Из таблицы видно, что согласно большинству критериев, преимущество имеет подогреватель камерного типа. Например, при переходе от коллекторно-спирального к камерному гидравлические потери уменьшаются на 81,8%, а высота подогревателя на 54,8%. При этом камерный подогреватель имеет меньшие размеры и металлоемкость.

Комплексный показатель Кирпичева эффективности теплообменников также свидетельствует об отношении мощности подогревателя (полезной работы) к энергозатратам на прокачку теплоносителя. Очевидно, что по этому критерию камерный подогреватель в 5 раз эффективнее.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Галашов Н.Н. Тепломеханическое и вспомогательное оборудование электростанций: учебное пособие / Н.Н. Галашов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. // Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 244 с.

Научный руководитель: А.В. Воробьёв, к.т.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ ОТ ВЛАЖНОПАРОВОЙ ТУРБОУСТАНОВКИ АЭС

В.А. Веснин[1], О.Ю. Ромашова[2], П.А. Плаунов[1]
Томский политехнический университет[1,2]
ИШЭ, НОЦ Бутакова[1,2], группа 5Б8А[1]

В России доля атомной генерации в настоящее время составляет 19% всего объема выработки электроэнергии. С использованием теплоснабжения от АЭС можно вытеснить неэкономичные ТЭЦ и котельные.

Цель работы – выбор наиболее экономичной схемы отпуска теплоты от влажнопаровой турбоустановки АЭС [1]. Подогрев сетевой воды – одноступенчатый.

Разработка схемы отпуска теплоты от АЭС на отопление решается двумя способами:

1. Подключение к одному из нерегулируемых отборов конденсационной турбины одноступенчатой сетевой установки (ПС-1). Данная схема изображена на рисунке 1.
2. Перевод конденсационной турбины в теплофикационно-конденсационную типа ТК и подключение ПС-1 к регулируемому отбору турбины Данная схема изображена на рисунке 2.

Преимуществом отпуска теплоты из регулируемого отбора турбины является увеличение электрической мощности на тепловом потреблении при понижении давления в отопительном отборе $p_т$, в то время как в схеме с нерегулируемым отбором отсутствуют потери давления при дросселировании пара в

регулирующих органах теплофикационного отбора [2]. Эффективность вариантов сравнивается по годовой недовыработке электроэнергии относительно номинального конденсационного режима.

Исходные данные: параметры номинального конденсационного режима турбоустановки К-220-44-3 Кольской АЭС; начальные параметры: давление свежего пара – 4,4 МПа, степень сухости – 0,995; расход свежего пара – 404 кг/с; Степень сухости за сепаратором – 0,990; давление в деаэраторе – 0,7 МПа; Давление в конденсаторе – 0,00331 МПа; Температурный график теплосети – 150/70; коэффициент теплофикации - 0,5; Климатический район: г. Мурманск.

Выбор прототипа обусловлен тем, что данная турбина в настоящее время успешно эксплуатируется на одной из действующих атомных электростанций России (Кольская АЭС), а также наличием достоверных данных номинального конденсационного режима, принятого за расчетный при пересчете схемы на другие условия работы.

Расчеты показателей работы турбоустановки для двух вариантов тепловой схемы выполняются при изменении температуры наружного воздуха, отношение тепловой мощности отопительного отбора к номинальной электрической нагрузки турбины $Q_т/N_{эн}$ варьируется от 0,1 до 1.

