

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНОЕ НАУЧНО ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ ПО НАЛАДКЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И СЕТЕЙ СОИЗТЕХЭНЕРГО

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
ЦИРКУЛЯЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ
ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

МУ 34 70 143 86



СОИЗТЕХЭНЕРГО
Москва 1987

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ ПО НАВАДКЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И СЕТЕЙ СОЮЗТЕХЭНЕРГО

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
ЦПИ КУЛЯЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ
ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

МУ 34-70-143-86

РАЗРАБОТАНО Московским головным предприятием Производственного объединения по наладке, совершенствованию технологий и эксплуатации электростанций и сетей "Советэнерго" и предприятием "Интэнерго"

ИСПОЛНИТЕЛИ В.А.КАЛАТОВ, А.С.ПАВЛОВ, В.И.ГОРБЕНКО,
П.Г.СЯПИН, А.П.СЕРЕДА

УТВЕРЖДЕНО Московским головным предприятием ПО "Советэнерго" 23.07.86

Заместитель главного инженера С.Б.ДСВАН

Срок действия установлен
с 01.01.87 г.
до 01.01.94 г.

Настоящие Методические указания разработаны на основании опыта эксплуатации, наладки и испытаний оборудования к соединенным системам циркуляционного водоснабжения электростанций и в развитие "Методических указаний по определению ограничений установленной мощности тепловых электростанций. МУ 34-70-084-84" (М.: СПО Советэнерго, 1984).

Целью работы является установление единого порядка определения обеспеченности установленной мощностью электростанций системами циркуляционного водоснабжения с разработкой дальнейших мероприятий по устранению ограничений установленной мощности.

Методические указания предназначены для эксплуатационного персонала энергопредприятий, занимающегося планированием располагаемой мощности, и персонала ПО "Советэнерго", участвующего в согласовании располагаемой мощности электростанций, а также для диспетчерских служб ОДУ и ЦДУ.

Методические указания могут быть использованы также проектными организациями для анализа выбираемой системы циркуляционного водоснабжения при проектировании электростанций.

1. ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- D_0 - расход свежего пара на турбину, т/ч;
- D_{kj} - расход пара в конденсатор турбины, т/ч;
- j - порядковый номер турбины;
- $D_{рег}$ - расход пара на регенерацию, т/ч;
- D_T - расход пара из теплофикационных отборов, т/ч, Гкал/ч;
- D_n - расход пара из производственных отборов, т/ч;

- $N_{расп}^3$ - располагаемая мощность электростанции, МВт;
 N_y^3 - установленная мощность электростанции, МВт;
 N_T^p - расчетная мощность турбоагрегата, МВт;
 ΔN_{p_2} - изменение мощности турбины из-за ухудшения вакуума в конденсаторе, МВт;
 Δi_j - разность теплосодержаний отработавшего пара и конденсата, ккал/кг;
 U_0^p - общая тепловая нагрузка циркуляционной системы в расчетном режиме, Мкал/ч;
 $U_{ср}^1$ - средняя удельная тепловая нагрузка градирни, Мкал/(м²·ч);
 $\Delta t_{сб}^{сб}$ - средневзвешенный перепад температур воды (ширина зоны охлаждения) при охлаждении в гидросоохладителях, °С;
 $\Delta t_{кj}$ - нагрев воды в конденсаторе турбины, °С;
 δt_j - температурный напор конденсатора, °С;
 t'' - температура насыщенного пара в конденсаторе, °С;
 $t_2^{сб}$ - средневзвешенная температура воды после охлаждения в гидросоохладителях (на входе в конденсаторы турбины), °С;
 t_{2i} - температура воды после охлаждения в гидросоохладителе, °С;
 t_a - температура воды в естественном водоеме, °С;
 W - расход охлаждающей воды в циркуляционной системе (без учета расхода воды на маслоотсекоохладители), м³/ч;
 W_i^n - проектная гидравлическая нагрузка гидросоохладителя, м³/ч;
 W_i - фактическая гидравлическая нагрузка гидросоохладителя, м³/ч;
 $W_{кj}^n$ - номинальный расход охлаждающей воды через конденсатор турбины, м³/ч;
 $W_{кj}$ - расход охлаждающей воды через конденсатор турбины, м³/ч;
 F_i - площадь орошения градирни, м²;
 ρ - плотность воды, принимаемая в расчетах равной 1 т/м³;

- c - удельная теплоемкость воды, принимаемая в расчетах равной $1 \text{ ккал}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;
 t_b - температура воздуха по сухому термометру, $^\circ\text{C}$;
 φ - относительная влажность воздуха, %;
 λ - коэффициент уменьшения паровой нагрузки конденсатора.

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Ограничение электрической мощности электростанций из-за циркуляционных систем одоснабжения является следствием нарушения ЛТЭ в организации эксплуатации либо недостатков проектирования и монтажа оборудования. В ряде случаев могут наблюдаться ограничения, заложенные в проекте.

2.2. Настоящие Методические указания предназначены для определения расчетным путем ограничений электрической мощности электростанций, возникающих из-за недостатков в работе циркуляционных систем водоснабжения и конденсационных установок.

2.3. Турбины с противодавлением, ухудшенным вакуумом и газовые турбины в Методических указаниях не рассматриваются. При расчете допускается учитывать тепловую нагрузку на гидроохладители от масла-газоохладителей (Л.О) этих турбин.

2.4. В основу расчета заложен принцип проверки температуры охлаждающей воды по двум ограничивающим параметрам:

- максимально допустимой температуре охлаждающей воды, подаваемой на ИГО, которая не должна превышать 33°C (это условие не учитывается, когда ИГО охлаждается водой от постороннего источника);

- максимально допустимому давлению отработавшего пара в конденсаторе турбины p_2 , которое не должно превышать 12 МПа ($0,12 \text{ кгс}/\text{см}^2$).

2.5. Выявленные ограничения электрической мощности турбоагрегатов являются ограничениями, не зависящими от технического состояния котлов и турбоагрегатов.

2.6. При работе с настоящими Методическими указаниями предусматривается использование типовых энергетических характеристик турбоагрегатов и конденсаторов и нормативных показателей работы гидроохладителей.

3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ

3.1. Наибольшие ограничения электрической мощности из-за циркуляционных систем водоснабжения и конденсационных установок, как правило, имеют место в летний период, который и является расчетным. Однако не исключена необходимость оценки ограничений электрической мощности и в другие периоды времени.

3.2. Для определения ограничения электрической мощности необходимы следующие исходные данные:

3.2.1. По турбоагрегатам:

- количество и типы турбоагрегатов на электростанции
- типы конденсаторов на каждом турбоагрегате;
- эксплуатационные значения расходов пара из регулируемых отборов каждого турбоагрегата для среднего дня расчетного периода;
- нормативные энергетические характеристики турбоагрегатов и конденсаторов.

3.2.2. По градирням:

- количество и типы градирен с указанием площади орошения и типа оросителя;
- нормативные (проектные) характеристики градирен (производительность, ширина зоны охлаждения);
- техническое состояние градирен на текущий период.

3.2.3. По водохранилищам-охладителям:

- план водохранилища, его ширина и длина;
- полная площадь водохранилища.

3.2.4. По системе циркуляционного водоснабжения:

- схема циркуляционного водоснабжения с указанием места установки циркуляционных насосов (блочная или с поперечными связями по воде);
- расчетное сопротивление сети;
- количество и тип циркуляционных насосов;
- заводские характеристики циркуляционных насосов или характеристики по данным испытаний, выполненных в соответствии с [8];
- характеристика циркуляционных насосов при параллельной работе (при блочной схеме - подача воды каждого насоса);

- расход охлаждающей воды на МГО и возможность подачи ее от других источников помимо основной циркуляционной системы;
- расход охлаждающей воды в циркуляционной системе водоснабжения, который принимается максимально во всем из условий: характеристики параллельной работы циркуляционных насосов;
- номинального расхода охлаждающей воды в конденсаторы турбин;
- нормативных (проектных) гидравлических нагрузок гидроохладителей.

3.3. Метеорологические условия района расположения электростанции для расчетов по периоду (температура и влажность воздуха, скорость ветра на высоте 2 м от поверхности суши или водной поверхности водохранилища) определяются по данным местных метеослужб или по "Справочнику по климату СССР". Порядок определения исходных метеорологических параметров показан в приложении I

3.4. Температура охлаждающей воды перед конденсаторами определяется по температуре воды на выходе из гидроохладителей с учетом особенностей конкретной циркуляционной системы (подача охлаждающей воды после МГО на гидроохладители или на сторону всасывания циркуляционных насосов).

Температура воды после охлаждения в гидроохладителях определяется по [I].

