

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

### 6.3. ТЕПЛО- И ЭЛЕКТРОСНАБЖАЮЩИЕ УСТАНОВКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

#### 6.3.1. Общая характеристика развития теплофикации в России и анализ возможностей использования ТЭЦ малой мощности вместо отопительных котельных

*Ильин Е.Т. ЗАО «Комплексные энергетические системы»*

Развитие энергетики страны до настоящего времени шло в основном за счет ввода новых паротурбинных агрегатов, имеющих более высокие начальные параметры и большую единичную мощность. Повышение начальных параметров позволяло совершенствовать термодинамический цикл и снижать удельные расходы топлива. Существенным фактором повышения экономичности является также широкое развитие теплофикации.

Здесь и далее под термином теплофикация понимается энергоснабжение на базе комбинированной, т.е. совместной выработки тепловой и электрической энергии в одной установке. Термодинамической основой теплофикации служит полезное использование отработавшего в паросиловой установке пара для отпуска тепла внешним потребителям (в этом случае используется теплота фазового перехода пара в жидкость).

В комбинированной выработке заключается основное отличие теплофикации от так называемого раздельного метода энергоснабжения, при котором электрическая энергия вырабатывается на конденсационных тепловых электростанциях (КЭС), а тепловая — в котельных.

Особо следует подчеркнуть роль теплофикации для нашей страны, находящейся в зоне суровых климатических условий, где для поддержания жизнедеятельности требуются значительные расходы энергии и тепла. Среднегодовая температура в России —  $-5,5$  °С. В то же время, например, в Финляндии —  $+1,5$  °С. В Швеции и Норвегии еще выше —  $+2$  °С, а это самые северные страны Европы, которые расположены по широте значительно севернее, чем большая часть территории России. Это объясняется тем, что на климат в Европе существенное влияние оказывает теплое морское течение Гольфстрим. Поэтому климатические пояса в Европе расположены таким образом, что средняя температура меняется больше не с севера на юг, а с запада на восток, т.е. чем дальше от побережья, тем холоднее.

Развитие теплофикации в нашей стране шло в основном за счет ввода мощных паротурбинных установок типа Т-110-130 или Т-250/300-240. Это позволило за последние 50 лет более чем в 2 раза снизить удельные расходы топлива на выработку электроэнергии на ТЭЦ с  $b_{\text{вд}} = 590$  г у.т./кВт·ч до  $b_{\text{вд}} = 264$  г у.т./кВт·ч. Однако за последние 15 лет процесс снижения удельных расходов топлива на выработку электроэнергии практически прекратился. Это связано с тем, что в настоящее время теплоснабжение практически всех крупных потребителей тепла осуществляется от мощных ТЭЦ с паротурбинным оборудованием типа Т-110-130, ПТ-80-130, Т-175-130, Т-250-240. Термодинамическая эффективность цикла этих установок уже исчерпана. Возможность строительства новых крупных ТЭЦ тоже практически исчерпана, так как нет крупных потребителей тепла.

В то же время в России имеются широкие возможности для расширения строительства ТЭЦ малой мощности для теплоснабжения. Сейчас в России действует 920 котельных установок с тепловой производительностью более 400 ГДж/ч каждая. Программой перспективного раз-

вития энергетики России в ближайшие 10 лет намечается строительство и расширение около 70 котельных тепловой производительностью более 800 ГДж/ч, в том числе тепловой производительностью более 1600 ГДж/ч — 36, а также паровых котельных тепловой производительностью более 200 т/ч — 20. Такое широкое внедрение мощных котельных приводит к тому, что растет раздельная выработка электрической и тепловой энергии, а значит и снижается эффективность использования энергии топлива. Вместе с тем тепловая мощность котельных недостаточна для установки вместо них ТЭЦ с турбинами типа Т-110-130 или большей мощности. В этом случае целесообразно использовать ТЭЦ малой мощности, имеющих в своем составе турбинное оборудование с противодавлением.

Применение ТЭЦ малой мощности имеет ряд преимуществ:

- удельные расходы условного топлива на выработку электроэнергии при использовании турбин с противодавлением поддерживаются на уровне 160...170 г/(кВт·ч) независимо от единичной мощности агрегата;
- количество обслуживающего персонала сохраняется минимальным, почти таким же как для обычной котельной;
- блочная, заводская поставка основного оборудования существенно уменьшает сроки монтажа оборудования и ввод его в эксплуатацию по сравнению с ТЭЦ большой мощности, в результате чего сокращается время «замораживания капитала» и сроки окупаемости строительства.

Широкое использование малых ТЭЦ в 40—50-х годах с турбинами единичной мощностью 0,5...6 МВт и давлением пара  $p_0 = 1,2...3,5$  МПа показало их высокую надежность и эффективность.

