

ТЕПЛОТЕХНИКА

Л. Т. КУЛЮЯН, В. Э. МАРУХЯН

УХУДШЕНИЕ ВАКУУМА В КОНТАКТНЫХ КОНДЕНСАТОРАХ
 И РАЗВИТИЕ РЕГЕНЕРАТИВНОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГБЛОКА

На тепловых и атомных электростанциях конденсаторы контактно-го типа (КК) применяются редко и только в сочетании с «сухими» градирнями. Конденсационно-охладительные установки (КОУ) такого типа установлены на Разданской ГРЭС (АрмССР) для энергоблоков К-200-130.

На энерго-экономические показатели этих блоков отрицательное влияние оказывает ухудшение вакуума в КК и перегрев выхлопа в летние жаркие дни [1]. Во избежание этого приходится при температуре воздуха $t_a \leq 23^\circ\text{C}$ ограничить мощность энергоблока (ЭБ) почти до 40% от номинального.

Энерго-экономический ущерб, вызванный ухудшением вакуума и перегревом пара в конденсаторе, можно ориентировочно оценить путем сравнения с показателями работы того же ЭБ с обычной системой охлаждения циркуды или прямыми расчетами по данным эксплуатации энергоблока с КОУ.

Как известно, максимальное давление отработанного пара определяется максимально допустимой температурой конденсации, которая, согласно техническим условиям эксплуатации, не должна превышать для энергоблока с КОУ $t_{\text{макс}} = 55 - 60^\circ\text{C}$. Для диапазона продолжительности стояния температур от 23°C до 35°C , которая охватывает апрель—октябрь месяцы, недовыработка электроэнергии энергоблоком К-200-130 составляет, примерно, 9187,12 МВт. При неизменной выработке электроэнергии потребление топлива в варианте с испарительным охлаждением будет уменьшено (или перерасходовано из-за наличия КОУ) в количестве:

$$\Delta B = \frac{\sum \Delta \mathcal{E} \cdot K_N \cdot 10^6}{\eta_{\text{тп}} \cdot \eta_{\text{ог}} \cdot Q_{\text{н}}^0 \cdot 10^3}, \quad (1)$$

где K_N — коэффициент перерасчета изменения мощности на изменение тепла, принятый по типовой энергетической характеристике турбоагрегата К-200-130 [2]; $\eta_{\text{тп}}$, $\eta_{\text{ог}}$ — КПД теплового потока и парогенераторной установки; $Q_{\text{н}}^0$ — низшая теплота горения условного топлива.

По ориентировочным расчетам ухудшение вакуума в конденсаторе на 1% приводит к увеличению удельного расхода топлива на отпуск электроэнергии порядка $0,5-0,6 \text{ г у. т./кВтч}$ при годовом числе часов использования установленной электрической мощности $n_{\text{н}} = 6000 \text{ ч}$, номинальной величине удельного расхода топлива $b_{\text{н}} = 358 \text{ г/кВтч}$ и допустимой минимальной температуре циркулирующей воды на входе из РОБ — $t_{2\text{мин}}^6 = 15^\circ\text{C}$.

Для компенсации ухудшенного вакуума в КК предложен ряд методов. В [3] рассмотрен метод такой компенсации путем снижения температуры промперегрева, когда для режима компенсации важнее не снижение удельных расходов топлива, а возможное обеспечение располагаемой мощности.

Одним из наиболее эффективных способов компенсации ухудшенного вакуума в КК является сокращение в целесообразных размерах количества выхлопного пара. Допустимое изменение этого количества связано с модернизацией тепловой схемы блока, которую можно осуществить различными путями. Наиболее важным из них является паровой подогрев воздуха и развитие регенеративной системы энергоблока путем увеличения числа подогревателей или наращивания поверхностей нагрева (секции) при их неизменном количестве. В обоих случаях увеличение доли регенеративного пара и соответствующий рост температуры питательной воды должны сопровождаться уменьшением относительной доли конденсационного потока.

Рассмотрим вкратце преимущества и недостатки ряда возможных вариантов развития регенеративной системы этого блока.

1. *Дополнительная ступень регенерации путем соответствующей модернизации турбины.* Хотя высокая энергетическая эффективность не вызывает сомнения, однако реализация такого варианта на действующей установке трудно осуществима.

2. *Дополнительная ступень ПВД на горячей линии промперегрева (ПВД-5д).* Не требуется модернизации турбины и реализация этого варианта не связана с существенными затратами. Так как пар отбирается не из отборов турбины, то жестких ограничений по количеству отбираемого пара нет, оно будет продиктовано требованием ограничения конденсационного потока $D_{\text{к}}$. Задаваясь возможными значениями сокращенного потока конденсата $D_{\text{к}}$, можно пересчитать систему регенерации, полагая, что давление пара перед ПВД-5д будет $P = 1,7 \text{ МПа}$, а температура — $t = 530-540^\circ\text{C}$.