4. ПОРЯДОК РАСЧЕТА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ЦИРКУЛЯЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ

4.1. Расчет обеспеченности мощности электростанции циркуляционными системами производится

4.1.1. Для ТЭЦ:

- при работе всех турбоагрегатов с номинальной мощностью и эксплуатационных параметрах регулируемых отборов пара расчетного периода;
- для определения возможности форсировки электрической мощности сверх номинальной с пропуском освобождающегося пара производственного и теплофикационного отборов (на время форсировки) в конденсатор - при работе всех турбин в конденсационном режиме с максимальным расходом пара в конденсатор,

4.1.2. Для электростанций с турбинами типа К - при работе всех турбоагрегатов с номинальной мощностью.

4.2. Расчет производится в следующем порядке:

4.2.1. При эксплуатационных расходах пара из регулируемых отборов для расчетной электрической мощности по диаграмме режимов турбины определяется расход свежего пара D_0 на соответствующую турбину.

4.2.2. Расход пара на регенерацию каждой турбины определяется по характеристикам турбин или по формуле

$$D_{рег} = (0,2 + 0,3) D_0 \quad (4.1)$$

4.2.3. Для расчетного режима определяется расход пара в конденсатор каждой турбины по формуле

$$D_k^p = D_0 - D_n - D_T - D_{рег} \quad (4.2)$$

4.2.4. Из условий п.3.2.4 определяется расход охлаждающей воды в циркуляционной системе.

4.2.5. Распределяется гидравлическая нагрузка на гидроклапаны пропорционально их электрической проводимости:

$$W_i = \frac{W_i^n}{\sum W_i^n} W \quad (4.3)$$

4.2.6. Производится распределение расходов охлаждающей воды между конденсаторами:

- для циркуляционных систем с поперечными связями - пропорционально номинальному расходу воды в конденсаторы:

$$W_{kj} = \frac{W_{kj}^H}{\sum W_{kj}^H} W; \quad (4.4)$$

- для блочной схемы - пропорционально подаче циркуляционных насосов.

4.2.7. Определяется тепловая нагрузка циркуляционной системы расчетного режима:

$$U_0^p = \sum_{j=1}^n (D_{kj}^p \Delta t_j) \quad (4.5)$$

4.2.8. Определяется удельная тепловая нагрузка на гидроохладители расчетного режима:

- для градирен:

$$U_{ср}^p = \frac{U_0^p}{\sum F_t}; \quad (4.6)$$

$$\Delta t^{св} = \frac{U_{ср}^p \sum F_t}{\rho c W}, \quad (4.7)$$

- для водохранилищ-охладителей:

$$\Delta t^{св} = \frac{U_0^p}{\rho c W} \quad (4.8)$$

По полученному значению удельной тепловой нагрузки расчетного режима:

для градирен - при нескольких значениях температуры воздуха θ и влажности φ расчетного периода по номограммам [I] для каждого типа градирен находят соответствующие значения t_{2l} ,

для водохранилищ-охладителей - при нескольких значениях температуры воды в естественном водоеме t_e по номограмме [I] находят соответствующие значения t_{2l} .

Таким же образом находят соответствующие значения t_{2l} еще для нескольких произвольных значений удельной тепловой нагрузки, меньших расчетной.

4.2.9. По полученным значениям t_{2l} для каждого значения удельной тепловой нагрузки определяется средневзвешенная температура воды после гидроохладителей (перед конденсаторами)

$$t_2^{св} = \frac{\sum (t_{2l} W_t)}{W} \quad (4.9)$$

Все полученные значения сводятся в таблицу.

4.2.10. По полученным значениям температуры охлаждающей воды при фиксированных значениях удельной тепловой нагрузки и температуры воздуха строятся графики $t_2^{cb} = f(u_{cp}, \theta)$ или $t_2^{cb} = f(\Delta t^{cb}, t_e)$.

4.2.11. Проверяются условия максимально допустимых значений температуры охлаждающей воды, при превышении которых начинаются ограничения и строится расчетная линия ограничения нагрузки:

- по условиям охлаждения МГО $t_2^{cb} \leq 33^\circ\text{C}$;
- по условиям предельно допустимого давления отработавшего пара в конденсаторах турбин $p_2 = 12 \text{ МПа (0,12 кгс/см}^2\text{)}, t'' = 49,1^\circ\text{C}$.

Для построения линии ограничения по условиям достижения предельно допустимого давления отработавшего пара необходимо задать несколько значений температуры охлаждающей воды после гидроохладителей (перед конденсаторами):

$$t_2 = t_2^{cb}$$

При заданных значениях t_2^{cb} , расчетном значении D_{kj}^p и известном уже W_{kj} определяются значения температуры насыщенного пара в конденсаторе каждой турбины по формуле

$$t_j'' = t_2^{cb} + \Delta t_{kj}^p + \delta t_j^p \quad (4.10)$$

где
$$\Delta t_{kj}^p = \frac{D_{kj}^p \Delta t_j}{W_{kj}}; \quad (4.11)$$

δt_j^p - температурный напор в конденсаторе определяется по нормативным характеристикам конденсаторов при расчетном значении D_{kj}^p и для каждого значения заданной t_2^{cb} . В случае отсутствия нормативных характеристик допускается определение δt_j^p по заводским характеристикам.

Графически определяются значения температуры охлаждающей воды t_2^{cb} для каждой турбины, при которой t_j'' достигнет предельного значения, равного $49,1^\circ\text{C}$. Это будет граничная точка (точка перегиба), при превышении значения температуры в которой необходимо снижать нагрузку турбины.

Для определения значений температуры точки перегиба каждой турбины строится график $t'' = f(t_2^{cb})$, где в качестве граничного значения для всех турбин является $t''_H = 49,1^\circ\text{C}$. Допустимое значение расхода пара в конденсатор каждой турбины в точках перегиба определяется с помощью коэффициента уменьшения паровой нагрузки конденсатора, который определяется по формуле

$$\mathcal{K}_j = \frac{t''_H - t_2^{cb}}{t''_j - t_2^{cb}} \quad (4.12)$$

В соответствии с найденными значениями \mathcal{K}_j определяются расходы пара в конденсаторы каждой турбины для точек перегиба:

$$\text{при } \mathcal{K}_j \geq 1 \quad D_{kj} = D_{kj}^p, \quad \text{при } \mathcal{K}_j < 1 \quad D_{kj} = \mathcal{K}_j D_{kj}^p \quad (4.13)$$

При $\mathcal{K}_j = 1$ турбина работает в граничном режиме, т.е. в точке перегиба.

По полученным значениям D_{kj} в точках перегиба определяются значения удаленной тепловой нагрузки гидроохладителей для соответствующих значений t_2^{cb} :

- для циркуляционных систем с градирнями

$$u_{cp}^t = \frac{\sum D_{kj} \Delta t_j}{\sum F_i}$$

- для циркуляционных систем с водохранилищем-охладителем

$$\Delta t^{cb} = \frac{\sum D_{kj} \Delta t_j}{W}$$

Полученные значения u_{cp}^t и Δt^{cb} откладываются соответственно на графиках $t_2^{cb} = f(u_{cp}, \theta)$ или $t_2^{cb} = f(\Delta t, t_2^{cb})$, на которых наносится также линия ограничения мощности по условиям предела допустимого давления отработавшего пара до пересечения с линией ограничения по $t_2^{cb} = 33^\circ\text{C}$. Таким образом определяется мощность расчетной линии ограничения.

4.2.12. На графике $t_2^{cb} = f(u_{cp}, \beta)$ или $t_2^{cb} = f(\Delta t, t_e)$ методом интерполяции определяются значения β или t_e , проходящие через каждую точку перегиба.

Расход пара в конденсатор каждой турбины для этих точек уже известен из формулы (4.2). Определение расхода пара для u_{cp} градиен или для Δt^{cb} воздухоохладителей, лежащего ниже точки пересечения линии β_2 с линией 33°C , при увеличении значений β или t_e производится по формулам:

$$D_{Kj} = \frac{u_{cp}^c}{u_{cp}^a} D_{Kj}^a; \quad (4.14)$$

$$D_{Kj} = \frac{\Delta t_l^{cb}}{\Delta t_a^{cb}} D_{Kj}^a \quad \text{или} \quad D_{Kj} = \frac{W \Delta t}{\Delta l}, \quad (4.15)$$

где D_{Kj}^a - расход пара в конденсатор турбины, определенный в точке пересечения линии β_2 с линией 33°C ;

$u_{cp}^a, \Delta t_a^{cb}$ - средняя удельная тепловая нагрузка градирни, воздухоохладителя, соответствующая D_{Kj}^a

4.2.13. По известным уже значениям D_{Kj} определяются соответствующие им значения расходов свежего пара D_{uj} каждой турбины по формуле

$$D_{oj} = D_\tau + D_n + D_k + D_{рег} \quad (4.16)$$

или

$$D_{oj} = \frac{D_\tau + D_n + D_k}{0,7-0,8}, \quad (4.17)$$

где 0,7 и 0,8 - коэффициенты, учитывающие расходы пара регенеративных отборов, соответственно для турбин мощностью свыше 100 и до 100 кВт включительно.