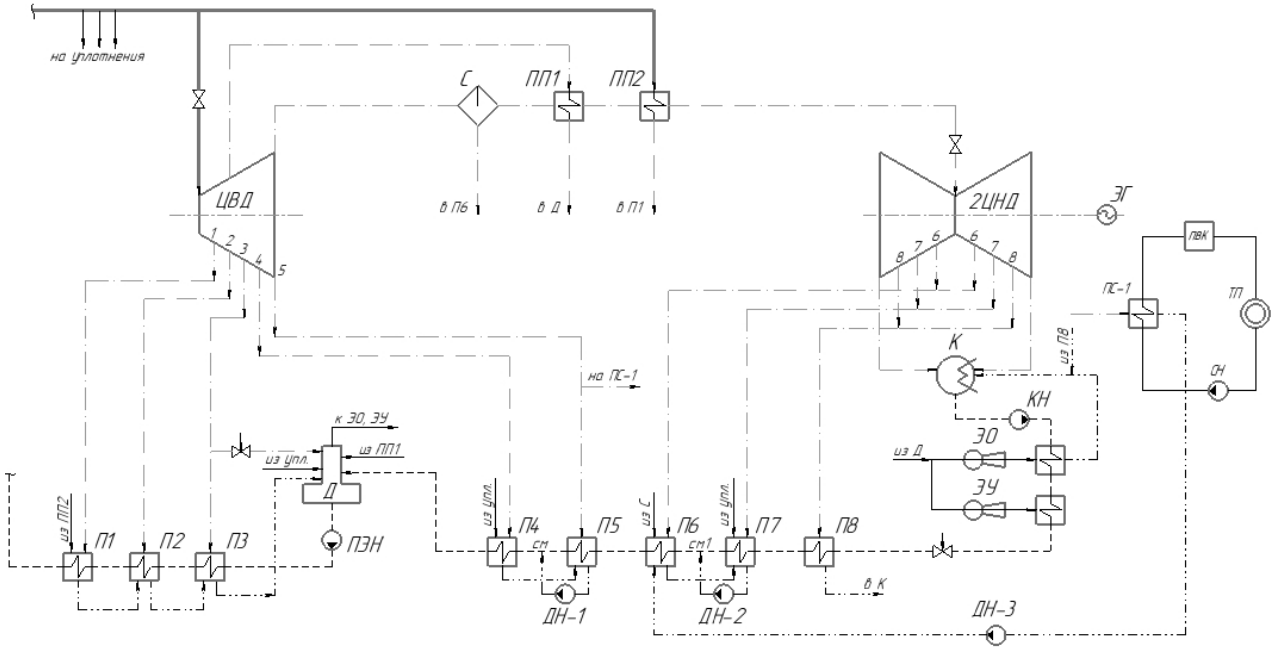

Рис. 1. Принципиальная схема турбоустановки К-220-44-3 с подогревом сетевой воды паром из нерегулируемого отбора

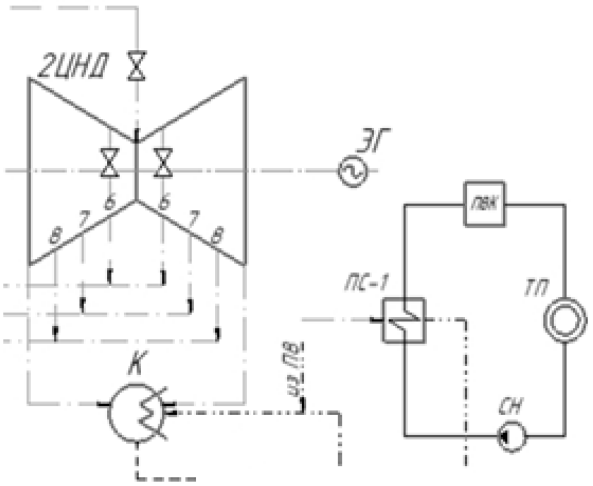

Рис.2. Схема отпуска теплоты на отопление из регулируемого отбора турбоустановки

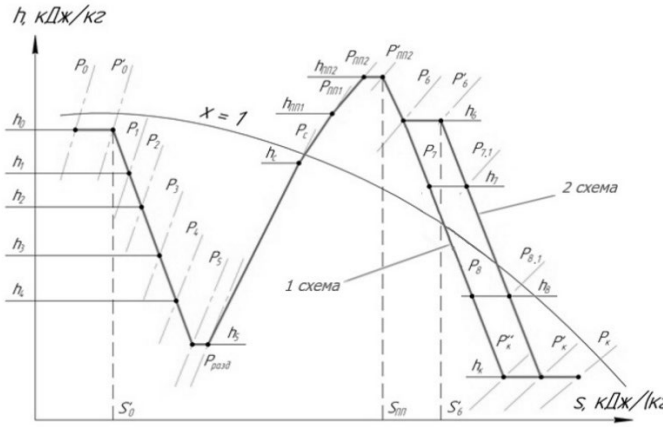

Рис.3. Процесс расширения пара в турбине в h,s-диаграмме

Расход острого пара во всех вариантах принят постоянным, параметры пара по проточной части при изменении тепловой нагрузки отборов пересчитываются по зависимости Стодолы-Флюгеля.

Процесс расширения пара в турбине для двух вариантов отпуска теплоты из отборов турбины представлен в h,s- диаграмме – рис. 3.

Результаты расчета тепловой схемы турбоустановки с регулируемым и отбором и с нерегулируемым отбором сведены в табл. 1.

Зависимость годовой недовыработки электрической энергии от доли тепловой нагрузки для двух вариантов схемы отпуска теплоты представлена в виде гистограммы – рис. 5.

