

УДК 621.165

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК СУПЕРСВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Б.Ф. Калугин, А.С. Матвеев

Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: matveev@ped.tpu.ru

Современное развитие тепловых электрических станций характеризуется всемерным внедрением новых более совершенных технологий: парогазовых установок (ПГУ), суперсверхкритических параметров пара, топков с циркулирующим кипящим слоем, стремлением внедрить в цикл станции газификацию твердого топлива, совершенствованием тепловых схем, оборудования и других.

На ближайший период ставится задача внедрения ПГУ (к.п.д. их может быть выше 50 процентов) и внедрения суперсверхкритических параметров пара, к.п.д. станций при этом достигает 46 – 47, а в перспективе к 2010 году в странах Европы рассчитывают получить 52 – 55 процентов. В установках обоих типов широкое применение находят турбинные экономайзеры [1], [2], которые при применении суперсверхкритических и закритических параметров пара расположены в газоходах котлов и используются для подогрева потока основного конденсата или питательной воды турбинной установки. В турбинном экономайзере нагревается часть воды, которая идет в обвод какого-либо подогревателя. Затем эта часть воды соединяется с потоком, идущим через подогреватель. Таким образом, пара в отбор турбины идет меньше; та часть его, которая прекратила поступать в подогреватель, будет работать дальше в турбине, вырабатывая дополнительную мощность. При этом удается значительно снизить температуру уходящих газов и повысить к.п.д. котла. Но турбинные экономайзеры снижают эффективность регенеративного подогрева питательной воды, что проявляется на абсолютном внутреннем к.п.д. турбинной установки. В конечном итоге к.п.д. блока повышается из-за повышения к.п.д. котла.

Были проведены исследования по настройке блока К-210-12.75 предвключенной турбиной на суперсверхкритические параметры пара [5], [6], [7]. Эти исследования доказали эффективность настройки и включения в тепловую схему такого блока турбинных экономайзеров. К.П.Д. настроенного и модернизированного блока возрос на 10,985 процента. Дальнейшие исследования по включению турбинных экономайзеров потребовали оптимизации нагрева воды в подогревателе, к которому подключен турбинный экономайзер.

Начальным этапом данного исследования явилось распределение нагревов подогрева питательной воды по подогревателям, на примере турбоустановки К-210-12,75. Тепловая схема турбоустановки была идеализирована: все поверхностные подогреватели заменены на подогреватели смешивающего типа (рис.1). Перекачивающие, конденсатные, питательный насосы условно не показаны.

Разбивка нагревов воды по ступеням проводилась согласно методике, изложенной в [3] и [4]. Процесс расширения пара в турбине строился с использованием относительных внутренних к.п.д. цилиндров реальной турбины. В результате этих расчетов были

определены оптимальные нагревы в подогревателях, энтальпии воды за каждым подогревателем, давления в подогревателях и в отборах.

На основании полученных данных была рассчитана схема такого идеального блока. Абсолютный внутренний к.п.д. турбоустановки получился равным 40,8806 процента.

Следующим этапом исследований явилось определение оптимального нагрева воды в подогревателе смешивающего типа при включении турбинного экономайзера параллельно этому подогревателю (рис. 1). Расчет проводился следующим образом. Нагрев в подогревателе, а, следовательно, и в турбинном экономайзере, принимался в интервале от 60 до 200 кДж/кг. Нагревы в остальных подогревателях оставались неизменными, за исключением вышестоящего подогревателя. То есть любое изменение нагрева в рассматриваемом подогревателе компенсировал вышестоящий подогреватель. Определялась энтальпия за рассматриваемым подогревателем, давление в нем, давление в отборе турбины. Мощность турбинного экономайзера во всех вариантах была постоянна – 5000 кВт. По этим данным рассчитывалась схема турбоустановки, определялся абсолютный внутренний к.п.д. турбоустановки η_i , строились графики зависимости этого к.п.д. от нагрева в подогревателях (рис.2). По максимальному к.п.д. определялся оптимальный нагрев. Значения оптимальных нагревов в подогревателях и соответствующие им максимальные значения к.п.д турбоустановки приведены в таблице 1. Здесь и далее речь идет об абсолютном внутреннем к.п.д. турбоустановки.

Таблица 1.