4.2.14. По типовым энергетическим характеристикам турбоагрегатор для полученных значений расходов свежего пара на турбину определяются соответствующие им значения мощности.

В соответствии с найденными значениями мощности при фиксированных значениях температуры окружающего воздуха или температуры воды в естественном водоеме строится график располагаемой мощности электростанции в координатах: $N_{расп}^3$ - ордината, θ или t_e - абсцисса.

При построении окончательного графика $N_{расп}^3 = f(\theta)$ или $N_{расп}^3 = f(t_e)$ учитываются поправки ΔN_{p_1} на изменение давления пара в конденсаторе, определяемые по нормативным характеристикам конденсаторов. В случае отсутствия нормативных характеристик допускается пользоваться следующей зависимостью: изменение температуры охлаждающей воды перед конденсаторами турбин на $\pm 1^\circ\text{C}$ по сравнению с температурой, установленной заводом-изготовителем, соответствует изменению мощности турбины на $\pm 0,4\%$ расчетной мощности турбины. В особых случаях, обусловленных режимом энергопотребления, расчет производится без учета поправки ΔN_{p_2} .

Получены определения обеспеченности электрической мощности на электростанциях приведены в приложении 2, а использование расчетов и графиков $N_{расп}^3 = f(\theta)$ и $N_{расп}^3 = f(t_e)$ при планировании располагаемой мощности электростанций и оперативной работе диспетчерских служб в приложениях 3 и 4.

Приложение I

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГРАФИКА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ МОЩНОСТИ

I. Для расчета температуры воды на выходе из градирни необходимы следующие метеорологические параметры.

- температура воздуха по сухому термометру θ , $^\circ\text{C}$,
- относительная влажность воздуха φ , %;
- скорость ветра на высоте 2 м над поверхностью земли ω_2 , м/с.

Для расчета температуры охлаждающей воды в водокружильно-охладителе необходимы следующие метеорологические параметры:

- естественная температура воды в неподогреваемом водоеме t_e , °C;
- скорость ветра на высоте 2 м над водной поверхностью водохранилища $(\omega)_2$, м/с.

2. Наиболее полно метеорологические параметры приводятся в "Справочнике по климату СССР", издаваемом Гидрометеозадатом в 5 частях по каждому из 34 выпусков с указанием областей и республик, охарактеризованных в выпуске.

Метеорологические параметры, необходимые для расчета температуры воды после охлаждения, выбираются для ближайшей к ТЭС метеорологической станции по следующим таблицам Справочника:

- табл. I "Средняя месячная и годовая температура воздуха" (ч. 2);
- табл. 6 "Число дней со средней суточной температурой воздуха в различных пределах" (ч. 2);
- табл. 12 "Абсолютный максимум температуры воздуха" (ч. 2);
- табл. 3 "Средняя месячная и годовая скорость ветра" (ч. 3);
- табл. I "Средняя месячная и годовая упругость водяного пара" (ч. 4).

Данные этих таблиц могут быть представлены электростанции по их запросу учреждениями гидрометеослужбы (областными гидрометеобюро, гидрометеосерваторией и др.), которые в обязательном порядке имеют выпуск указанного Справочника для своей области.

3. Пример определения метеорологических параметров района г. Минска: из соответствующих таблиц Справочника выбираются среднемесячные значения температуры воздуха θ , упругости водяного пара e и абсолютный максимум температуры воздуха θ_{max} , обозначаемые в Справочнике соответственно t_e , t_{max} , значения которых приведены в табл. III. I по месяцам

Т а б л и ц а III. I

Параметр	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
θ °C	-6,9	-6,4	-2,2	5,3	12,6	16,6	17,8	16,2	11,6	6,6	0,0	-4,6
e ммБ	3,6	3,6	4,3	6,8	9,5	12,5	14,4	14,0	11,0	7,8	5,9	4,4
P_{max} °C	6,0	8,0	19,0	26	31	33	35	34	29	25	16	10,

Соответствующие каждому месяцу параметры θ и e наносятся на график и соединяются линиями при возрастании и понижении температуры воздуха, затем проводится линия средних значений (рис. III.1).

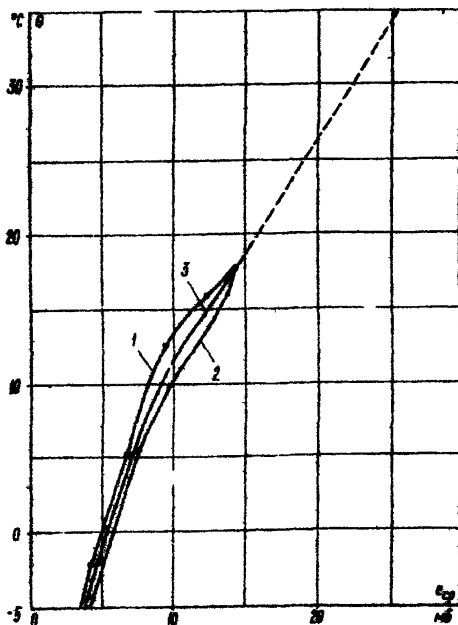


Рис. III.1. Зависимость уругости водяного пара e от температуры воздуха θ для метеостанции "Минск-обсерватория":

1 - январь-июль; 2 - август-декабрь; 3 - средние значения января-декабря; \oplus , \ominus - справочное значение θ и e соответственно для марта-июля и августа-декабря

Для температур воздуха, превышающих их среднемесячные значения, зависимость $e_{op}-\theta$ экстраполируется до θ_{max}

Для построения графика обеспечения мощности электростанции в неотапительный период циркуляционной системой водоснабже-

ния с градирнями задается ряд значений θ , для каждого из которых определяется относительная влажность φ по формуле

$$\varphi = \frac{e_{cp}}{E} 100\%,$$

где e_{cp} - среднее значение упругости водяного пара, определяемое по рис. П.1.1;

E - максимальная упругость водяного пара, определяемая по табл. П.1.2.

Ниже приведены результаты исходных расчетов функций θ и φ

θ °С	5	10	15	20	25	30	35
e мБ	7,1	9,1	12,5	16,0	19,3	22,5	25,6
E мБ	9,7	12,3	17,1	23,4	31,7	42,5	56,3
φ %	82	74	73	69	61	53	45

Для построения графиков обеспеченности мощности электростанции циркуляционной системой водоснабжения с водохранилищем задается ряд значений естественной температуры воды неподогреваемого водоема.

Задаваемые значения t_e должны схватывать весь диапазон температур воды для расчетного периода, включая жаркую пят дневку. Значения можно принимать по литературным источникам [4,6,7] или по данным наблюдений ближайшей к электростанции гидрометеорологической службы.

Расчетная скорость ветра определяется следующим образом: из табл.3 Справочника (ч.3) выбирается среднемесячная скорость ветра на высоте флага $\omega_{ф}$ для каждого месяца неаотопительного периода. Для метеостанции "Минск-обсерватория" высота флага 16 м. Для расчета температуры воды после охлаждения в гидроохладителях эту скорость необходимо привести к скорости ветра на высоте 2 м для градирен - от поверхности суши, для водохранилищ - от поверхности воды.