Таблица 1. Результаты расчета

Показатель	Qт/Nэн =0,1							
	Н/рег. отбор				Рег. отбор			
$t_{нв}$, °С	-28	-22	-5	+8	-28	-22	-5	+8
$t_{пс}/t_{ос}$	110/70	103/63	84/44	60/35	110/70	103/63	84/44	60/35
$Q_т$, МВт	25,020			10,879	25,020	25,020	25,020	10,879
$P_т$, МПа	0,3150			0,07486	0,1810	0,1460	0,1370	0,1408
$G_{св}$, кг/с	149,29			102,00	149,28	149,28	149,29	102,00
$G_{обв}$, кг/с	45,829	56,658	77,961	50,459				
$G_{пс}$, кг/с	13,703			4,727	10,767	10,760	10,760	4,679
$G_к$, кг/с	200,496			207,371	202,633	201,616	201,359	206,936
$x_{вых}^{ЦВД}$	0,8583			0,8616	0,8632	0,8616	0,8612	0,8613
$x_к$	0,9253			0,9238	0,9308	0,9231	0,9188	0,9214

$N_Э$, МВт	241,494			245,147	236,434	242,414	245,165	246,049
$\Delta N_Э$, МВт	8,702			5,049	13,762	7,782	5,031	4,147
$\Delta Э_{год}$, МВт·ч	50165,22				35247,36			
$\delta Э_{год}$, %	29,74							
По-каза-тель	$Q_т/N_{эн}$ =0,5							
	Н/рег. отбор				Рег. отбор			
$t_{нв}$, °С	-28	-22	-5	+8	-28	-22	-5	+8
$t_{пс}/t_{ос}$	110/70	103/63	84/44	60/35	110/70	103/63	84/44	60/35
$Q_т$, МВт	125,098			54,391	125,098	125,098	125,098	54,391
$P_т$, МПа	0,2466			0,06826	0,1810	0,1460	0,1103	0,1290
$G_{св}$, кг/с	746,43			509,98	746,41	746,39	746,43	509,98
$G_{обв}$, кг/с	144,466	216,842	351,503	239,339				
$G_{пс}$, кг/с	68,340			23,653	53,806	53,773	53,810	23,393
$G_к$, кг/с	161,025			188,119	164,765	163,316	161,873	189,742
$x_{вых}^{ЦВД}$	0,8529			0,8614	0,8632	0,8616	0,8602	0,8609
$x_к$	0,9308			0,9212	0,9347	0,9268	0,9166	0,9193
$N_Э$, МВт	225,906			240,082	217,313	223,717	231,010	240,509
$\Delta N_Э$, МВт	24,289			10,114	32,883	26,479	19,186	9,687
$\Delta Э_{год}$, МВт·ч	131147,01				116209,20			
$\delta Э_{год}$, %	11,39							
По-каза-тель	$Q_т/N_{эн}$ =1							
	Н/рег. отбор				Рег. отбор			
$t_{нв}$, °С	-28	-22	-5	+8	-28	-22	-5	+8
$t_{пс}/t_{ос}$	110/70	103/63	84/44	60/35	110/70	103/63	84/44	60/35
$Q_т$, МВт	250,196			108,786	250,196	250,196	250,196	108,786

$P_т$, МПа	0,2943			0,05992	0,1810	0,1460	0,07529	0,1143
$G_{св}$, кг/с	1492,82			1020,00	1492,82	1492,77	1492,86	1020,00
$G_{обв}$, кг/с	414,581	532,161	759,105	438,180				
$G_{пс}$, кг/с	136,749			47,361	107,625	107,464	107,315	46,774
$G_к$, кг/с	115,090			165,083	118,001	116,064	111,526	168,214
$x_{вых}^{ЦВД}$	0,8450			0,8613	0,8632	0,8613	0,8579	0,8602
$x_к$	0,9391			0,9178	0,9424	0,9355	0,9143	0,9173
$N_Э$, МВт	201,365			234,721	193,252	199,693	215,638	233,381
$\Delta N_Э$, МВт	48,831			15,475	56,943	50,503	34,558	16,815
$\Delta Э_{год}$, МВт·ч	252815,36				210931,98			
$\delta Э_{год}$, %	16,57							