Подогреватель	П3	П4	П5	П7
Нагрев, определенный по традиционной методике, кДж/кг	132,6	130,2	128	123,5
Оптимальный нагрев в подогревателе, кДж/кг	162	147	149	145
η_i при оптимальном нагреве, %	40,7756	40,7054	40,6429	40,5201

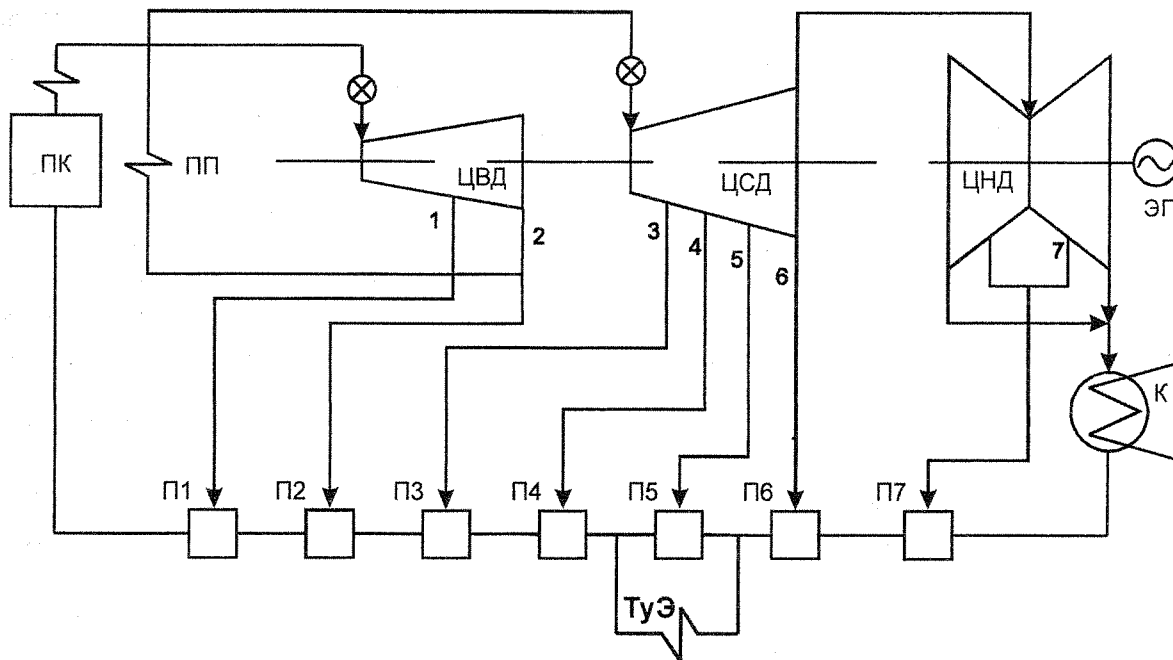


Рис. 1. Принципиальная тепловая схема идеализированной турбоустановки К-210-12,75 с турбинным экономайзером, который включен параллельно подогревателю.

Результаты проделанных вычислений показывают, что при включении турбинного экономайзера параллельно подогревателю оптимальный нагрев в этом подогревателе не может быть найден по методике, приведенной в [3,4].

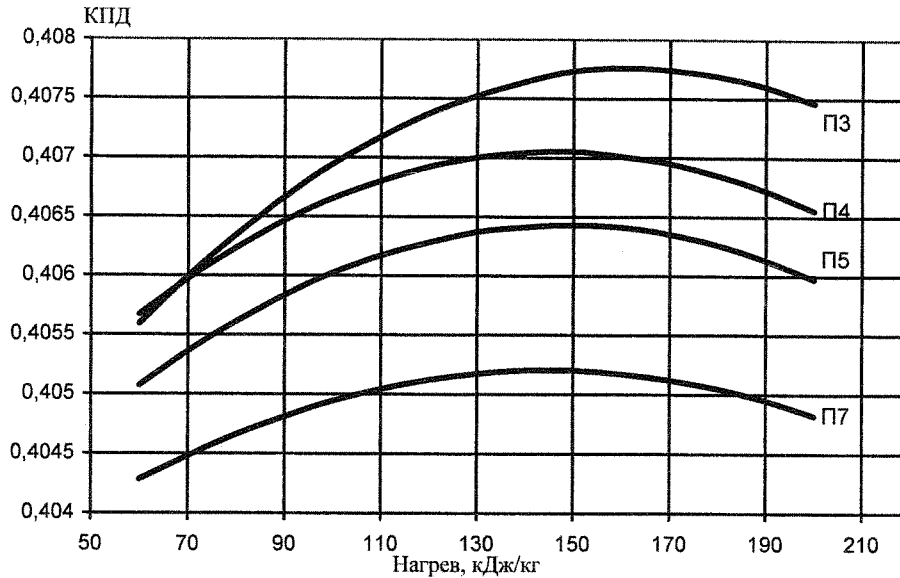


Рис.2. Зависимость к.п.д. идеальной турбоустановки η_i от нагрева в подогревателях при включении турбинного экономайзера параллельно различным подогревателям. Мощность турбинного экономайзера принималась равной 5000 кВт.

