

мостоятельно в процессе работы осваивает расширенные возможности.

Таким образом, использование программного комплекса позволило выполнить оптимизацию технологических процессов во многих подразделениях теплоснабжающей организации.

ЛИТЕРАТУРА:

1. В.Н. Мелькумов, С.Н. Кузнецов, К.А. Складов, А.А. Горских. Мониторинг надежности тепловых сетей // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – 2010. – № 1 (17). – С. 52–58.
2. Постановление Правительства РФ от 8 августа 2012 г. № 808 «Об организации теплоснабжения в Российской Федерации и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации».
3. Требования к схемам теплоснабжения, порядку их разработки и утверждения (утверждены постановлением Правительства РФ от 22 февраля 2012 г. № 154). – М.: Собрание законодательства Российской Федерации, 2012 г. – № 10 – 21 с.
4. Методические рекомендации по разработке схем теплоснабжения (утверждены совместным приказом Минэнерго РФ и Минрегионразвития РФ от 29.12.2012 г. № 565/667). URL: http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=1557 (дата обращения: 01.11.2014).

Научный руководитель: В.В. Литвак, д.т.н., профессор кафедры АТЭС ЭНИН ТПУ.

ТЭЦ С ЭНЕРГОБЛОКАМИ НА УЛЬТРА-СВЕРХ КРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ

Д.А. Поляков
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТЭС, группа 5БМ4А

В настоящее время в России и в других странах мира широко используются энергоблоки со сверхкритическими параметрами с начальным давлением $p_0 = 23,57$ МПа и температурой острого пара $t_0 = 540$ °С, с однократным промежуточным перегревом с параметрами $r_{пп} = 3,6$ МПа и $t_{пп} = 540$ °С. Эти параметры позволяют достигнуть

КПД энергоблока 41 %. С 1966 г. и до середины 70-х годов на Каширской ГРЭС действовал экспериментальный энергоблок СКР-100-300 с суперсверхкритическими параметрами $p_0 = 29,4$ МПа, $t_0 = 650$ °С. Эти исследования позволили установить возможность создания промышленного оборудования на суперсверхкритические параметры. Первая промышленная станция Эддистоун-1 на суперсверхкритические параметры: $p_0 = 35,9$ МПа, $t_0 = 648$ °С, с двукратным промежуточным перегревом $t_{пп} = 565/565$ °С, была построена в США в 1954 г. В настоящее время в мире насчитывается несколько десятков энергоблоков на суперсверхкритические параметры, построенных в основном в США, Германии, Дании, Японии, характеристики некоторых из них представлены в табл. 1.1. Анализ приведенных в табл. 1.1 характеристик станций с суперсверхкритическими параметрами пара показывает, что ввод первых экспериментальных энергоблоков с параметрами с $p_0 = 35$ МПа и $t_0 = 650$ °С, с двукратным промперегревом выявил сложность реализации таких проектов. На последующих этапах, особенно это просматривается на примере станций, построенных в 80-х годах прошлого века, видно, что начальное давление и температура поднимались незначительно, $p_0 = 25...28$ МПа, $t_0 = 560...580$ °С, а вот параметры промежуточного перегрева выросли до $t_{пп} = 580...600$ °С. Такое решение является оправданным, так как понижение параметров острого пара позволило применять менее дорогостоящие материалы при одновременном сохранении надежности и маневренности оборудования. Повышение температуры промежуточного перегрева является не столь критичным, так как металл в этом случае работает при значительно меньшем давлении. Вместе с тем опыт эксплуатации оборудования показал, что применение двукратного промежуточного перегрева при давлениях пара до 26 МПа является экономически неоправданным, так как прирост общего КПД около 1 % не компенсирует усложнение тепловой схемы энергоблока, конструкции турбины и котла. Поэтому, начиная с 80-х годов, в основном строились энергоблоки с одним промежуточным перегревом. Только переход на давление близкое к $p_0 = 30$ МПа снова сделал целесообразным использование второго промежуточного перегревателя пара. Одновременно с ростом параметров шло совершенствование тепловых схем, повышалась температура питательной воды, которая достигла $t_{п.в} = 300$ °С, внедрялись ПНД смешивающего типа, совершенствовались регенеративные ПВД и схемы их включения (схемы Виолена и Рикара—Некольного). В то же время существенного повышения экономичности удалось достигнуть за счет понижения давления в конденсаторе. Особо следует отметить тот факт, что понижение давления в конден-

