

### ЗАДАНИЕ

Для условий задания № 1 согласно рис. 1, приложенного к заданию № 2, построить в  $h,s$ - диаграмме процесс расширения пара в турбине при сопловом (клапанном) парораспределении и постоянном давлении перед турбиной для заданного в практическом занятии № 1 значения относительной нагрузки  $f$ . Регулирующая ступень турбины имеет 4 группы сопл (рис.2) и 4 регулирующих клапана, открывающихся попарно и последовательно: сначала 1а и 2а, затем 1б и 2б. Первая группа клапанов обеспечивает при полном их открытии и при закрытой второй группе клапанов А % от номинального расхода пара в “голову” турбины. Давление пара в камере регулирующей ступени в номинальном режиме  $P_{рс.н}$  и величина А % заданы в прилагаемой здесь таблице 1.

В задании № 2 используются следующие обозначения:

$\beta_p = p_i / p_0$  — относительное давление пара, в том числе:

$\beta_{p,рс}$  — в камере регулирующей ступени;

$\beta_{p,1}$  и  $\beta_{p,2}$  — за 1-й и 2-й группами регулирующих клапанов.

Относительные расходы пара, в том числе:

$\beta_{д1}$  и  $\beta_{д2}$  — через 1-ю и 2-ю группы регулирующих клапанов;

$\beta_{д} = D_o / D_{o,н} = \beta_{д1} + \beta_{д2}$  — общий относительный расход пара в “голову” турбины.

Относительные давления пара  $\beta_{p,рс}$ ,  $\beta_{p,1}$  и  $\beta_{p,2}$  определяются по графику, вид которого изображен на рис.3, по упрощенно-спрямленным зависимостям от общего относительного расхода пара  $\beta_{д}$ . Этот график студенты должны построить самостоятельно по исходным данным для вариантов заданий.

При построении процесса работы пара в регулирующей ступени турбины в  $h,s$ - диаграмме (рис.1) относительные КПД  $\eta_{0i}$  для каждого из двух потоков пара через группы сопл приблизительно принимать такими же, как приведено на рис.5. в зависимости от относительной доли расхода для каждого потока. Для каждого потока в качестве номинального ( $\beta_{д}=1$ ) принять расход пара через группу клапанов в номинальном режиме.

Для нахождения энтальпии смеси потоков пара в камере регулирующей ступени надо знать доли расходов пара  $\beta_{д1}$  и  $\beta_{д2}$  через каждую группу сопл. Их зависимости от  $\beta_{д}$  представлены графически на рис.4.

Для данной турбины при  $\beta_{д} \leq 0,7$  весь расход пара в “голову” турбины обеспечивается первой группой клапанов, когда  $\beta_{д1} = \beta_{д}$ .

При  $\beta_{д} > 0,7$  открывается вторая группа клапанов, расход пара через которую определяется по разности  $\beta_{д2} = \beta_{д} - \beta_{д1}$ .

В процессе открытия второй группы клапанов по мере роста общего расхода пара  $\beta_{д}$  расход пара через первую группу клапанов  $\beta_{д1}$  начинает уменьшаться по причине роста давления пара в камере регулирующей ступени  $\beta_{p,рс}$ . Это снижение  $\beta_{д1}$  при выполнении данного задания необходимо рассчитать, используя приближенную зависимость

$$\frac{\beta_{д1}}{\beta_{д1}^*} = \sqrt{\frac{1 - \beta_{p,рс}^2}{1 - \beta_{p,рс}^{*2}}}$$

где  $\beta_{д1}^*$  — относительный расход пара через первую группу клапанов в состоянии их полного открытия, когда вторая группа клапанов еще закрыта;

$\beta_{р.рс}^*$  — относительное давление пара в камере регулирующей ступени турбины в том же состоянии клапанов.

По данным этого расчета график, подобный рис.4, студентам надо построить в масштабе самостоятельно.

Вычислить мощность турбины при сопловом парораспределении и постоянном давлении перед турбиной. Сравнить изменение ее мощности с результатами расчетов мощности при дроссельном парораспределении с регулированием постоянным и скользящим давлением, рассчитанными при выполнении задания №1.