После этого были проведены расчеты для определения влияния мощности турбинного экономайзера на оптимальный нагрев воды в подогревателе. Так как наилучшие результаты дает включение турбинного экономайзера параллельно третьему подогревателю, то влияние мощности турбинного экономайзера на оптимальный нагрев воды исследовалось именно на этом подогревателе. На рисунке 3 представлены кривые, построенные при оптимизации величины нагрева воды в третьем подогревателе.

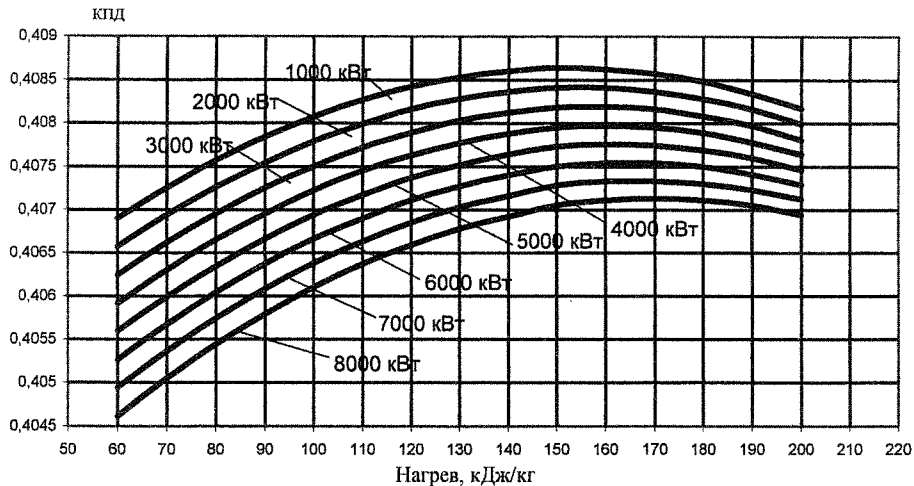


Рис.3. Зависимость η_i турбоустановки от нагрева в третьем подогревателе при включении параллельно ему турбинного экономайзера с различными мощностями.

На рис.4 приведены графики, наглядно демонстрирующие повышенные значения к.п.д. η_i , рассчитанные при оптимальном нагреве в подогревателе (линия 1), по сравнению с к.п.д. турбоустановки при разбивке нагревов по методике [3,4] (линия 2). Следует подчеркнуть, что в обоих видах схем турбинный экономайзер включался в обвод третьего подогревателя.