Для обеспечения высокой эффективности работы малых ТЭЦ необходимо, чтобы все производство электрической энергии сопровождалось отпуском тепла. В этом случае при установке таких турбин на чисто отопительных ТЭЦ, без паровой нагрузки промышленного потребителя, для сохранения высокой экономичности необходимо обеспечение загрузки турбин на протяжении всего сезона, что ведет к снижению  $\alpha_{\text{ТЭЦ}}$  до величины, соответствующей нагрузке горячего водоснабжения (или близкой к ней), и тепловых нагрузок собственных нужд ТЭЦ, а оставшаяся часть тепловой нагрузки покрывается водогрейными котлами. Можно увеличить  $\alpha_{\text{ТЭЦ}}$  до величины нагрузки отопительного сезона и соответственно увеличить устанавливаемую в котельной электрическую мощность и выработку электроэнергии на тепловом потреблении. Однако в этом случае не обеспечивается загрузка паровых турбин в течение всего года. В неотопительный период часть паровых турбин необходимо будет останавливать из-за отсутствия тепловой нагрузки. Использование паротурбинных установок малой мощности с конденсаторами в конденсационном режиме в течение отопительного сезона из-за низких параметров свежего пара и несовершенства термодинамического цикла (низ-

кие параметры свежего пара, отсутствие промежуточно-перегрева и неразвитая система регенерации) приводит к существенному перерасходу топлива в неотопительный период. Например, турбина П-6-3,5/0,5-1 с начальными параметрами пара  $p_0 = 3,5$  МПа и  $t_0 = 435$  °С при эксплуатации в чисто конденсационном режиме, при работе на газе, имеет удельный расход условного топлива на отпуск электроэнергии (нетто)  $b_{уд} = 490$  г/(кВт·ч) при работе на газе и  $b_{уд} = 600...615$  г/(кВт·ч) при работе на твердом топливе. Поэтому эксплуатация таких установок в конденсационном режиме нецелесообразна, так как современные отечественные и зарубежные конденсационные паротурбинные энергоблоки имеют удельный

расход топлива  $b_{уд} = 320$  г/(кВт·ч). Показатели тепловой экономичности некоторых паротурбинных установок при работе в режиме противодавления представлены в табл. 6.10.

Вместо паротурбинного оборудования в котельных могут быть установлены и ГТУ. В этом случае тепло уходящих газов из ГТУ используется для теплоснабжения. Реализация таких схем наиболее благоприятна для котельных, работающих на газовом топливе.

Выбор наиболее оптимального варианта малой ТЭЦ должен основываться на технико-экономических расчетах, в основе которых лежат следующие основные принципы по выбору оптимальной мощности малой ТЭЦ.

Таблица 6.10. Показатели тепловой экономичности турбин, установка которых целесообразна в котельных

	Тип турбины				
	Р-5,2-2,2/0,3	Р-4-2,1/0,3	Р-2,5-3,4/0,3-1	Р-2,5-2,1/0,3	ПР-6-3,4/1,0/0,1-1
Завод-изготовитель	ХТЗ	ХТЗ	КТЗ	КТЗ	КТЗ
Давление острого пара, МПа	3,4	2,05	3,4	2,05	3,4
Температура острого пара, °С	435	370	435	370	435
Параметры пара на выходе турбины:					
давление, МПа	0,294	0,3	0,3	0,3	0,12
температура, °С/степень сухости, кг/кг	184/—	175/—	194/—	184/—	136/—
Расход пара в номинальном режиме, кг/с (т/ч)	15,68 (54,6)	11,79 (42,43)	6,04 (21,7)	7,68 (27,63)	11,42 (41,1)
Электрическая мощность на выводах генератора, МВт, при расходе пара от номинального, %:					
100	5,19	4,0	2,5	2,5	6,0
75	3,45	2,65	1,71	1,68	4,21
50	1,75	1,39	0,98	0,87	2,54
Тепловая мощность, отпускаемая из теплофикационного отбора, МВт, при расходе пара от номинального, %:					
100	35,59	26,59	13,85	17,43	26,35
75	27,16	20,31	10,56	13,31	20,07
50	18,68	13,94	7,23	9,12	13,66
Удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии, г/(кВт·ч), при расходе пара от номинального, %:					
100	140	143	147	143	143
75	141	143	147	143	143
50	144	146	150	146	146
Удельный расход условного топлива на выработку тепла, кг/Гкал, при расходе пара от номинального, %:					
100	155,2	155,3	156,8	155,2	156,8
75	155,3	155,3	157,9	155,2	156,8
50	158,6	158,7	160,1	158,7	160,2
Выработка электроэнергии на тепловом потреблении, %:					
100	14,61	15	18	14,3	22,77
75	12,7	13,04	16,19	12,62	20,98
50	9,37	9,97	13,55	9,54	18,59
КПД использования тепла топлива (брутто) при расходе пара от номинального, %:					
100	91,42	91,15	89,84	91,28	90,09
75	91,45	91,22	89,90	91,33	90,13
50	89,66	89,45	88,27	89,48	88,30