саторе достигалось не только за счет увеличения площади конденсатора и совершенствования процессов теплообмена в нем, но и за счет поддержания глубокого вакуума в процессе эксплуатации, путем предотвращения отложений в трубной системе конденсаторов и уменьшения присосов воздуха. Такой результат обеспечивался путем внедрения непрерывной шариковой очистки и использования современных герметизирующих материалов. В результате удалось снизить температурные напоры в конденсаторах с $\Delta t = 6 \dots 8$ °С до $\Delta t = 3 \dots 4$ °С. Такое снижение температурного напора позволило понизить давление в конденсаторе приблизительно на 1 кПа, в результате чего мощность турбины выросла в среднем на 1...1,5 % для оборудования, предназначенного для работы с паром закритических параметров, и на 2,5...4 % для энергоблоков атомных станций. Эффект от повышения параметров пара приведен в десятках работ. Из табл. 1.1 видно, что достижение параметров пара $p_0 = 29$ МПа и $t = 580/580/600$ °С позволило получить КПД станции 47 %. Повышение при этом расчетного вакуума до $p_k = 2,35$ кПа увеличило КПД станции до 49 %. В связи с уменьшением запасов газа использование пара с суперсверхкритическими параметрами на угольных станциях представляется весьма перспективным. Вместе с тем следует отметить, что повышение параметров пара до еще более высоких значений не столь перспективно, как выход на $p_0 = 30$ МПа и $t_0 = 600$ °С. Повышение параметров пара до $p_0 = 40$ МПа и $t_0 = 700 \dots 750$ °С позволяет повысить КПД станции всего до 51...52 %. При этом стоимость материалов резко возрастает. Таким образом, повышение параметров пара для обычного паротурбинного оборудования близко к достижению своего экономического предела. Только появление материалов абсолютно нового типа, с высокими прочностными характеристиками позволит и далее повышать параметры. Существенная экономия топлива в настоящее время может быть достигнута:

- за счет комбинированной (совместной) выработки электрической и тепловой энергии;
- путем строительства ПГУ;
- за счет модернизации существующих установок[1].

Табл. 1.1 Основные характеристики действующих энергоблоков с суперсверхкритическими параметрами пара

Страна, электростанция	Год ввода в эксплуатацию	Топливо	Температура свежего пара и пара промежуточных перегревов $t_0/t_{м1}/t_{м2}$, °С	Начальное давление, МПа	Температура питательной воды, °С	Электрическая мощность, МВт	Давление в конденсаторе, кПа	КПД энергоблока нетто, %
США, Эддистоун-1	1954	Уголь	648/565/565	35,9	—	325	—	—
Россия, Каширская ГРЭС	1966	Уголь	650/565	29,4	—	100	—	—
Япония, Вакамацу	1968	Уголь	593/593/593	31,0	—	50	—	—
Дания, Струдstrup 3 и 4	1984—1985	Уголь	540/540	25,0	261	350	2,1	41...42
Япония, Кавагое-1	1989	Сжиженный газ	566/566/566	30,5	310	700	4	41,9
Дания, Фунен 7	1991	Уголь	540/540	25,0	280	350	2,7	43,5
Германия, Шгаудингер 5	1992	Уголь	545/562	26,2	270	550	3,8	43
Дания, Эсбьерг 3	1992	Уголь	562/560	25,0	275	350	2,3	45,3
Германия, Любек	1995	Уголь	580/560	27,5	—	400	—	45,7
Дания, Скербек 1 и 2 (Конвой)	1997	Газ	582/580/580	29,5	298	395	2,3	47
Дания, Альборг	1997	Уголь	580/580/600	28,5	300	400	2,35	49
Япония, Матсура 2	1998	Уголь	593/593/593	25,6	—	1000	—	45
Дания, Норджилланд (Конвой)	1998	Уголь	582/580/580	29,5	—	385	—	49
Германия, Гесслер	1998	Уголь	580/600	27,5	301	740	3,6	45,4
Германия, Бексбах 2	—	Уголь	575/595/—	25,0	290	750	—	46,3
Германия, Боксберг	2000	Лигнит	545/581	26,6	—	907	—	42,7