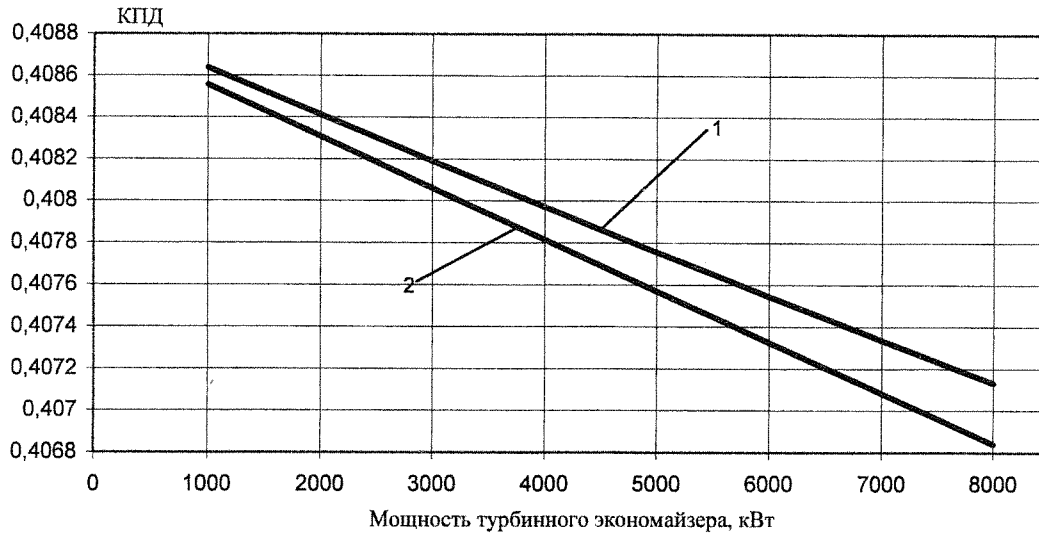


Рис. 4. Зависимость η_i турбоустановки от мощности турбинного экономайзера, включенного параллельно ПЗ.

- 1- η_i при оптимальных значениях нагрева в ПЗ;
- 2- η_i при нагреве воды в ПЗ, рассчитанном по методике [3,4].

Получена формула работы одного килограмма пара, с учетом ухода части его в отборы, на участке двух отсеков турбины, расположенных перед и за отбором того смешивающего регенеративного подогревателя, который включен по потоку основного конденсата параллельно с турбинным экономайзером. Например (см. рис. 1) отсеки между отборами 4, 6.

$$l = \left(\prod_1^{i-2} \frac{q}{q + \tau} \right) \times \frac{q_{i-1}}{q_{i-1} + (M - \tau_i)} \times [h_{i-1} - h_i] + \left[\left(\prod_1^{i-2} \frac{q}{q + \tau} \right) \times \frac{q_{i-1}}{q_i + (M - \tau_i)} \times \frac{q_i}{q_i + \tau_i} + \frac{q_{ТУЭ0}}{q_i + \tau_i} \right] \times (h_i - h_{i+1}),$$

где

i – номер отбора, подогреватель которого обводится через турбинный экономайзер, начало нумерации отборов с головы турбины;

Π – знак произведения;

$q = h - h'$ – количество тепла, отдаваемое паром отбора при конденсации (h – энтальпия пара отбора, h' – энтальпия насыщенной воды, при давлении в подогревателе, подключенном к рассматриваемому отбору);

τ – нагрев в подогревателе, равный разнице энтальпий питательной воды (потока основного конденсата) на выходе из рассматриваемого подогревателя и на входе в него;

$$M = h'_{i-1} - h'_{i+1}$$

$$q_{ТУЭ} = \frac{Q_{ТУЭ}}{G_0} - \text{удельная тепловая нагрузка турбинного экономайзера.}$$

$Q_{ТУЭ}$, кВт – тепловая мощность турбинного экономайзера,
 G_0 , кг/с – расход пара на турбину.

Исследование этой формулы на максимум дает совпадение с расчетами всей схемы по определению наивыгоднейшей величины нагрева воды в i -ом подогревателе, работающем параллельно с турбинным экономайзером. Эта формула дает хорошее совпадение, когда через ТУЭ обводится подогреватель, подключенный к одному из отборов ЦСД, за исключением случая подключения к отбору, расположенному сразу после промперегрева (3 отбор на рис. 1).

Следующим этапом исследований явился расчет схемы реальной турбоустановки К-210-12,75 с регенеративными подогревателями поверхностного типа. Причем в рассматриваемом случае турбинный экономайзер включался параллельно третьему подогревателю высокого давления. То есть, целью данного этапа исследования являлось определение оптимального нагрева в третьем ПВД, а соответственно и давления в третьем отборе турбины.

Тепловая мощность третьего ПВД, до включения турбинного экономайзера параллельно ему, составляла 8100 кВт. В рассматриваемом варианте мощность турбинного экономайзера была принята равной 8000 кВт. То есть подогреватель практически полностью обводился по питательной воде. Результаты данного расчета представлены на рис. 5.

