды при ПО дает эко­номию теплоты благодаря установке ПО.

Расчет тепловой схемы с пароохладителем типа Виолен выполняется по обычной методи­ке. После расчета системы подогревателей оп­ределяют подогрев питательной воды в смеси­теле и конечную температуру питательной во­ды https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-cTOWxq.png, где https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-owHEZE.png Для сме­шивающих подогревателей https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-xwGFQb.png=0.

Расчет тепловой схемы с пароохладителем Рикара имеет ту особенность, что расходы пара на «холодную» и охлажденную ступени определяют совместным решением урав­нений тепловых балансов этих подогревателей. Это обусловлено тем, что через*П1* проходит питательная вода за вычетомhttps://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-jbbp3O.png, а в уравнение для*П2* входит также величина https://studfile.net/html/2706/262/html_00QV8E3hqn.F0bh/img-NaTUlI.png.

При выборе параметров пара и воды у ПО необходимо правильно определить значения температурного напора на холодном и горячем концах пароохладителя.

**Д/З**

1. **Конспект (краткий), зарисовать рисунки включения подогревателей в схему регенерации.**
2. **Кратко описать смешивающие и поверхностные подогреватели.**