Принципиальные схемы ТЭЦ на ультра-супер критических параметрах

На данный момент существует две концепции развития энергоблоков на ультра-супер критических параметрах (с одинарным и двойным перегревом пара). При проектировании этих энергоблоков предполагается, что в обоих случаях они имеют одинаковую номинальную электрическую мощность 900МВт, давление в конденсаторе, а так же КПД отдельных электрических установок и систем.

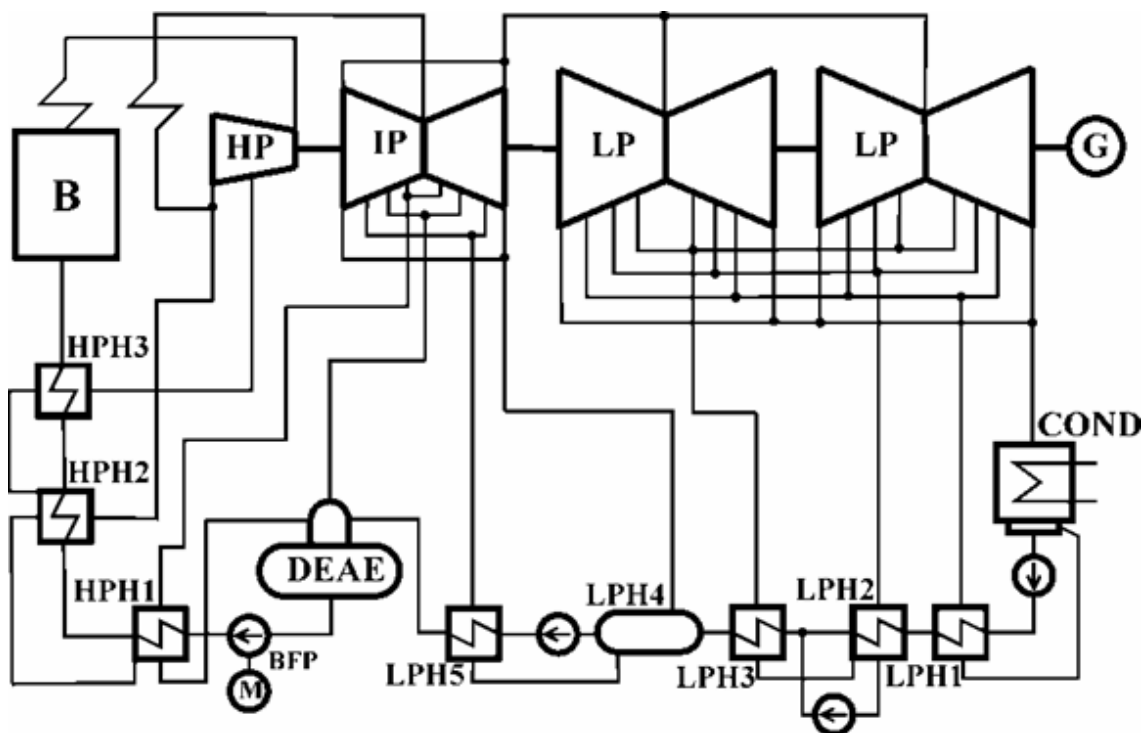


Рис. 1.1. Принципиальная упрощенная схема ТЭЦ на ультра-супер критических параметрах с одинарным перегревом пара

Данная схема включает в себя: В – котел, HP – цилиндр высокого давления, IP – цилиндр среднего давления, 2 LP – 2 цилиндра низкого давления, G – генератор, COND – конденсатор, LPH(1-5) – подогреватели низкого давления, DEAE – деаэратор, BFP – насос питательной воды, HPH(1-3) – подогреватели высокого давления. Особенность данной схемы пятиступенчатая регенерация низкого давления с открытой подачей в водоподогреватель (LPH4) и трехступенчатая регенерация высокого давления.