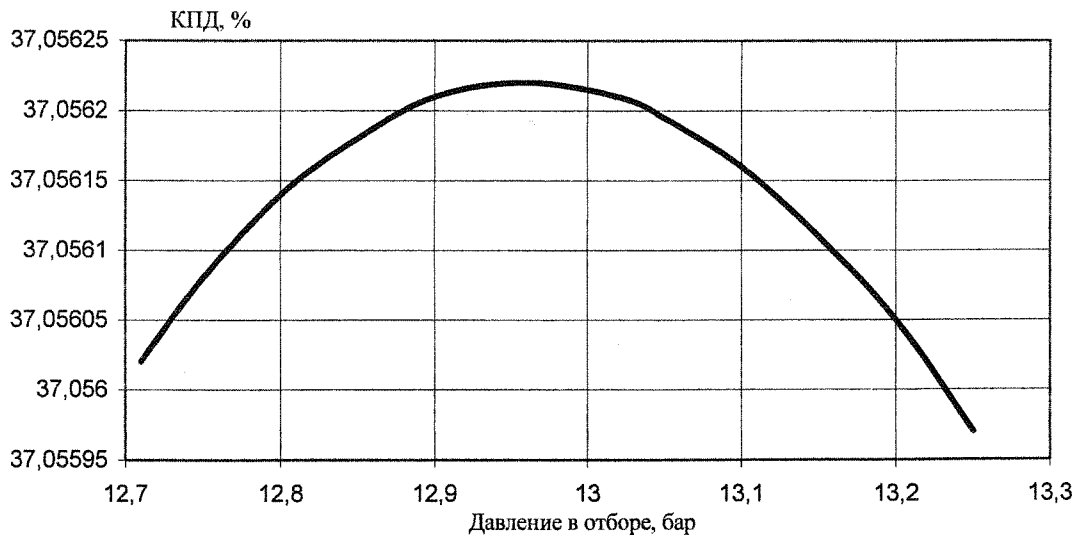


Рис. 5. Зависимость η_i реальной турбоустановки К-210-12,75 от давления в третьем отборе при включении турбинного экономайзера параллельно третьему подогревателю ПЗ.

Оптимальное давление, соответствующее максимальному к.п.д. η_i , составило 12,96 бар, тогда как у турбоустановки К-210-12,75 это давление равно 11,45 бар. То есть при

оптимальном нагреве в обводимом третьем подогревателе, давление в отборе данного подогревателя должно быть выше, чем при традиционном способе распределения величин нагрева воды в подогревателях.

Установлено, что наибольший эффект наблюдается, когда обводимый подогреватель подключен к отбору, находящемуся сразу за промежуточным пароперегревателем: прирост абсолютного внутреннего к.п.д. составляет 0,02 - 0,072 процентов (относительных), в зависимости от тепловой мощности турбинного экономайзера.

Выводы

1. Доказано, что величина нагрева питательной воды (потока основного конденсата) в регенеративном подогревателе, обводимом частью воды через турбинный экономайзер (вода нагревается в последнем), должна быть больше величины нагрева, определенной для этого подогревателя по традиционным методикам, рекомендуемым в литературе по тепловым электростанциям при отсутствии турбинного экономайзера, а также определенной по заводской разбивке.

2. Выявлено, что на величину нагрева воды в подогревателе влияет место расположения подогревателя и мощность турбинного экономайзера, включенного параллельно этому подогревателю.

3. Материал представляет интерес для турбостроительных, котлостроительных заводов, для исследовательских и проектных организаций.

Литература:

1. Некоторые пути совершенствования котла и энергоблока на суперсверхкритические параметры пара/ А.У. Липец, С.Н. Кузнецова, Л.В. Дирина и др. // Теплоэнергетика, 1998, № 6.
2. Дополнительная мощность, получаемая при переводе энергоблоков на схему БПЭ/ В.Г. Овчар, А.У. Липец, С.Н. Кузнецова, Л.В. Дирина // Теплоэнергетика, 1999, № 9.
3. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции: Учебник для вузов / Под ред. В.Я. Гиришфельда. -3-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. Тепловые и атомные электрические станции: Учебник для вузов / Л.С. Стерман, С.А. Тевлин, А.Т. Шарков; Под ред. Л.С. Стермана. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Энергоиздат, 1982.
5. Калугин Б.Ф., Матвеев А.С. Пути повышения эффективности надстройки блока К-210-12,75// Материалы шестой Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: экология, надежность, безопасность», т.1. - Томск: Изд-во ТПУ, 2000.
6. Калугин Б.Ф., Матвеев А.С. Применение турбопривода у питательного насоса при надстройке блока К-210-12,75/ Деп. в ВИНТИ, Том. политехн. ун-т. - Томск, 2000.
7. Калугин Б.Ф., Матвеев А.С. Оценка эффективности некоторых способов повышения к.п.д. при надстройке блока К-210-12,75/ Деп. в ВИНТИ, Том. политехн. ун-т. - Томск, 2000.