По полученным данным можно определить новые значения суммарного расхода тепла на 1 кг пара как и абсолютного внутреннего КПД турбины. Сравнивая их с соответствующими данными до модернизации, можно ориентировочно оценить ее энергетическую эффективность. Для сокращения потерь в самом ПВД-5д следует предусмотреть парохладитель, где будет реализована теплота перегрева пара после промперегрева.

3. *Увеличение поверхности подогревателя.* Имеется в виду прежде всего те подогреватели, отборы для которых можно увеличить существенным образом. К ним относятся ПВД-6 и ПНД-1 и ПНД-2, от которых дополнительно можно отбирать, соответственно, 10,6, 6,95 и 5,54 кг/с пара. Этим будет достигнуто снижение величины D_0 и подогрева питательной воды на 2–5°C.

4. *Параллельное включение (по парю) дополнительного подогревателя.* Принципиально мало отличается от предыдущего варианта, но связан со значительными дополнительными затратами. Преимущество по сравнению с предыдущим — возможность отключения дополнительного подогревателя.

6. *Параллельное включение дополнительного подогревателя с дросселированием поступающего в нем пара.* Таким путем удается без модификации самой турбины двигаться устройства новой регенеративной ступени. Если, например, дополнительная регенеративная ступень будет включена к ПВД-6, возможности увеличения количества отбираемого пара, у которого наиболее высокие (до 10,3 кг/с), путем дросселирования пара, поступающего в дополнительный подогреватель ПВД-6д (1,7 МПа), получим новую ступень подогрева воды, которая по давлению пара хорошо вписывается в схему ПВД.

6. *Параллельное включение дополнительного подогревателя по пару и питательной воды.* В этом случае схема регенеративного подогревателя питательной воды усложняется без видимой энергетической выгоды.

Из перечисленных вариантов приемлемыми являются только 2, 3, 4. Выбор наиболее оптимального из них должен опираться на соответствующие энерго-экономические расчеты. Отсутствие полной энергетической характеристики турбоагрегата К-200-130 с КОУ в значительной степени затрудняет решение рассматриваемой задачи. Согласно [2] можно считать, что дополнительный подогрев питательной воды за счет установки нового ПВД и путем установки параллельного ПВД с дросселированием пара (варианты 2 и 4) может колебаться в пределах 20–30°C. По тем же данным увеличение подогрева питательной воды приведет к уменьшению удельных тепловых расходов ориентировочно в пределах, указанных в таблице.

Дополнительный подогрев питательной воды может привести к снижению КПД парогенератора, если избыточное низкотемпературное тепло не будет каким-либо образом утилизировано. Увеличение потока пара, направляемого в ПВД, приведет также к снижению мощности турбоагрегата, для компенсации которого потребуется увеличение расхода свежего пара, на ΔD_0 :

$$\Delta D_0 = \frac{\Delta D_{\text{ПВД}} \left[(i_{\text{ПВД}}^{\text{ПВД}} - i_{\text{ПВД}}^{\text{ПВД}}) \tau_{\text{ПВД}}^{\text{ПВД}} + \Delta i_{\text{ПВД}}^{\text{ПВД}} \tau_{\text{ПВД}}^{\text{ПВД}} + \Delta i_{\text{ПВД}}^{\text{ПВД}} \tau_{\text{ПВД}}^{\text{ПВД}} \right]}{h_{\text{П}} \left[M_{\text{ПВД}}^{\text{ПВД}} - x_{\text{ПВД}}^{\text{ПВД}} + \Delta M_{\text{ПВД}}^{\text{ПВД}} - x_{\text{ПВД}}^{\text{ПВД}} + \Delta M_{\text{ПВД}}^{\text{ПВД}} - x_{\text{ПВД}}^{\text{ПВД}} \right]}, \quad (2)$$

где $i_1^{пвд}$, $i_2^{пвд}$ — энтальпия пара в точке дополнительного отбора и в конце ЦВД; β_p — коэффициент, учитывающий экономию тепла в результате дополнительной регенерации (см. табл.); $\beta_{сж}$ — коэффициент, учитывающий снижение потерь в ЦВД из-за уменьшения конденсационного потока.

Таблица

Снижение удельных расходов тепла в % и значения коэффициента K_p (в скобках)

№№ п.п	Дополнительный ПВД после	Дополнительный подогрев	
		20°С	30°С
1	ПВД-5	0,25 (1,025)	0,37 (1,037)
2	ПВД-6	0,2 (1,02)	0,3 (1,03)
3	ПВД-7	0,6 (1,06)	0,9 (1,09)

Уменьшение конденсационного потока можно приблизительно определить по следующему балансовому уравнению:

$$\Delta D_k = D_k - \Delta D_{пвд} + \Delta D_p \quad [кг/с], \quad (3)$$

где D_k , $D_k = D_k - \Delta D_k$ — расход пара в конденсаторе в заданном режиме ухудшенного вакуума и в режиме компенсации.