**ТАБЛИЦА**  
**ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ЗАНЯТИЮ № 2**  
**(В ДОПОЛНЕНИЕ К ЗАДАНИЮ №1)**

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Доля А в % от номинального расхода пара в турбину при полном открытии первой группы клапанов, когда вторая группа закрыта	75					73				
	70					63				
	65					68				
Давление пара в камере регул. ступени турбины	6,75					7,5				
	8,25					9,0				
	9,75					10,5				
$P_{рс.ном}$ , МПа										

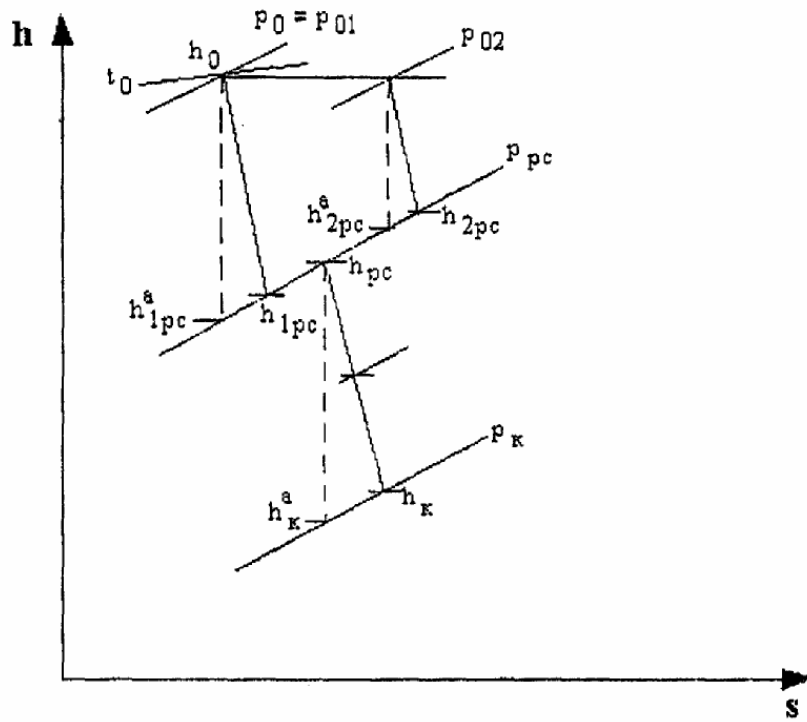


Рис.1. Процесс расширения пара в турбине при сопловом (клапанном) парораспределении

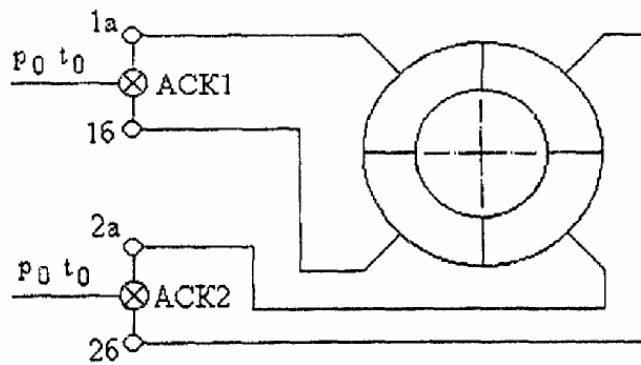


Рис.2. Схема соплового парораспределения.