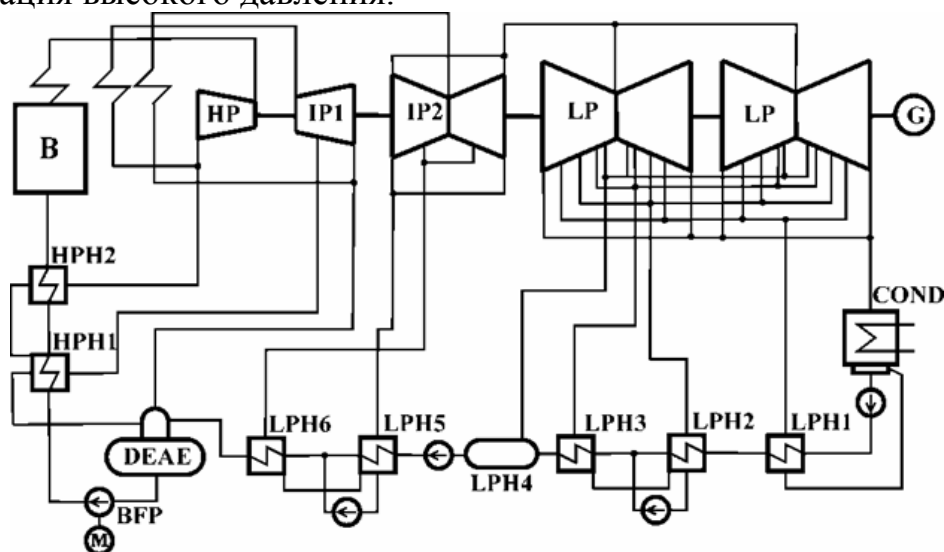


Рис. 1.2. Принципиальная упрощенная схема ТЭЦ на ультра-супер критических параметрах с двойным перегревом пара

Данная схема включает в себя: В – котел, НР – цилиндр высокого давления, IP(1-2) – цилиндр среднего давления, 2 LP – 2 цилиндра низкого давления, G – генератор, COND – конденсатор, LPH(1-5) – подогреватели низкого давления, DEAE – деаэратор, BFP – насос питательной воды, НРН(1-3) – подогреватели высокого давления.

Особенность данной схемы, шесть стадий регенерация низкого давления с открытой подачей в водоподогреватель (LPH4) и двухступенчатая регенерация высокого давления. Использование двойного промперегрева пара усложняет структуру энергоблока, но позволяет существенно улучшить эффективность выработки электроэнергии. В циклах с двойным перегревом коэффициент сухости пара на выходе из турбины значительно меньше, что приводит к повышению эффективности цикла. Турбина состоит из двух отдельных цилиндров среднего давления, где второй цилиндр среднего давления выполнен как двупроточный цилиндр. Выход пара из первого цилиндра среднего давления направляется в котел для перегрева.

Последний подогреватель высокого давления питается из холодной нитки нагрева пара, следовательно первый перегрев пара определяет температуру и давление подачи воды.

Конфигурация энергоблоков 900 МВт со вспомогательной турбиной

Существенное повышение температуры пара, особенно подогрев пара (до 720 °С), усугубляет проблему разности температур между острым паром и питательной водой в подогревателях высокого давления. Подогреватели питались острым паром из отборов турбины которые расположены сразу после пара перегревателя. Для того чтобы решить эту проблему, компания Elsam запатентовала термический цикл под названием “Master Cycle”. Основной идеей этого цикла является отбор острого пара на стадии промежуточного перегрева на так называемую дополнительную турбину, которая соединена с дополнительным электрогенератором. В результате чего снижается теплорепад в подогревателях высокого давления, между цилиндром высокого давления и конденсатором, за счет этого повышается эффективность всего цикла. С использованием вспомогательной турбины уменьшается поток и параметры пара проходящие через турбину, что в свою очередь приводит к удешевлению материалов используемых для строительства трубопроводов по сравнению с дорогостоящими сплавами на основе никеля.