Решение этой задачи путем установки дополнительной ПВД (варианты 2 и 5) в первом приближении можно выполнить в следующем порядке.

1. Уточнение заданных величин, характеризующих режим перегрева-выхлопа в летний период года: ожидаемые мощности, расход острого пара, давление отработанного пара, температура насыщения и перегрева в конденсаторе и т. д. Дополнительный подогрев питательной воды принимается в двух вариантах:

$$\Delta t_{дп1} = 20^\circ\text{С} \quad \text{и} \quad \Delta t_{дп2} = 30^\circ\text{С}.$$

2. Определение адиабатических перепадов по цилиндрам и соответствующих значений внутренних относительных КПД, $\eta_{от}^{пвд}$, $\eta_{от}^{цсд}$ и $\eta_{от}^{цвд}$.

3. Определение дополнительного расхода пара и ПВД и его энтальпии $\Delta D_{пвд}$ и $i_{пвд}$. Величина $\Delta D_{пвд}$ определяется из балансового уравнения

$$\Delta t_{дп} \cdot D_{пвд} = \Delta D_{пвд} (i_{чд} - i_{чд}) \quad (4)$$

для следующих 6 вариантов:

дополнительно у ПВД-5,	$\Delta t_{дп} = 20$ и 30°С ;
• у ПВД-6,	$\Delta t_{дп} = 20$ и 30°С ;
• у ПВД-7,	$\Delta t_{дп} = 20$ и 30°С .

Здесь t_{ch} и \bar{t}_{ch} — соответственно, энтальпии дополнительного отбираемого пара и температура его конденсата.

4. Коэффициент, учитывающий снижение потерь в ЦНД из-за уменьшения конденсационного потока $\varphi_{пн}$, который определяется по данным натурно-экспериментальных исследований.

5. Определение, согласно (2), дополнительного расхода пара ΔD_0 для компенсации снижения мощности из-за увеличения отбора пара в ПВД.

6. Сокращение конденсационного потока D_k определяется по балансовому уравнению (3). Величина $\varphi_{пн}$ уточняется по найденным значениям D_k .

7. Оценка по данным натурно-экспериментальных исследований, величины давления в конденсаторе в результате снижения конденсационного потока D_k . В пределах рассматриваемых наружных температур воздуха можно ориентировочно принимать, что изменение P_k на 0,001 МПа приводит к изменению мощности энергоблока на $\Delta N \pm \pm 1,9 \text{ МВт}$.

8. Оценка сокращения удельных расходов тепла, q , и топлива b_3 , в результате дополнительной регенерации и снижения давления в конденсаторе P_k .

9. Снижение КПД парогенератора в результате повышения $t_{пн}$ в системе регенерации определяется приближенно по известной зависимости