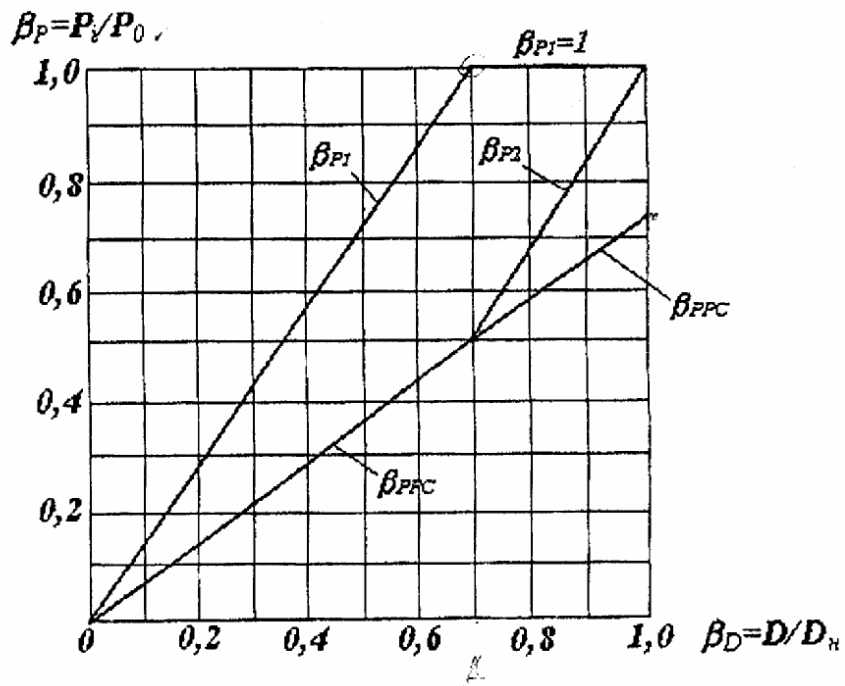


Рис.3.

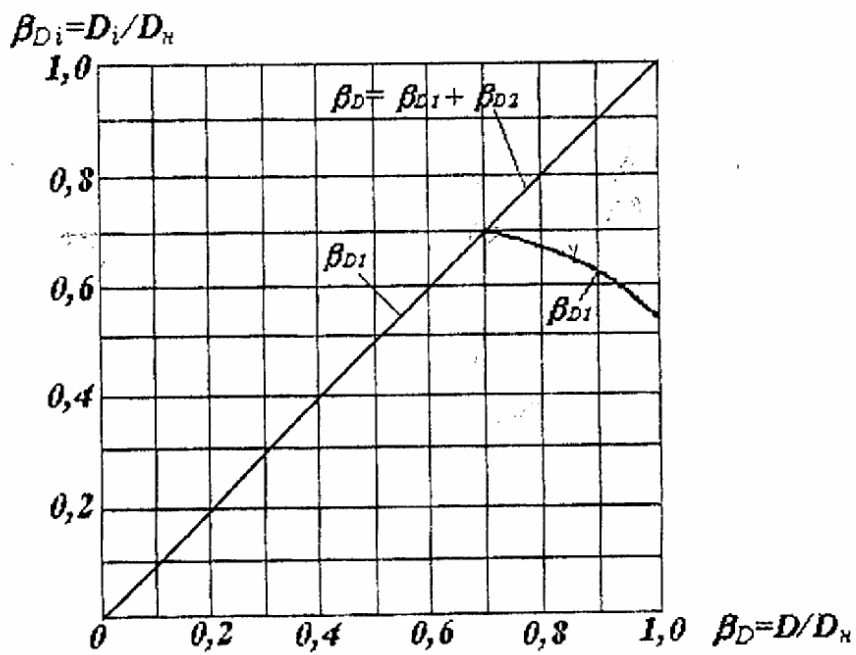


Рис.4.