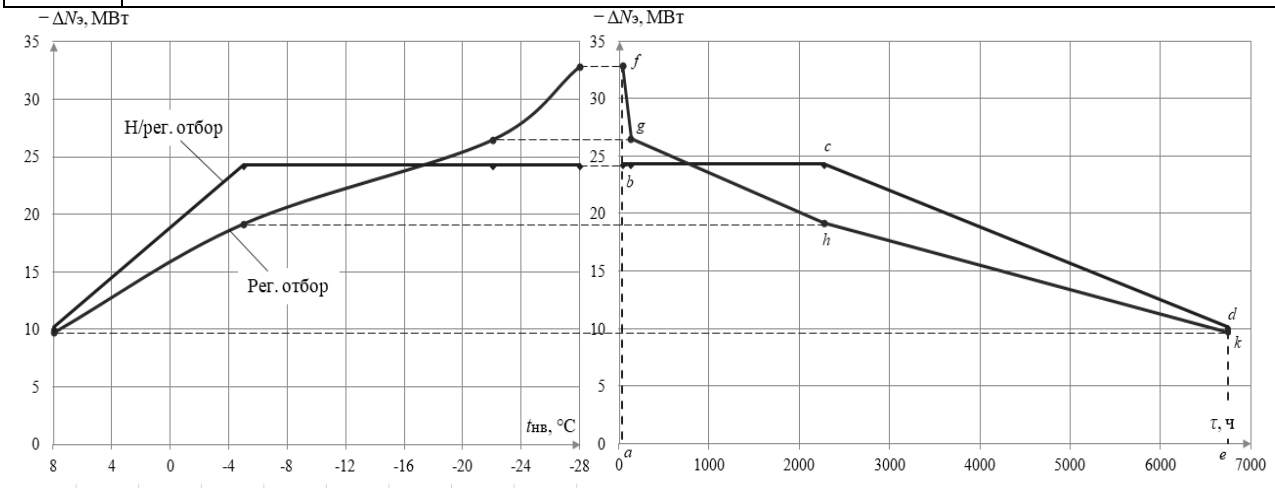

Рис.4. Годовой график недовыработки электрической энергии при $Q_т/N_Э$ = 0,5

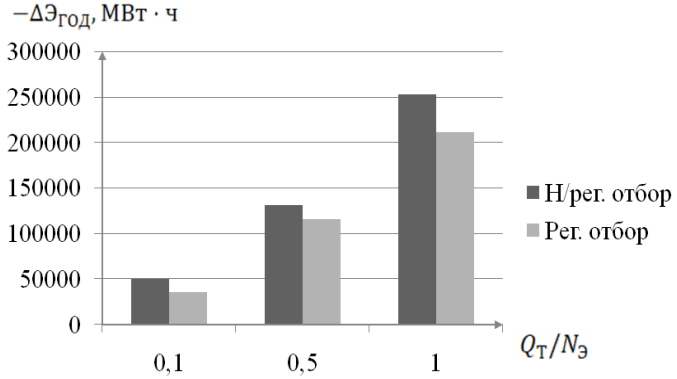

Рис. 5. Зависимость годовой недовыработки электрической энергии от доли тепловой нагрузки

Недовыработка электроэнергии турбоустановкой с нерегулируемым отбором $\Delta Э_{год}^{Н/рег.отбор}$ во всем диапазоне изменения тепловой нагрузки превышает недовыработку электрической энергии для варианта с регулируемым отбором $\Delta Э_{год}^{Рег.отбор}$ (см. табл. 1), что в условиях турбоустановки К-220-4,4 делает наиболее эффективным отпуск пара на подогрев сетевой воды из регулируемого отбора.

При значениях $Q_т/N_э^н$ выше 1 преимущества отпуска теплоты из регулируемого отбора существенно возрастают, в то время как при значениях этой доли (0,4-0,6) годовая недовыработка электроэнергии в обоих случаях практически выравнивается с небольшим преимуществом регулируемого отбора. Учитывая небольшую разницу в выработке электроэнергии по двум вариантам, а также дополнительное усложнение системы регулирования и снижение надежности турбоустановки при организации регулируемого отбора, в большинстве случаев предпочтение отдается нерегулируемым отборам.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Маргулова Т. Х. Атомные электрические станции: Учебник для вузов – 3-е изд. перераб. и доп. / Т. Х. Маргулова – М: Высш. школа, 1978. – 360с
2. Использование АЭС с ВВЭР для нужд теплоснабжения / Р.З. Аминов, М.К. Крылов // Теплоэнергетика. 2005. № 2. С. 37-42.

Научный руководитель: О.Ю. Ромашова, к.т.н., доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЕЛИЯ В ОДНОКОНТУРНОМ ЭНЕРГОБЛОКЕ С ВТГР

Н.Г. Попугаев
Томский политехнический университет
ИШЭ, НОЦ И.Н. Бутакова, группа 5061

В настоящее время доля генерации электроэнергии в мире на АЭС составляет около 10,3 % по данным международного энергетического агентства за 2019 год [2]. В дальнейшем эта доля будет расти, особенно учитывая мировые тенденции «зеленой энергетики» и постепенный отказ от ископаемого топлива.

Подавляющее большинство энергоблоков атомных электростанций, находящихся в эксплуатации, имеют водоохлаждаемые реакторы, но на сегодняшний день такие энергоблоки практически достигли своего предела по экономическим показателям. Ведутся интенсивные исследовательские работы по созданию реакторов четвертого поколения с другими видами теплоносителей.

Одним из перспективных направлений является создание одноконтурной энергетической установки с гелийохлаждаемым реактором. Такой выбор