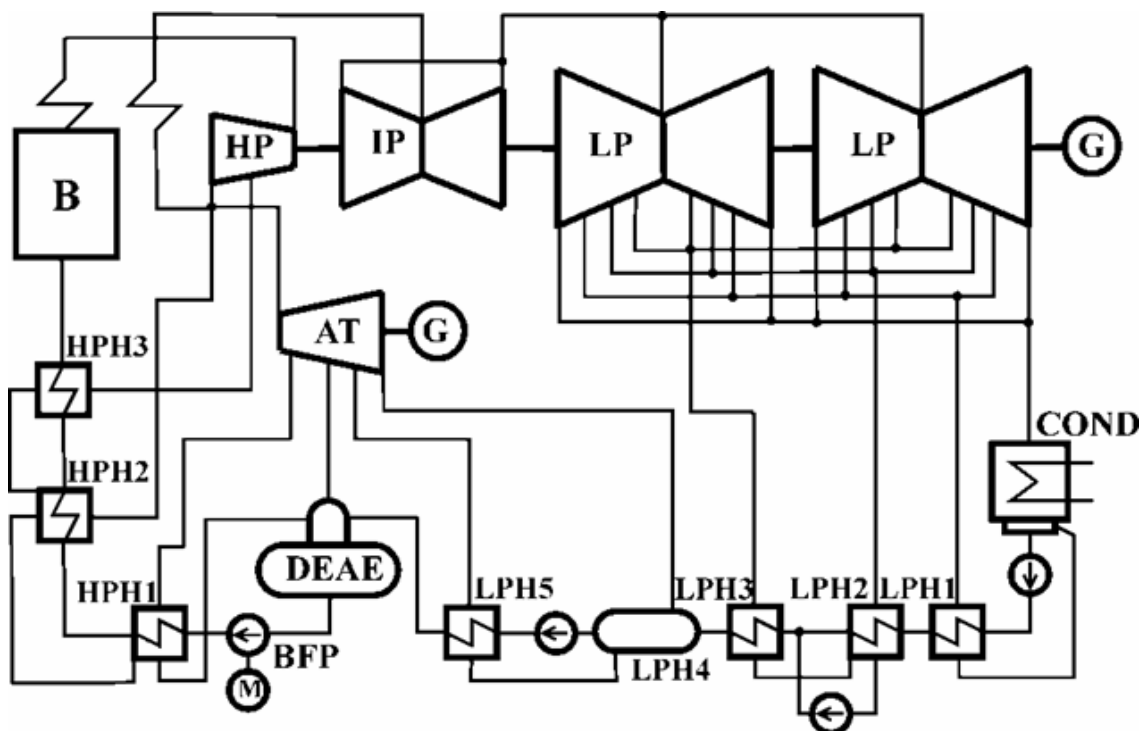


Рис. 1.3. Принципиальная схема блока 900 МВт с одинарным перегревом пара и вспомогательной турбиной

Данная схема включает в себя: В – котел, HP – цилиндр высокого давления, IP(1-2) – цилиндр среднего давления, 2 LP – 2 цилиндра низкого давления, G – генератор, COND – конденсатор, LPH(1-5) – подогреватели низкого давления, DEAE – деаэратор, BFP – насос питательной воды, HPH(1-3) – подогреватели высокого давления, AT – вспомогательная турбина.

Вывод:

Из представленной информации можно сказать, что разработка энергоблоков на ультра-сверх критических параметрах является перспективным направлением современной энергетики.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ильин Е.Т., ЗАО «Комплексные энергетические системы». - osi.ecopower.ru/ru/2010-10-18-11-03-16/item/download/859.html.
2. Open Access Journal Journal of Power Technologies 92 (4), 2012. P. – 266-273

Научный руководитель: А.С. Матвеев, к.т.н, доцент, зав. кафедрой АТЭС ЭНИН ТПУ.