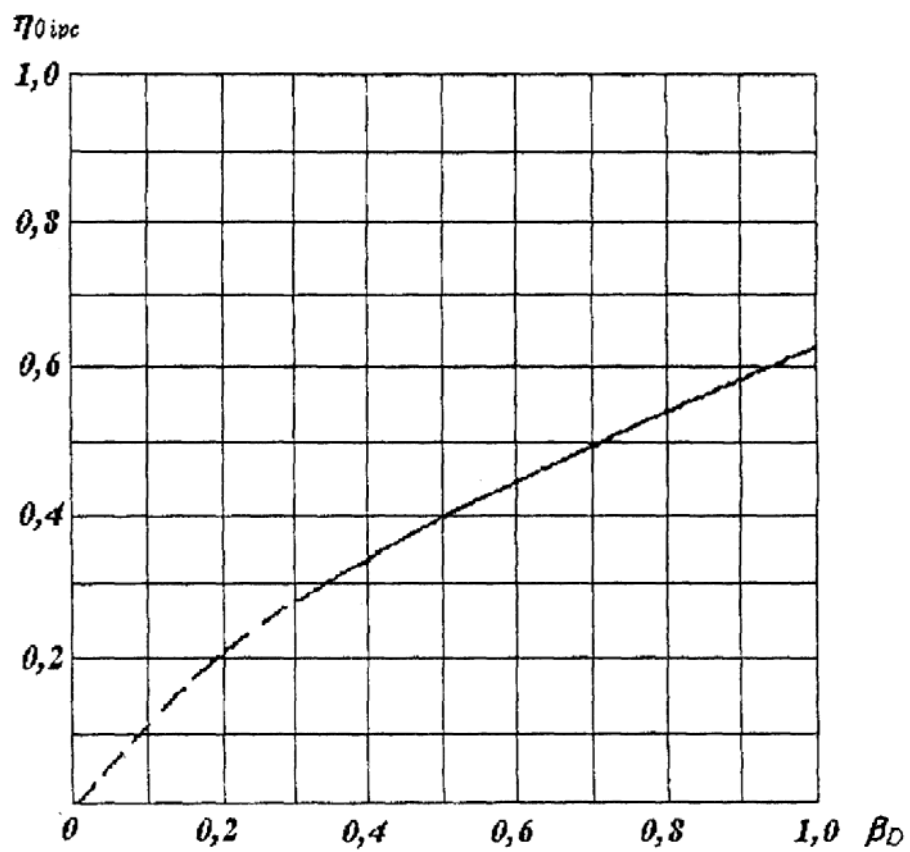


Рис.5. Изменение внутреннего относительного КПД регулирующей ступени, в зависимости от относительной нагрузки.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

---

Институт Теплоэнергетики и Технической Физики  
КАФЕДРА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
СТАНЦИЙ

**Практическое задание №2**

по курсу

«Режимы работы и эксплуатации ТЭС»

«Исследование регулирования нагрузки при сопловом (клапанном)  
парораспределении»

Студент:

Группа:

Вариант :            11

Преподаватель:    Куличихин В.В.

### Сопловое парораспределение

Исходные данные для задания (вариант 11):

Давление пара в камере регулирующей ступени турбины:  $P_{pc\_ном} = 8.25$  МПа

Давление в голову турбины при номинальном режиме:  $P_{00} = 11$  МПа

Доля в % от номинального расхода пара в турбину при полном открытии первой группы клапанов (вторая группа закрыта):

$A = 70\%$

Относительное значение нагрузки (из первого задания):  $f = 0.75$

Относительный расход пара в голову турбины при открытии первой группы клапанов и закрытой второй:

$\beta_{D1\_откр} = A$   $\beta_{D1\_откр} = 0.7$

Относительное давление пара в камере регулирующей ступени турбины при номинальном режиме работы:

$\beta_{p\_pc\_ном} = \frac{P_{pc\_ном}}{P_{00}}$   $\beta_{p\_pc\_ном} = \frac{8.25}{11}$   $\beta_{p\_pc\_ном} = 0.75$

Относительные давления:

Для первой группы клапанов:

$\beta_{p1}(P_1) = \frac{P_1}{P_{00}}$   $\beta_{p1\_откр} = 1$

Относительный расход через первую группу клапанов при закрытой второй:

$\beta_{D1}(P_1) = \beta_{D1\_откр} \cdot \beta_{p1}(P_1)$

Относительный расход пара в голову турбины в номинальном режиме:

$\beta_{D\_ном} = 1$

Относительное давление в камере регулирующей ступени:

$\beta_{p\_pc}(\beta_D) = \beta_{p\_pc\_ном} \cdot \beta_D$

Относительное давление пара в камере регулирующей ступени при полностью открытой первой группе клапанов:

$\beta_{p\_pc\_1откр} = \beta_{p\_pc}(\beta_{D1\_откр})$   $\beta_{p\_pc\_1откр} = 0.525$

Диапазон изменения давлений пара перед регулирующей ступенью при открытии второй группы клапанов:

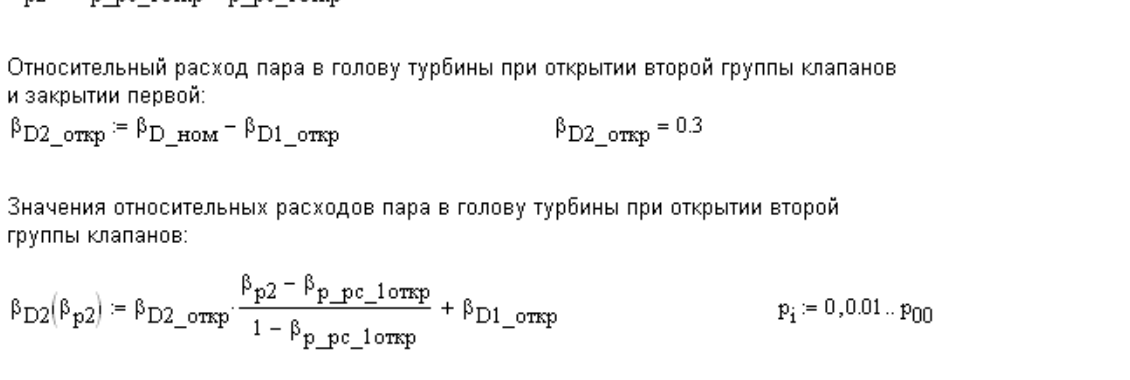
$\beta_{p2} = \beta_{p\_pc\_1откр} \cdot \beta_{p\_pc\_1откр} + 0.01 \dots 1$

Относительный расход пара в голову турбины при открытии второй группы клапанов и закрытии первой:

$\beta_{D2\_откр} = \beta_{D\_ном} - \beta_{D1\_откр}$   $\beta_{D2\_откр} = 0.3$

Значения относительных расходов пара в голову турбины при открытии второй группы клапанов:

$\beta_{D2}(\beta_{p2}) = \beta_{D2\_откр} \cdot \frac{\beta_{p2} - \beta_{p\_pc\_1откр}}{1 - \beta_{p\_pc\_1откр}} + \beta_{D1\_откр}$   $\beta_{p2} = 0.001 \dots P_{00}$

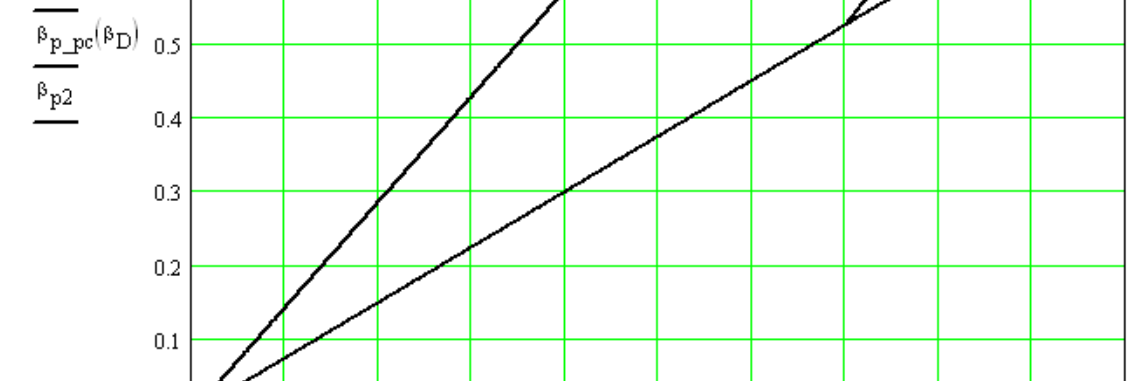


Диапазон значений для относительного расхода пара в голову турбины, при открытии клапанов первой группы и закрытых клапанов второй группы:

$\beta_{D\_только\_1гр} = \beta_{D1\_откр} \cdot 0.01 + \beta_{D1\_откр} \cdot 1$

Зависимость значения относительного расхода пара в голову турбины по группам клапанов от общего значения относительного расхода:

$\beta_{D1}(\beta_D) = \beta_{D1\_откр} \cdot \sqrt{\frac{1 - \beta_{p\_pc}(\beta_D)^2}{1 - \beta_{p\_pc\_1откр}^2}}$   $\beta_{D1\_откр} = 0.7$



Значение относительного расхода пара на турбину при частичной нагрузке (из задания №1):

$\beta_{Df} = 0.764$

Значение относительного расхода пара через первую группу клапанов:

$\beta_{D1}(\beta_{Df}) = 0.674$

Значение относительного расхода пара через вторую группу клапанов:

$\beta_{D2}(\beta_{Df}) = \beta_{Df} - \beta_{D1}(\beta_{Df})$   $\beta_{D2}(\beta_{Df}) = 0.0899$

Значения максимальных относительных расходов в группах клапанов:

$\beta_{D1\_max} = \beta_{D1}(\beta_{D1\_откр})$   $\beta_{D1\_max} = 0.7$

$\beta_{D2\_max} = \beta_{D2}(1)$   $\beta_{D2\_max} = 0.456$

Относительные значения величины открытия клапанов при частичной нагрузке:

$\beta_{D1f} = \frac{\beta_{D1}(\beta_{Df})}{\beta_{D1\_max}}$   $\beta_{D1f} = 0.963$

$\beta_{D2f} = \frac{\beta_{D2}(\beta_{Df})}{\beta_{D2\_max}}$   $\beta_{D2f} = 0.197$

Значение относительного внутреннего КПД частей регулирующей ступени работающих от пара на первую и вторую группу клапанов (из рис.5):

$\eta_{oi\_pc1} = 0.61$   $\eta_{oi\_pc2} = 0.2$

Значение относительного и абсолютного давления в камере регулирующей ступени на частичной нагрузке:

$\beta_{p\_pc}(\beta_{Df}) = 0.573$

$P_{p\_pc\_f} = P_{00} \cdot (\beta_{p\_pc}(\beta_{Df}))$   $P_{p\_pc\_f} = 6.303$  МПа

Значение давления за второй группой регулирующих клапанов в частичном режиме:

$P_{02} = \sqrt{P_{p\_pc\_f}^2 + \beta_{D2f}^2 \cdot (P_{00}^2 - P_{pc\_ном}^2)}$

$P_{02} = 6.464$  МПа

Для построения процесса расширения пара в h,s-диаграмме:

Значения термодинамических параметров в регулирующей ступени (из задания №1):

$s_{01} = 6.6895$   $\frac{кДж}{кг \cdot К}$   $h_{01} = 3.479 \times 10^3$   $\frac{кДж}{кг}$   $h_{02} = 3.479 \times 10^3$   $\frac{кДж}{кг}$

Адиабатическое значение удельной энтропии за 2 группой регулирующих клапанов, при:

$P_{02} = 6.464$  МПа и  $h_{02} = 3.479 \times 10^3$   $\frac{кДж}{кг}$

$s_{02} = 6.921$   $\frac{кДж}{кг \cdot К}$

Значение энтальпии за 1-ой и 2-ой группой клапанов при идеальном расширении пара:

$h_{1pc\_a} = 3322.5$   $\frac{кДж}{кг}$   $h_{2pc\_a} = 3450.7$   $\frac{кДж}{кг}$

Вычисление реальных значений энтальпий за клапанами:

$h_{1pc} = h_{01} - \eta_{oi\_pc1} \cdot (h_{01} - h_{1pc\_a})$   $h_{1pc} = 3383.5$   $\frac{кДж}{кг}$