Показатель	Тип турбины				
	ПР-12-3,4/0,6/0,1	ПР-12-3,4/1,0/0,1	ПР-6-3,4/0,5/0,1-1	ПР-2,5-1,3/0,6/0,1	ТГ-0,6/0,4-К1,3
Завод-изготовитель	КТЗ	КТЗ	КТЗ	КТЗ	КТЗ
Давление острого пара, МПа	3,4	3,4	3,4	1,3	1,3
Температура острого пара, °С	435	435	435	300	191
Параметры пара на выходе турбины:					
давление, МПа	0,1	0,12	0,12	0,12	0,06
температура, °С/степень сухости, кг/кг	99/—	105/1,0	145/1,0	113/1,0	85,9/0,992
Расход пара в номинальном режиме, кг/с (т/ч)	19,67 (70,8)	21,53 (77,5)	11,33 (40,8)	8,19 (29,5)	2,78 (10,0)
Электрическая мощность на выводах генератора, МВт, при расходе пара от номинального, %:					
100	12,0	12,0	6,0	2,5	0,6
75	8,46	8,42	4,21	1,67	0,41
50	5,14	5,08	2,54	0,95	0,24
Тепловая мощность, отпускаемая из теплофикационного отбора, МВт, при расходе пара от номинального, %:					
100	44,41	48,33	26,36	18,49	6,07
75	33,87	36,89	20,06	14,12	4,60
50	23,09	25,19	13,65	9,59	3,11
Удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии, г/(кВт·ч), при расходе пара от номинального, %:					
100	139	150	137	152	151
75	139	150	137	152	152
50	142	153	140	155	155
Удельный расход условного топлива на выработку тепла, кг/Гкал, при расходе пара от номинального, %:					
100	156,7	156,8	156,8	155,0	158,4
75	156,7	156,7	156,8	155,1	158,2
50	160,1	160,2	160,1	158,6	161,51
Выработка электроэнергии на тепловом потреблении, %:					
100	27,02	24,83	22,76	13,52	9,9
75	24,98	22,82	20,98	11,83	8,9
50	22,26	20,17	18,61	9,9	7,72
КПД использования тепла топлива (брутто) при расходе пара от номинального, %:					
100	90,54	89,10	90,79	90,67	89,29
75	90,61	89,26	90,81	90,76	89,46
50	88,71	87,52	88,94	88,99	87,74

Показатель	Тип турбины				
	ТГ-0,6/0,4-К2,8	ТГ 1,2/0,4 Р24/1,2	ТГ 0,75/0,4 Р13/2	ТГ 1,7/0,4 Р5/1,0	ТГ 2,5/6,3 Р7/1,0
Завод-изготовитель	КТЗ	КТЗ	КТЗ	КТЗ	КТЗ
Давление острого пара, МПа	2,8	2,4	1,3	0,5	0,7
Температура острого пара, °С	380	300	191	151	164
Параметры пара на выходе турбины					
давление, МПа	0,06	0,12	0,2	0,105	0,105
температура, °С/степень сухости, кг/кг	93/1,0	105/0,98	120,2/0,95	101/0,95	101/0,93
Расход пара в номинальном режиме, кг/с (т/ч)	1,28 (4,6)	3,47 (12,5)	4,44 (16)	10,56 (38)	11,11 (40)
Электрическая мощность на выводах генератора, МВт, при расходе пара от номинального, %:					
100	0,6	1,2	0,75	1,8	2,5
75	0,42	0,86	0,48	1,1	1,6
50	0,26	0,48	0,25	0,53	0,82
Тепловая мощность, отпускаемая из теплофикационного отбора, МВт, при расходе пара от номинального, %:					
100	2,95	7,63	9,31	22,65	23,37
75	2,24	5,76	7,07	17,25	17,82
50	1,52	3,94	4,79	11,71	12,13
Удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии, г/(кВт·ч), при расходе пара от номинального, %:					
100	149	145	148	140	140
75	150	145	148	140	140
50	153	148	151	143	143
Удельный расход условного топлива на выработку тепла, кг/Гкал, при расходе пара от номинального, %:					
100	156,3	155,2	155,3	155,0	155,1
75	157,5	155,0	155,3	155,1	155,0
50	160,0	158,4	158,6	158,3	158,5
Выработка электроэнергии на тепловом потреблении, %:					
100	20,33	15,72	8,06	7,95	10,7
75	18,75	14,93	6,79	6,37	8,98
50	17,1	12,18	5,22	4,53	6,76
КПД использования тепла топлива (брутто) при расходе пара от номинального, %:					
100	89,70	91,00	91,24	91,78	91,65
75	89,15	91,14	91,35	91,82	91,74
50	87,84	89,33	89,59	90,04	89,84