$$\Delta \eta_{пн} = \frac{D_0 \cdot \Delta t_{пн}}{B \cdot Q_0},$$

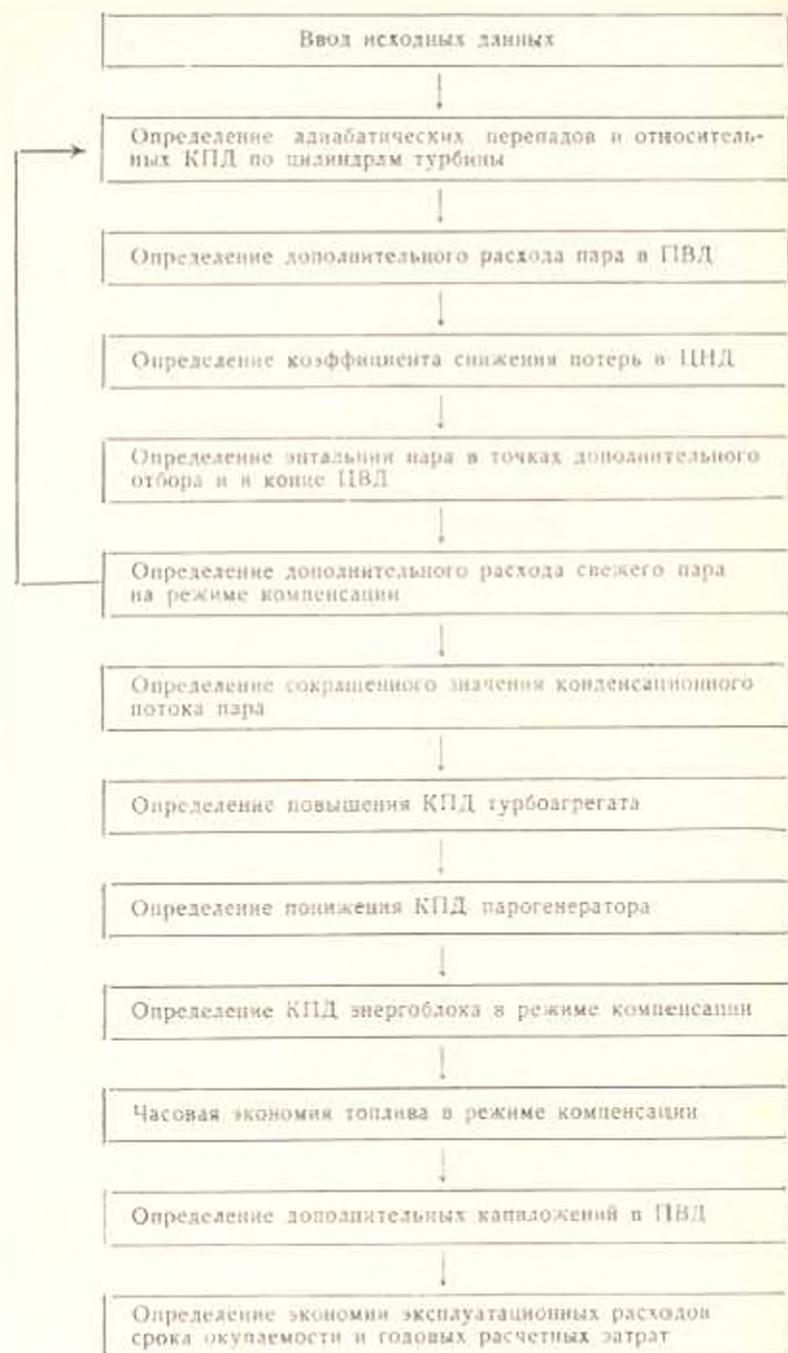
где варьирует только значение $\Delta t_{пн}$.

10. Повариантное определение по известной методике годовых расчетных затрат и эксплуатационных расходов.

11. Выбор оптимального варианта по минимуму расчетных затрат. Эта же программа может быть использована и для вариантов 3 и 4, когда увеличением поверхности нагрева достигается только значительное снижение недогрева конденсата. В этом случае можно принять $\Delta t_{пн} = 3^\circ\text{C}$ и $\Delta t_{пн} = 5^\circ\text{C}$.

Принципиальная блок-схема расчета представлена ниже. Однако ее практическая реализация с помощью ЭВМ потребует уточнения ряда эксплуатационных параметров и данных, применительно конкретно к энергоблоку К-200-130 с КОУ. Для использования этой информации потребуется только предварительная их обработка, с целью получения соответствующих аналитических (вместо графических и табличных) зависимостей.

Логическая схема расчета режима компенсации при ухудшенном вакууме
развитием ПВД



ՆՈՍՐԱՅՄԱՆ ՎԱՏԱՆԱԿ ԿՈՆՏԱԿՏԱՅԻՆ ԿՈՆԳԵՆԵՐԱՏՈՐՆԵՐՈՒՄԻ
ԵՎ ԷՆԵՐԳԱՔՈՆԵՐԻ ՈՒԳԵՆԵՐԱՏԻՎ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԶԱՐԳԱՑՈՒՄԸ

Ս. մ. փ. ո. փ. ս. լ. մ.

Ամառային ժամանակամիջոցում օդային կոնդենսացիոն սեղակայանքներով էներգարկների մոտ նոսրացման վատանալը փոխհատուցելու նպատակով առաջարկվում է կրճատել պոլտրշու կոնդենսացիոն հոսքը սնող ջրի տաքացման սեպեներատիվ համակարգի ղարգացման միջոցով:

Էներգաբաշխի ջերմային սխեմայի մոդիֆիկացման համար մշակված հաշվարկային ծրագիրը հնարավորություն է տալիս բնարել սեպեներատիվ համակարգի ղարգացման օպտիմալ տարրերակր: Այդ ծրագրի պորժնական իրականացումը էՀՄ-ի օդնությամբ պահանջում է էներգաբաշխների բնափորժնական տվյալները նախնական մշակում անալիտիկ կախվածություններ ստանալու նպատակով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мирзаханян О. А. Опыт эксплуатации конденсационно-охлаждательных установок. «Электрические станции», 1976, № 12, с. 68—70.
2. МЭи Э СССР. ГТУ по эксплуатации энергосистем. Типовая энергетическая характеристика тепло турбоагрегата К-200-130 ЛМЗ.
3. Кудоян Л. Т., Марухян В. З., Хиразян Р. С. О путях конденсации отрицательного влияния конденсационно-охлаждательной установки Межвуз, сб. ИТМиивуз. АрмССР, «Энергетика», 1979, с. XIV, вып. III, с. 18—23.