Т а б л и ц а ПЛ.2

Температура, °С	Максимальная упругость водяного пара E, мБ									
	Температура (десятичные доли градуса), °С									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
5	8,7	8,8	8,9	8,9	9,0	9,0	9,1	9,2	9,2	9,3
6	9,4	9,4	9,5	9,5	9,6	9,7	9,7	9,8	9,9	10,0
7	10,0	10,1	10,2	10,2	10,3	10,4	10,4	10,5	10,6	10,6
8	10,7	10,8	10,9	11,0	11,0	11,1	11,2	11,2	11,3	11,4
9	11,5	11,6	11,6	11,7	11,8	11,9	12,0	12,0	12,1	12,2
10	12,3	12,4	12,4	12,5	12,6	12,7	12,8	12,9	13,0	13,0
11	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,8	13,9
12	14,0	14,1	14,2	14,3	14,4	14,5	14,6	14,7	14,8	14,9
13	15,0	15,1	15,2	15,3	15,4	15,5	15,6	15,7	15,8	15,9
14	16,0	16,1	16,2	16,3	16,4	16,5	16,6	16,7	16,8	17,0
15	17,1	17,2	17,3	17,4	17,5	17,6	17,7	17,8	18,0	18,1
16	18,2	18,3	18,4	18,5	18,7	18,8	18,9	19,0	19,1	19,3
17	19,4	19,5	19,6	19,8	19,9	20,0	20,1	20,3	20,4	20,5
18	20,6	20,8	20,9	21,0	21,2	21,3	21,4	21,6	21,7	21,8
19	22,0	22,1	22,3	22,4	22,5	22,7	22,8	23,0	23,1	23,2
20	23,4	23,5	23,7	23,8	24,0	24,1	24,3	24,4	24,6	24,7
21	24,9	25,0	25,2	25,4	25,5	25,7	25,8	26,0	26,1	26,3
22	26,5	26,6	26,8	26,9	27,1	27,3	27,4	27,6	27,8	27,9
23	28,1	28,3	28,5	28,6	28,8	29,0	29,2	29,3	29,5	29,7
24	29,9	30,0	30,2	30,4	30,6	30,8	31,0	31,1	31,3	31,5
25	31,7	31,9	32,1	32,3	32,5	32,7	32,9	33,0	33,2	33,4
26	33,6	33,8	34,0	34,2	34,4	34,6	34,9	35,1	35,3	35,5
27	35,7	35,9	36,1	36,3	36,5	36,8	37,0	37,2	37,4	37,6
28	37,8	38,1	38,3	38,5	38,7	39,0	39,2	39,4	39,6	39,9
29	40,1	40,3	40,6	40,8	41,0	41,3	41,5	41,8	42,0	42,2
30	42,5	42,7	43,0	43,2	43,5	43,7	44,0	44,2	44,5	44,7
31	45,0	45,2	45,5	45,8	46,0	46,3	46,5	46,8	47,1	47,3
32	47,6	47,9	48,1	48,4	48,7	49,0	49,2	49,5	49,8	50,1
33	50,4	50,6	50,9	51,2	51,5	51,8	52,1	52,4	52,7	53,0
34	53,3	53,6	53,8	54,2	54,5	54,8	55,1	55,4	55,7	56,0
35	56,3	56,6	56,9	57,2	57,6	57,9	58,2	58,5	58,8	59,2
36	59,5	59,8	60,1	60,5	60,8	61,1	61,5	61,8	62,2	62,5
37	62,8	63,2	63,5	63,9	64,2	64,6	64,9	65,3	65,6	66,0
38	66,3	66,7	67,0	67,4	67,8	68,2	68,5	68,9	69,3	69,6
39	70,0	70,4	70,8	71,1	71,5	71,9	72,3	72,7	73,1	73,5
40	73,6	74,2	74,6	75,0	75,4	75,8	76,2	76,6	77,1	77,5

Расчетная скорость ветра на высоте 2 м приближенно определяется по формуле

$$\omega_2 = K\omega_{\text{ф}}$$

где K - коэффициент приведения на рис.П1.2

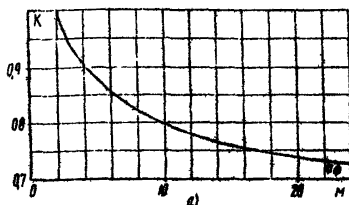
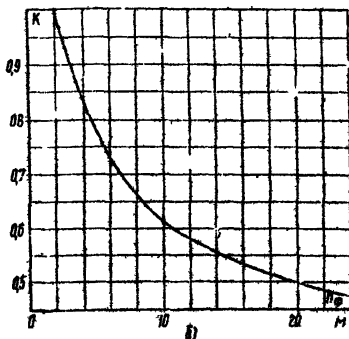


Рис.П1.2. Зависимость коэффициента K от высоты флага h_f :

a - для приведения значения скорости ветра на высоте флага K скорости ветра на высоте 2 м от поверхности зеркала воды водохранилища; b - то же от поверхности земли



Для флага высотой 16 м K равен 0,755 и 0,535 соответственно при расчете скорости ветра над водой и над сушей.

Расчет скоростей ветра приведен в табл.П1.3.

Т а б л и ц а П 1.3

Скорость ветра, м/с	K	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
$\omega_{\text{ф}}$	-	4,4	4,1	3,9	3,6	3,5	3,7	4,3
ω_2	0,755	3,3	3,1	2,4	2,7	2,6	2,8	3,2
ω_2	0,535	2,4	2,2	2,1	1,9	1,9	2,0	2,3

Приложение 2

ПРИМЕРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ

Пример I. ТЭЦ с градирнями

Необходимо определить располагаемую мощность ТЭЦ с градирнями для летнего периода эксплуатации.

Исходные данные

Район расположения ТЭЦ - Московская область.

Расчетная схема циркуляционного водоснабжения с поперечными связями (циркуляционные насосы установлены в центральной насосной).

На ТЭЦ установлены:

- турбина №1 П1-136/166-130/15 ТМЗ с конденсатором К-2-6000-1,

$W_K^H = 12400 \text{ м}^3/\text{ч}$;

- турбины №2 и 3 ПТ-80/100-130/13 ЛМЗ с конденсатором

80-МДБ-1, $W_K^H = 8000 \text{ м}^3/\text{ч}$,

- циркуляционные насосы 2х40 В-16а суммарной подачей $25200 \text{ м}^3/\text{ч}$ при давлении 24 м вод.ст. Расход охлаждающей воды через конденсаторы $22000 \text{ м}^3/\text{ч}$ через МГО $3200 \text{ м}^3/\text{ч}$ с возвратом на сторону всасывания циркуляционных насосов.

Охлаждение циркуляционной воды производится двумя типовыми башенными пленочными градирнями с напорным водораспределением и двухступенными асбоцементными оросителями:

- градирня №1 площадью орошения $F_1 = 1520 \text{ м}^2$ с расстоянием между асбоцементными листами оросителя 25 мм рассчитана на охлаждение $10500 \text{ м}^3/\text{ч}$ воды;

- градирня №2 площадью орошения $F_2 = 2100 \text{ м}^2$ с расстоянием между асбоцементными листами оросителя 20 мм рассчитана на охлаждение $14700 \text{ м}^3/\text{ч}$ воды.

Расчетный расход охлаждающей воды в циркуляционной системе принимается из условия работы циркуляционных насосов равным $22000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Градирни находятся в хорошем состоянии, их охлаждающая эффективность соответствует нормативным характеристикам.

Расчетная электрическая нагрузка и расход свежего пара на турбину № I 135 МВт и 580 т/ч; № 2 - 80 МВт и 310 т/ч; № 3 - 80 МВт и 358 т/ч.

Средние летние нагрузки регулируемых отборов и отбор на регенерацию турбины:

	Q_7 , Гкал/ч	D_7 , т/ч	D_7 , т/ч	$D_{рег}$, т/ч
№ I	30	58	120	172
№ 2	-	-	-	90
№ 3	30	58	50	107

Расчет производится в следующем порядке:

- определяется расход пара в конденсатор $D_{кж}$ в соответствии с формулой (4.2), при расчетной электрической нагрузке и эвапуационных вычислениях регулируемых отборов турбины № I - 230 т/ч; № 2 - 220; № 3 - 143 т/ч;

- производится распределение суммарного расхода циркуляционной воды $W_{кж}$ между конденсаторами в соответствии с формулой (4.4) для турбины № I - 9606 м³/ч; № 2 - 6197; № 3 - 6197 м³/ч;

- гидравлическая нагрузка на градирни $W_г$ распределяется в соответствии с формулой (4.5):

$$\text{№ I} - 9237 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$\text{№ 2} - 12762 \text{ м}^3/\text{ч};$$

- тепловая нагрузка циркуляционной системы расчетного режима определяется по формуле (4.5):

$$U_o^p = 230 \cdot 550 + 220 \cdot 536 + 143 \cdot 550 = 322650 \text{ Мкал/ч};$$

- определяется средняя удельная тепловая нагрузка на градирни по формуле (4.6) и перепад температур воды в градирнях по формуле (4.7) для расчетного режима:

$$u_{ср}^p = \frac{322650}{3620} = 89,2 \text{ Мкал}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2);$$

$$\Delta t^{св} = 89,2 \cdot \frac{3620}{22000} = 14,7^\circ\text{C};$$

- по номограммам [1] определяется температура охлаждающей воды t_{21} и $t_2^{св}$ (для расчетной и нескольких произвольных удель-

ных тепловых нагрузок, меньших расчетной) и перепад температур $\Delta t^{св}$ при средней скорости ветра 3 м/с. Результаты сведены в табл. П2.1;