$h_{2pc} = h_{02} - \eta_{oi\_pc2} \cdot (h_{02} - h_{2pc\_a})$   $h_{2pc} = 3473.3$   $\frac{кДж}{кг}$

Значение энтропий за клапанами нахожу по значению  $P_{p\_pc\_f} = 6.303$  МПа

$s_{1pc} = 6.809$   $\frac{кДж}{кг \cdot К}$   $s_{2pc} = 6.925$   $\frac{кДж}{кг \cdot К}$

Энтальпия пара в регулирующей ступени:  $h_{pc} = \frac{h_{1pc} \cdot \beta_{D1}(\beta_{Df}) + h_{2pc} \cdot \beta_{D2}(\beta_{Df})}{\beta_{D1}(\beta_{Df}) + \beta_{D2}(\beta_{Df})}$   $h_{pc} = 3394.1$   $\frac{кДж}{кг}$

Значение энтропии пара в регулирующей ступени (по параметрам в регул. ступени):

$s_{pc} = 6.823$   $\frac{кДж}{кг \cdot К}$

Значение энтальпии пара в конденсаторе, при адиабатическом расширении пара в проточной части турбины

$h_{k\_a} = 2037.3$   $\frac{кДж}{кг}$

Действительное значение энтальпии пара в конденсаторе:

Внутренний относительный КПД турбины:  $\eta_{oi\_т} = 0.87$

$h_k = h_{pc} - \eta_{oi\_т} \cdot (h_{pc} - h_{k\_a})$   $h_k = 2213.7$   $\frac{кДж}{кг}$

$s_k = 7.412$   $\frac{кДж}{кг \cdot К}$

Электрическая мощность турбины при сопловом парораспределении и частичной нагрузке, отпускаемая потребителю:

расход пара в номинальном режиме:  $D_{00} = 140$   $\frac{кг}{с}$

$N_{э\_сопш} = \beta_{Df} \cdot D_{00} \cdot (h_{01} - h_k) \cdot 0.99 \cdot 0.98$   $N_{э\_сопш} = 131305$  кВт

Электрическая мощность питательного насоса (такая же, как для случая дроссельного регулирования нагрузки из задания 1):

$N_{пнт} = 2253.3$  кВт

Коэффициент потерь на собственные нужды станции (из задания 1):  $f_{сн} = 0.043$

Значение электрической мощности отпускаемой электроэнергии от станции при частичной нагрузке и сопловом регулировании:

$N_{э\_отп} = N_{э\_сопш} - N_{э\_сопш} \cdot f_{сн} - N_{пнт}$

$N_{э\_отп} = 131305 - 131305 \cdot 0.043 - 2.253 \times 10^3$   $N_{э\_отп} = 123406$  кВт

Отпущена электрическая мощность при дроссельном и сопловом парораспределении и частичной нагрузке (из задания №1):

При регулировании с постоянным начальным давлением  $N_{э\_дрос\_Po.const} = 122573$  кВт

При регулировании со скользящим начальным давлением  $N_{э\_Po.var} = 124549$  кВт

### Выводы:

Максимальная отпущенная электрическая мощность со станции имеет место при при регулировании нагрузки способом скользящего начального давления (124,5 МВт). На втором месте по величине отпущенной электрической мощности - сопловый способ регулирования нагрузки (123,4 МВт). Наименьшая величина отпускаемой электроэнергии имеет место при дроссельном регулировании нагрузки (122,6 МВт).