Т а б л и ц а П 2 . 1

u м/сек/(ч.м ²)	$\Delta t^{св}$ °С	θ °С	φ %	Градиента	Градиента	$t_2^{св}$ °С
				№ 1 t_{21} °С	№ 2 t_{22} °С	
60	9,6	4	86	16,8	19,2	18,1
		5	80	19,1	21,7	20,6
		10	76	22,1	23,5	22,8
		15	71	24,6	25,9	25,4
		20	65	27,4	28,2	27,9
		25	56	29,7	30,7	30,3
		30	47	32,1	32,9	32,6
70	11,2	4	86	18,1	19,9	19,2
		5	80	20,3	22,4	21,6
		10	76	23,2	24,4	23,9
		15	71	25,6	26,9	25,4
		20	65	28,1	29,3	28,8
		25	56	30,6	31,4	31,1
		30	47	32,8	33,7	33,3
80	12,8	4	86	19,3	21,0 ¹	20,3
		5	80	21,5	23,4	22,6
		10	76	24,0	25,5	25,0
		15	71	26,5	28,1	27,3
		20	65	28,9	30,3	29,7
		25	56	31,0	32,5	31,8
		30	47	33,4	34,5	34,0
89,2	14,7	4	86	21,8	22,2	21,2
		5	80	22,6	24,4	23,6
		10	76	25,0	25,4	25,8
		15	71	27,2	28,1	28,0
		20	65	29,5	31,0	30,3
		25	56	31,3	32,9	32,9
		30	47	33,7	34,8	34,3

- по полученным значениям t_2^{cb} строится график $t_2^{cb} = f(u_{cp}, \theta)$ (рис. П2.1).

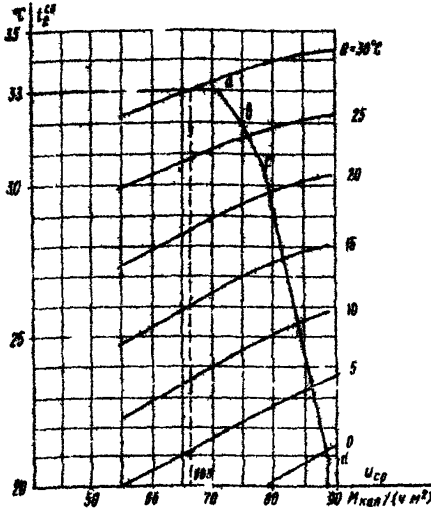


Рис. П2.1. Зависимость температуры охлаждающей воды от средней удельной тепловой нагрузки градирен и температуры воздуха для ТЭЦ с циркуляционной системой с градирнями:

A - точки начала изменения нагрузки турбин по условиям охлаждения МГО; B, C, D - точки начала изменения нагрузки турбин (точки перегиба) соответственно 2, 3, 4

Расчетная линия ограничения строится следующим образом:

- устанавливается два предела линии ограничения: по условиям охлаждения МГО независимо от нагрузки $t_2^{cb} \leq 35^\circ\text{C}$ и по предельно допустимому давлению насыщенного пара в конденсаторе $p_2 = 12 \text{ МПа}$ ($0,17 \text{ кгс/см}^2$); $t_H'' = 49,1^\circ\text{C}$;

- задаются несколько значений температуры охлаждающей воды t_{21}^{cb} : 33°C , 29°C ; 25°C ; 20°C ;

- по формуле (4.11) вычисляется значение нагрева воды в конденсаторе каждой турбины:

$$\Delta t_{K1}^p = \frac{230 \cdot 550}{9606} = 13,2^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{K2}^p = \frac{220 \cdot 535}{6197} = 19,0^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{K3}^p = \frac{143 \cdot 550}{6197} = 12,7^\circ\text{C};$$

- при расчетном значении D_{Kj}^p , известном значении W_{Kj} и при каждом из заданных значений t_{21}^{cb} по нормативной характеристике конденсатора определяется соответствующее значение температурного напора δt_j^p ;

- по формуле (4.10) определяется значение температуры насыщенного пара для каждой турбины при каждом из заданных значений

температуры охлаждающей воды. Все полученные значения сводятся в табл.П2.2;

Т а б л и ц а П 2.2

t_2^{cb} °C	№ 1			№ 2			№ 3		
	$\Delta t_{кв}^p$ °C	δt_1^p °C	t'' °C	$\Delta t_{кв}^p$ °C	δt_1^p °C	t'' °C	$\Delta t_{кв}^p$ °C	δt_1^p °C	t'' °C
33,0	13,2	3,8	50,0	19,6	8,6	60,5	12,7	6,7	51,4
29,0		4,0	46,2		8,8	56,8		5,9	47,6
26,0		4,2	42,4		9,0	53,0		6,1	43,8
20,0		4,5	37,7		9,3	48,3		6,3	39,0

- по значениям t'' из табл.П2.2 при соответствующих значениях t_2^{cb} для каждой турбины строится график $t'' = f(t_2^{cb})$ (рис.П2.2) и графически определяется значение t_2^{cb} , соответствующее температуре насыщенного пара $t'' = 49,1^\circ\text{C}$. Полученные значения t_2^{cb} являются точками начала изменения нагрузки соответствующей турбины, т.е. точками перегиба, и равны соответственно для турбин № 1, 2, 3 32,0; 21,0; 30,5 °C (на рис.П2.1 точки β, γ, d). Последней точкой перегиба для всех турбин является точка δ на рис.П2.1 в месте пересечения линии $t_2^{cb} = 33^\circ\text{C}$ с линией предельного давления отработавшего пара,

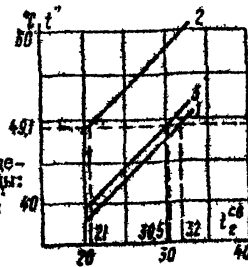


Рис.П2.2. Зависимость температуры насыщенного пара от температуры охлаждающей воды:

1, 2, 3 - соответственно для турбин № 1, 2, 3

- для данных значений температур точек перегиба при расчетном значении \bar{D}_{Kj}^p и известном W_{Kj} определяются соответствующие значения t'' каждой турбины.

Значения t''_{Kj} уже вычислены ранее (см. табл. П2.2).

Значения δt_j^p при соответствующих значениях t_2^{cB} определяются по нормальным характеристикам конденсаторов.

Все полученные значения сводятся в табл. П2.3.

Таблица П2.3

t_2^{cB} , °C	№ 1			№ 2			№ 3		
	Δt_{K1}^p , °C	δt_1^p , °C	t_1'' , °C	Δt_{K2}^p , °C	δt_2^p , °C	t_2'' , °C	Δt_{K3}^p , °C	δt_3^p , °C	t_3'' , °C
33,0		3,80	50,0		8,60	60,60		5,7	51,4
32,0	13,2	3,90	49,10	19,0	8,63	60,13	12,7	5,8	50,6
30,5		3,93	47,63		8,73	58,23		5,9	49,1
21,0		4,44	38,64		9,10	49,10		6,3	40,0

По формуле (4.12) вычисляется коэффициент уменьшения паровой нагрузки конденсатора каждой турбины для температур точек перегиба:

$$\kappa_1 = \frac{49,1 - 33}{50 - 33} = 0,947; \quad \kappa_2 = \frac{49,1 - 33}{60,6 - 33} = 0,583;$$

$$\kappa_3 = \frac{49,1 - 33}{51,4 - 33} = 0,875 \text{ и т.д.}$$

В соответствии с вычисленными значениями κ_j по формуле (4.13) определяются расходы пара в конденсаторы турбин и по формуле (4.6) средняя удельная тепловая нагрузка на градирни, соответствующая этим расходам.

Например, при $t_2^{cB} = 33^\circ\text{C}$

$$D_{K1} = 0,947 \cdot 230 = 218 \text{ т/ч};$$

$$D_{K2} = 0,583 \cdot 220 = 128 \text{ т/ч};$$

$$D_{K3} = 0,875 \cdot 143 = 125 \text{ т/ч}.$$

$$u_{cp} = \frac{218 \cdot 550 + 128 \cdot 535 + 125 \cdot 550}{3620} = 71,03 \text{ Мкал/(ч м}^2\text{)}$$

и т.д.,

Все полученные значения сводятся в табл.П2.4.

Т а б л и ц а П 2.4

t_2^{cb} °C	№ 1		№ 2		№ 3		u_{cp} Мкал/(ч·м ²)
	\mathcal{K}_1	D_{K1} т/ч	\mathcal{K}_2	D_{K2} т/ч	\mathcal{K}_3	D_{K3} т/ч	
33,0	0,947	218	0,593	128	0,875	125	71,03
32,0	I	230	0,608	134	0,919	131	74,65
30,5	>I	230	0,671	148	I	143	78,54
21,0	>I	230	I	220	>I	143	89,2

По полученным значениям u_{cp} на рис.П2.1 строится линия ограничения по предельно допустимому давлению до пересечения с линией ограничения $t_2^{cb} = 33^\circ\text{C}$ и определяется положение расчетной линии ограничения.

На рис.П2.1 методом интерполяции определяются значения температуры воздуха θ , проходящие через точки перегиба (a, b, c, d). Расход пара в конденсаторы турбин для этих точек вычислен ранее.

Расход пара в конденсаторы турбин в случае ограничения мощности турбин по условиям охлаждения МГО при увеличении значения θ выше значения в точке перегиба при $t_2^{cb} = 33^\circ\text{C}$ (в точке a) определяется по формуле (4.14).

Например, на рис.П2.1 в точке пересечения линий $\theta = 30^\circ\text{C}$ с линией $t_2^{cb} = 33^\circ\text{C}$ допустимая удельная тепловая нагрузка равна $66,5 \text{ Мкал/(ч·м}^2\text{)}$, средняя удельная тепловая нагрузка градиент $71,03 \text{ Мкал/(ч·м}^2\text{)}$. Расход пара в конденсатор каждой турбины при этом равен:

$$D_{K1} = \frac{66,5}{71,03} \cdot 218 = 204 \text{ т/ч;}$$

$$D_{K2} = \frac{66,5}{71,03} \cdot 128 = 119,8 \text{ т/ч;}$$

$$D_{кз} = \frac{66,5}{71,03} \cdot 126 = 117 \text{ т/ч.}$$

По известным уже значениям $D_{кj}$ по формуле (4.16) или (4.17) определяются расходы свежего пара на каждую турбину и по диаграмме режимов соответствующая им мощность. При этом учитываются поправки ΔN_{p_2} на изменение давления пара в конденсаторе от нормативного. Для этого вначале при D_{vj} и $t_{21}^{сб}$ определяется p_2 , а затем по графику $\Delta N_{p_2} = f(p_2, D_{кj})$ определяется ΔN_{p_2} .

Результаты расчета сводятся в табл. П2.6, по ним строится график $N_{рагя} = f(\theta)$ (рис. П2.3)

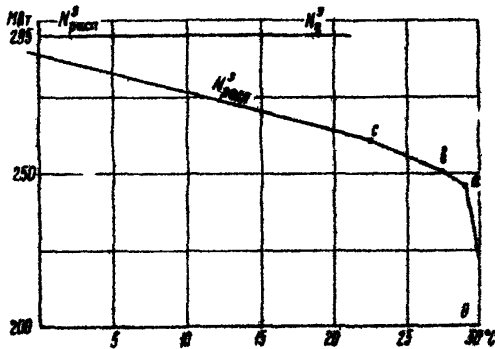


Рис. П2.3. Зависимость электрической мощности ТЭЦ от температуры окружающего воздуха

Согласно проведенному расчету, ограничения электрической мощности электростенции появляются уже при отрицательных температурах атмосферного воздуха из-за превышения максимально допустимого давления отработавшего пара турбины № 2. Основной причиной данного ограничения является недостаточное количество охлаждающей воды для работы турбины в конденсационном режиме. Остальные турбины при этих же температурах работают в расчетном режиме. При температуре воздуха +22,4 °С ограничения мощности появляются также по режиму работы турбины № 3 и при температуре воздуха

+27,5 °С по режиму работы турбины № 1. Причиной данных ограничений является малый расход из регулируемых отборов пара.

Для сокращения ограничений электрической мощности рекомендуются следующие мероприятия:

1. Сбалансировать расходы пара и охлаждающей воды в конденсаторе турбины исходя из проектной кратности охлаждения.
2. Обеспечить подачу охлаждающей воды на МГО от другого источника водоснабжения.
3. Рассмотреть возможность увеличения расходов охлаждающей воды в системе циркуляции, а также целесообразность установки дополнительного гидроохладителя или модернизации существующего градирен.

Пример 2. ГРЭС с водохранилищем-охладителем

Исходные данные

Рег.оч. расположения ГРЭС - Московская область.

Расчетная схема циркуляционного водоснабжения с поперечными связями (циркуляционные насосы установлены в центральной насосной).

№ ГРЭС установлены:

- 12 турбин К-210-130 ПМЗ с конденсатором 200-КЦС-2, $V_{\text{к}}^{\text{н}} = 35000 \text{ м}^3/\text{ч}$;

Т а б л и ц а П 2.5

Точки перегиба	$t_2^{\text{св}}$ °С	θ °С	№ 1			№ 2			№ 3			$N_{\text{расп}}$ МВт
			D_{01} т/ч	N_1 МВт	ΔN_{p_1} МВт	D_{02} т/ч	N_2 МВт	ΔN_{p_2} МВт	D_{03} т/ч	N_3 МВт	ΔN_{p_3} МВт	
а	21	-1	580	134,4	-0,6	310	76,6	-3,4	358	78,8	-1,2	290
с	30,5	22,4	580	132,0	-3,0	211	53,3	-4,7	358	75,2	-4,8	261
б	82,0	27,5	580	131,4	-3,6	191	47,7	-4,3	341	71,5	-4,5	251
п	33,0	29,0	566	129,7	-3,3	183	45,9	-4,1	333	69,7	-4,3	245
-	33,0	30,0	546	116,0	-3,0	171	41,0	-4,0	321	65,8	-4,2	223

- циркуляционные насосы суммарной подачей $25000 \times 12 = 300000 \text{ м}^3/\text{ч}$; суточный расход циркуляционной воды, сбрасываемой в водохранилище, равен $300000 \cdot 24 = 7,2 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Охлаждение циркуляционной воды производится в водохранилище-охладителе. По [1] находятся:

- коэффициент использования водохранилища $K_{\text{И}} = 0,6$;
- общая площадь водохранилища $S_{\Sigma} = 10,2 \text{ км}^2$;
- площадь активной зоны $S_{\text{акт}} = K_{\text{И}} S_{\Sigma} = 0,6 \cdot 10,2 = 6,12 \text{ км}^2$;
- удельная площадь активной зоны

$$\omega_{\text{уд}} = \frac{S_{\text{акт}}}{W} = \frac{6,12 \cdot 10^6}{7,2 \cdot 10^6} = 0,85 \text{ м}^2/(\text{м}^3/\text{сут});$$

- расчетная номинальная электрическая нагрузка каждой турбины 210 МВт ,

- расход пара в конденсатор турбины при расчетной электрической нагрузке $D_{\text{КД}}^p = 420 \text{ т/ч}$;

- расход циркуляционной воды через конденсатор турбины $W_{\text{КД}} = 25000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Расчет производится в следующем порядке: определяется нагрев воды в конденсаторе турбины при расчетной нагрузке:

$$\Delta t_{\text{К}}^p = \frac{550 \cdot 420}{25000} = 9,2 \text{ }^\circ\text{C};$$

- при заданной скорости ветра $\omega_2 = 2 \text{ м/с}$ и нескольких значениях $\Delta t_{\text{К}}$, меньших расчетной, для нескольких задаваемых значений t_p , по номограмме [1] определяется температура охлаждающей воды на входе в конденсаторы турбин. Результаты сводятся в табл.П2.6.

Т а б л и ц а П 2.6

t_e , °C	Δt , °C									
	5		6		7		8		9,2	
	δ , °C	t_2 , °C	δ , °C	t_2 , °C	δ , °C	t_2 , °C	δ , °C	t_2 , °C	δ , °C	t_2 , °C
10	10,9	20,9	12,0	22,0	13,0	23,0	13,9	23,9	14,8	24,8
15	9,1	24,1	10,1	25,1	11,1	26,1	12,0	27,0	13,0	28,0
20	7,2	27,2	8,2	28,2	9,2	29,2	10,1	30,1	10,9	30,9
25	5,5	30,5	6,4	31,4	7,3	32,3	8,2	33,2	9,0	34,0

По полученным значениям t_2 строится график $t_2 = f(\Delta t^{сб}, t_e)$ (рис. П2.4).