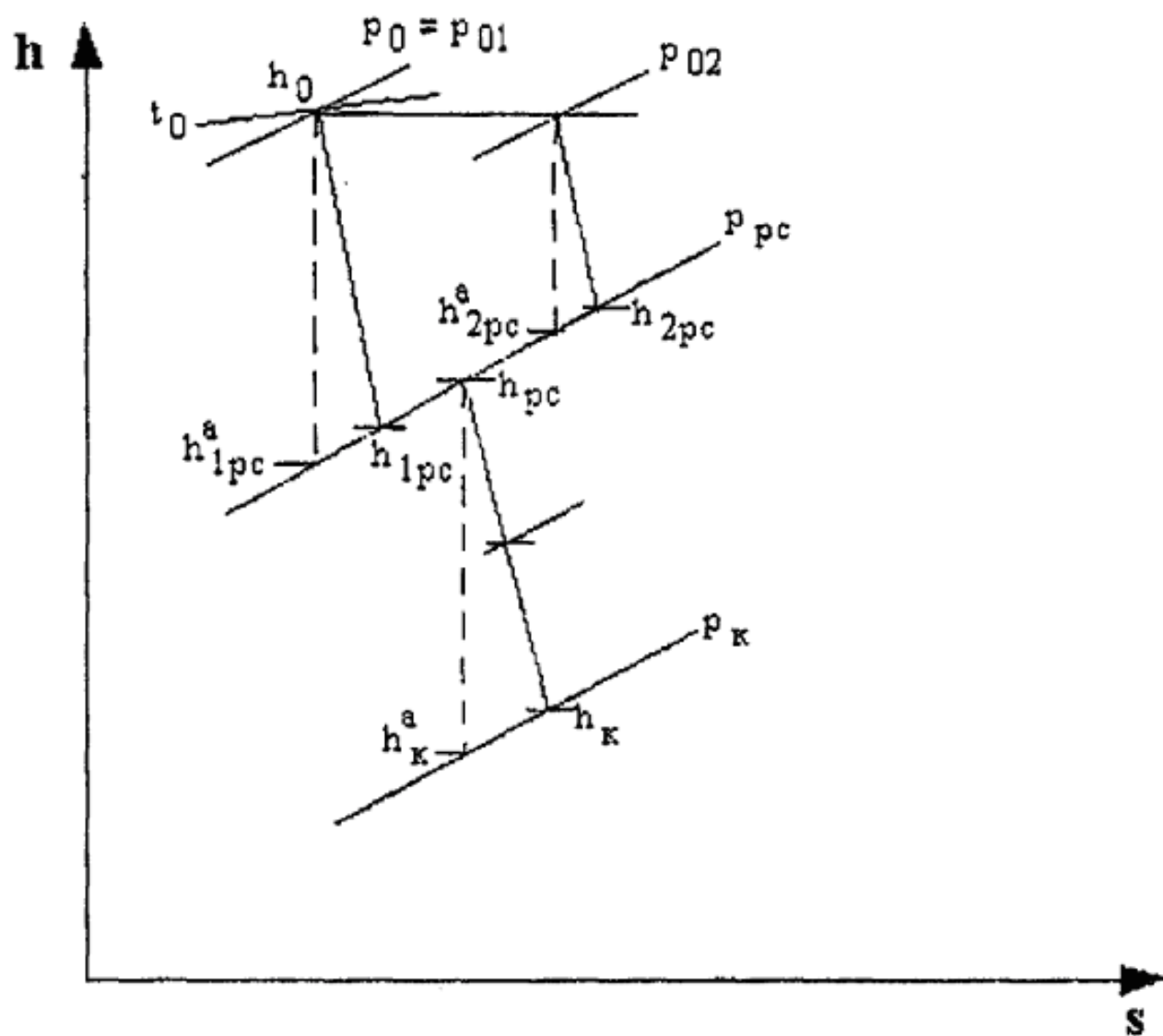
Таким образом, при заданном значении величины частичной нагрузки, наиболее эффективным следует считать регулирование отпуса электроэнергии способом скользящего начального давления.

Выигрыш в отпущенной электроэнергии при способе регулирования скользящим начальным давлением, по сравнению с регулированием сопловым парораспределением:

$N_{э\_Po.var} - N_{э\_отп} = 1143$  кВт

Выигрыш в отпущенной электроэнергии при способе регулирования скользящим начальным давлением, по сравнению с дроссельным парораспределением:

$N_{э\_Po.var} - N_{э\_дрос\_Po.const} = 1976$  кВт



Процесс расширения пара в турбине при сопловом (клапанном) парораспределении