Расчетная линия ограничения строится следующим образом:

- устанавливаются два предела линии ограничения по условиям охлаждения МГО $t_2 \leq 33^\circ\text{C}$ и по предельно допустимому давлению насыщенного пара в конденсаторе $p_2 = 12 \text{ мПа}$ ($0,12 \text{ кгс/см}^2$);
- $t_N^* = 49,1^\circ\text{C}$;
- задается несколько значений температуры охлаждающей воды: 33; 28; 24; 20°C;

- при расчетном значении D_{kf}^p , известном W_N и при каждом из заданных значений температуры воды по нормативной характеристике конденсатора определяется соответствующее значение температурного напора;

- по формуле (4.10) определяется температура насыщенного пара для каждой турбины при каждом из заданных значений температу-

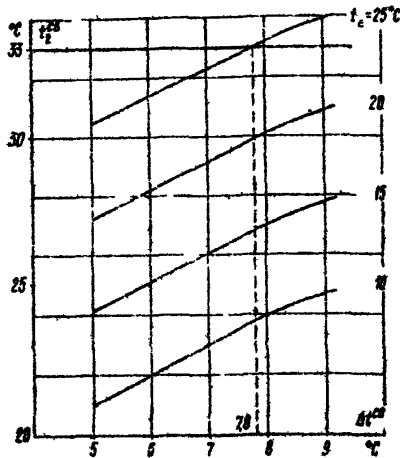


Рис. П2.4. Зависимость температуры охлаждающей воды от перепада температур воды в гидроклапителе и температуры воды в водосеме для ГЭС с циркуляционной системой водоснабжения с водохранилищем-охладителем

туры охлаждающей воды (в данном случае при наличии однотипных турбин и равных условий их эксплуатации значения температуры насыщенного пара вычисляются для одной турбины).

Все по ценные значения для одной турбины сведены в табл.П2.7

Т а б л и ц а П2.7

t_2 °C	Δt_k^p °C	δt^p °C	t'' °C
33	9,2	5,2	47,2
28	9,2	5,4	42,6
24	9,2	5,7	38,9
20	9,2	6,0	35,2

Из табл.П2.7 следует, что в данном случае ограничения мощности по предельно допустимому давлению не будет, так как при расходе охлаждающей воды, равном номинальному расходу воды, давление в конденсаторе не достигает предельно допустимого значения, равного 12 кПа (0,12 кгс/см²). Ограничения мощности начнутся при $t_2 = 33^\circ\text{C}$ по условию работы МГУ. До того, как значение t_2 достигнет 33°C , изменение температуры воды будет сказываться на изменении давления пара в конденсаторе и соответственно на изменении мощности при расчетном значении расхода пара в конденсатор.

Соответствующие значения ΔN_{p_2} определяются для значений температуры воды, меньших 33°C , при $\Delta t'' = 9,2$ °C ($D_k = 420$ т/ч) по нормативным характеристикам конденсаторов.

Результаты вычислений сведены в табл.П2.8.

Т а б л и ц а П2.8

t_e °C	t_2 °C	p_c МПа (кгс/см ²)	ΔN_{p_2} МВт	$\Sigma \Delta N_{p_2}$ МВт	N МВт	$N_{расп}^3$ МВт
10	24,8	75 (0,075)	-5,4	-64,8	204,6	2455,2
15	26,0	87 (0,087)	-7,5	-90,0	202,5	2430,0

Окончание таблицы П2.8

t_e °C	t_2 °C	p_2 МПа (кгс/см ²)	ΔN_{p_2} МВт	$\Sigma \Delta N_{p_2}$ МВт	N МВт	$N_{расп}^3$ МВт
20	30,9	98 (0,098)	-10,0	-120,0	200,0	2400,0
23,5	33,0	116 (0,0116)	-12,0	-144,0	198,0	2376,0

Значение t_e , при которой начнутся ограничения мощности по условию $t_2 \leq 33^\circ\text{C}$, равно $23,5^\circ\text{C}$. Это значение определено по рис.П2.4 при значениях t_e , больших $23,5^\circ\text{C}$, по рис.П2.4 определяется соответствующее значение $\Delta t_{сб}$ и по формуле (4.15) вычисляется значение $D_{н\gamma}$.

Например, в точке пересечения линии $t_e = 25^\circ\text{C}$ и линии 33°C $\Delta t_{сб} = 7,8^\circ\text{C}$.

$$\text{Тогда } D_{н\gamma} = \frac{25000 \cdot 7,8}{550} = 359 \text{ т/ч и } D_{с\gamma} = 359/0,7 = 513 \text{ т/ч}$$

По диаграмме режимов турбоагрегата К-210-130 определяется соответствующая мощность $N = 186$ МВт.

Поправка ΔN_{p_2} при $t_2 = 33^\circ\text{C}$ и $t'' = 47,4^\circ\text{C}$ по номативной характеристике конденсатора составляет 12 МВт.

По данным табл.П2.8 и значению мощности, определенной при $t_e = 23,5^\circ\text{C}$ и при любом другом значении $t_e > 23,5^\circ\text{C}$ (в данном тричере $t_e = 25,0^\circ\text{C}$), строится зависимость $N_{расп}^3 = f(t_e)$, показанная на рис.П2.5.

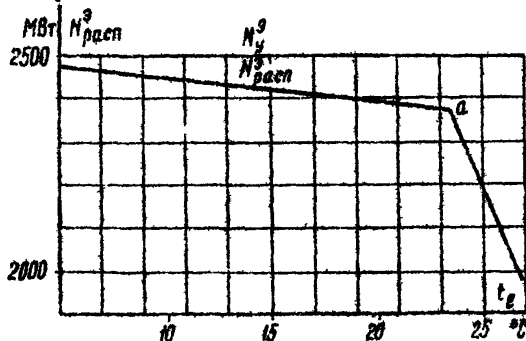


Рис.П2.5. Зависимость электрической мощности ГРЭС от температуры воды в неподогреваемом водоеме

Из рассмотренного примера следует, что ограничение номинальной электрической мощности происходит при достижении значения естественной температуры воды в неподогреваемом водоеме, равного $23,5^{\circ}\text{C}$. Но так как для Московской области среднемесячные значения не превышают $19,9^{\circ}\text{C}$, ограничения установленной мощности не будет со стороны системы циркуляционного водоснабжения.

П р и л о ж е н и е 3

РЕКОМЕНДУЕМОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ РАСПОЛАГАЕМОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

1. Планирование располагаемой мощности электростанции в неоптопительный период производится на основании проведенных расчетов и графиков $N_{расп}^2 = f(\theta)$ или $N_{расп}^2 = f(t_e)$

2. Планирование располагаемой мощности электростанции, имеющей систему водоснабжения с градирнями, производится в такой последовательности

- из табл.6 "Справочника по климату СССР" (ч.2) для района расположения электростанции выбирается число дней со среднесуточными значениями температуры атмосферного воздуха в указанных пределах и продолжительность времени стояния этих температур в часах;

- для среднего значения каждого из пределов температур воздуха по графикам $N_{расп}^2 = f(\theta)$ определяется значение располагаемой мощности;

- при известных значениях мощности в каждом диапазоне температур воздуха и продолжительности времени стояния этих температур подсчитывается суммарная выработка электроэнергии по электростанции для каждого месяца,

- делением суммарной месячной выработки электроэнергии на число часов работы турбоагрегатов в данном месяце определяется средняя планируемая располагаемая мощность электростанции по каждому месяцу.

Пример расчета планируемой мощности электростанции с градирнями по методике приведен в табл.ПЗ.1.

Т а б л и ц а ПЗ.1

t °C	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь	
	n_i	N_i	n_i	N_i	n_i	N_i	n_i	N_i	n_i	N_i
Ниже 0	2,4	235,0	-	-	-	-	-	-	-	-
0-5	43,2	234,0	4,8	234,0	-	-	-	-	57,6	234,0
5-10	177,6	232,5	36,0	232,4	2,4	232,5	14,4	232,5	235,2	232,5
10-15	232,8	218,0	168,0	221,0	81,8	223,0	196,8	222,5	285,6	218,0
15-20	220,8	198,5	259,2	201,0	328,8	203,5	238,4	202,0	122,4	198,5
20-25	67,2	179,0	225,6	182,0	280,8	184,5	272,8	183,0	19,2	179,0
25-30	0,7	131,0	26,4	142,0	30,4	149,0	216,6	146,5	-	-
Планируемая выработка электроэнергии, тыс. кВт.ч $\Sigma(n_i N_i)$	158,68		143,33		145,0		148,38		158,16	
Среднемесячная располагаемая мощность ТЭЦ, МВт	213,3		199,3		194,9		199,4		219,7	
$\frac{\Sigma(n_i N_i)}{\Sigma(n_i)}$										

Примечание. n_i - продолжительность стояния температуры атмосферного воздуха, ч; N_i - располагаемая мощность электростанции при данном диапазоне температур, МВт. По возможности планирование располагаемой мощности следует производить при значениях температуры атмосферного воздуха в пределах часов учета рабочей мощности, устанавливаемых ЦДУ ЭЭС ССР.

3 Планирование располагаемой мощности электростанции, имеющей систему водоснабжения с водохранилищем-охладителем, производится при среднемесячных значениях температуры воды в неподогреваемом водоеме.

4 Планирование рабочей мощности производится согласно "Методике планирования и учета рабочей мощности и коэффициента эффективности использования установленной мощности для электростанций энергосистем, энергообъединений", утвержденной министром энергетики и электрификации СССР 14.01.86.

5. Для согласования располагаемой мощности с подразделениями Совтехэнерго и Экономтехэнерго электростанции необходимо представить следующие документы:

- сведения по установленному оборудованию и режимам его эксплуатации в расчетном периоде,
- расчет располагаемой мощности, выполненный согласно настоящих Методическим указаниям;
- проектные данные по технологической и гидротехнической части;
- при наличии отклонений от проектных решений документы с согласованием имеющихся отклонений с генеральным проектировщиком.

Приложение 4

ПРИМЕНЕНИЕ ГРАФИКОВ ВИДА $N_{расч}^3 = f(\theta)$ И $N_{расч}^3 = f(t_c)$ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ РАБОТЫ ДИСПЕТЧЕРСКИХ СЛУЖБ

1. При оперативной работе по определению электрической мощности электростанции необходимо построение графиков $N_{расч}^3 = f(\theta)$ и $N_{расч}^3 = f(t_c)$ для нескольких возможных вариантов сочетаний регулируемых отборов, количества и типов работающих турбин расчетного периода, при этом для электростанций с градириями необходимо учитывать конкретное значение влажности воздуха, для электростанций с водохранилищами-охладителями - фактическое значение скорости ветра над водохранилищем.

2. Для учета фактической влажности воздуха при пользовании графиками располагаемой мощности рис.П2.3 следует к фактической температуре воздуха по сухому термометру внести поправку $\pm \Delta \theta$, определяемую по универсальному графику $\Delta \theta = f(\varphi)$ на рис.П4.1.

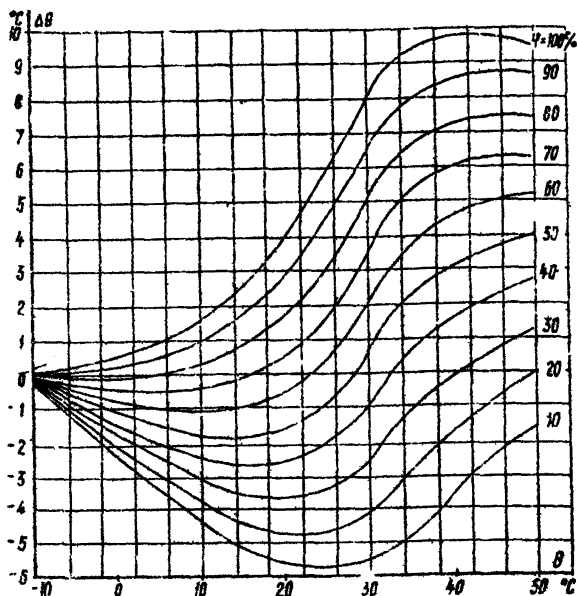


Рис.П4.1. Универсальный график поправок к температуре воздуха в зависимости от влажности воздуха

Таким образом, мощность электростанции будет определена на графиках $N_{расп}^3 = f(\theta)$ при температуре воздуха, отличающейся от фактической на значение $\pm \Delta\theta$.

3. Для учета фактического значения скорости ветра при пользовании графиками располагаемой мощности рис.П2.5 следует к фактической температуре воды в неподогреваемом водоеме внести поправку $\pm \Delta t_e$, определяемую по графику $\Delta t_e = f(\omega_2, \omega_{q0}, \Delta t)$ рис.П4.2.

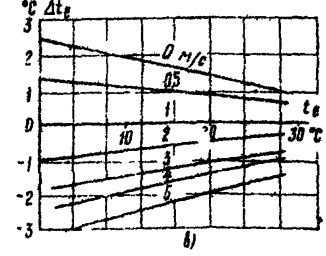
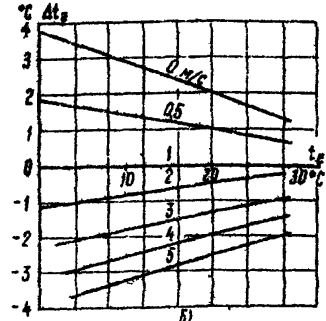
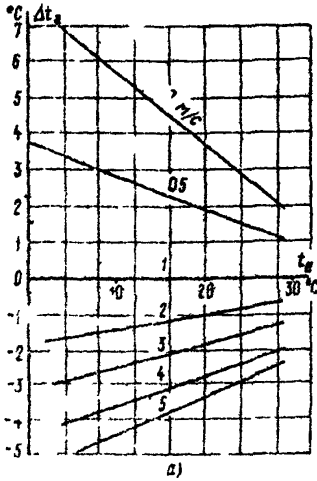


Рис П4 2. Поправки к температуре воды в неподогреваемом водоеме в зависимости от скорости ветра над водоемом:
 а - $\omega_{вд} = 1 \text{ м}^2/(\text{м}^3/\text{сут})$; б - $\omega_{вд} = 1,5 \text{ м}^2/(\text{м}^3/\text{сут})$;
 в - $\omega_{вд} = 2 \text{ м}^2/(\text{м}^3/\text{сут})$

Таким образом, мощность электростанции будет определена по графикам $N_{расч} = f(t_e)$ при температуре воды t_e , отличающейся от фактической на Δt_e . Для водохранилищ-охладителей с удельной площадью, отличающейся от значений, указанных на рис.П4.2, поправка $\pm \Delta t_e$ определяется методом интерполяции.

С п и с о к и с п о л ь з о в а н н о й
л и т е р а т у р ы

1. УКАЗАНИЯ по нормированию показателей работы гидро-охладителей в энергетике. - М.: СЮ Советэнерго, 1981.
2. ГОСТ 3618-82. Турбины паровые стационарные для привода турбогенераторов. Типы и основные параметры.
3. ВЛЮДОВ В.П. Конденационные устройства паровых турбин. -М.-Л.: Госэнергоиздат, 1951.
4. ВЕРМАН Л.Д. Испарительное охлаждение циркуляционной воды. -М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957.
5. ИНФОРМАЦИОННОЕ письмо ДМЗ № 610-133. О допустимых давлениях пара в конденсаторах паровых конденсационных турбин. -В Сб.: Рекомендации по модернизации и совершенствованию эксплуатации паровых турбин ПО ДМЗ. -М.: СЮ Советэнерго, 1987.
6. ТЕХНИЧЕСКИЕ указания к расчету прудов-охладителей. -М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963.
7. МЕТОДИЧЕСКИЕ рекомендации к расчету водохранилищ-охладителей ТЭС. -Л.: ВНИИГ им. Б.В.Веденьева, 1976.
8. МЕТОДИЧЕСКИЕ указания по испытаниям циркуляционных насосов и систем циркуляционного водоснабжения паротурбинных установок электростанций. -М.: СЮ Советэнерго, 1982.

О Г Л А В Л Е Н И Е

1. Основные обозначения	3
2. Общие положения	5
3. Исходные данные для расчета обеспеченности электрической мощностью	6
4. Порядок расчета обеспеченности электрической мощности электростанций циркуляционными систе- мами	7
П р и л о ж е н и е 1. Определение исходных метеоро- логических параметров для построения графика обеспеченности мощности	13
П р и л о ж е н и е 2. Примеры определения обеспе- ченности электрической мощности	19
П р и л о ж е н и е 3. Рекомендуемое планирование распределенной мощности электростанции.....	32
П р и л о ж е н и е 4. Применение графиков вида $N_{расч}^j = f(t)$ и $N_{расч}^j = f(t_e)$ для оперативной работы дис- петчерских служб	34
С п и с о к и с п о л ь з о в а н н о й л и т е р а т у р ы	37

Рст. ВР. ЛПИ Энергопром Зак. № 923....
Тир.17..... Дата 21-05-87
перепечатка

Ответственный редактор Н.К. Демурова
Литературный редактор З.И. Игнаткова
Технический редактор Б.М. Полякова
Корректор В.Д. Алексеева

Подписано к печати 13.01.87 формат 60x84 1/16
Печать офсетная Усл. печ. л. 2,39 Уч.-над. л. 2,2 Тираж 1200 экз.
Заказ № 25/87 Издат. № 66765 Цена 33 коп.

Производственная служба передового опыта эксплуатации
энергопредприятий Советского
105023, Москва, Семинский пер., д. 15
Участок оперативной полиграфии ЦПО Советского
109432, Москва, 2-й Кожуховский проезд, д. 29, строение 6