

To justification of optimum parameter power stations of a peak contour with the accumulator of phase transition

Doronin M.¹, Doronina V.² (Russian Federation)

К обоснованию оптимальных параметров энергоустановки пикового контура с аккумулятором фазового перехода

Доронин М. С.¹, Доронина В. Д.² (Российская Федерация)

¹Доронин Михаил Сергеевич / Doronin Mikhail – кандидат технических наук, доцент;

²Доронина Валентина Дмитриевна / Doronina Valentina – кандидат технических наук, доцент, кафедра тепловых и атомных электрических станций, энергетический факультет, Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю. А., г. Саратов

Аннотация: в статье рассматривается методика расчета оптимальных параметров энергоустановки пикового контура с аккумулятором фазового перехода, в зависимости от величины инвестиций в аккумулятор фазового перехода и числа часов использования турбины пикового контура.

Abstract: in article the method of calculation of optimum parameters of a peak contour of the power station with the accumulator of phase transition, depending on the size of investments into the accumulator of phase transition and number of hours of use of the turbine of a peak contour is considered.

Ключевые слова: энергетическая установка, аккумулятора фазового перехода, оптимальные параметры.

Keywords: power station, accumulator of phase transition, optimum parameters.

Аккумуляция тепловой энергии пара на электростанциях позволяет обеспечить постоянную (или близкую к ней) тепловую мощность источника энергии при работе турбинного оборудования в переменном режиме. В период зарядки аккумуляторов тепла турбина и электрогенератор работают на пониженной мощности, а в период разрядки аккумуляторов мощность возрастает выше номинальной как на основном турбогенераторе, так и за счет дополнительно устанавливаемой пиковой турбины. Во втором случае существенно расширяется регулировочный диапазон электростанции и повышается годовая загруженность основной турбоустановки.

На рисунке 1 представлена одна из схем энергетической установки с использованием т.н. аккумулятора фазового перехода (АФП), который имеет поверхность теплообмена и заполнен веществом, имеющим большую теплоту фазового перехода [1].

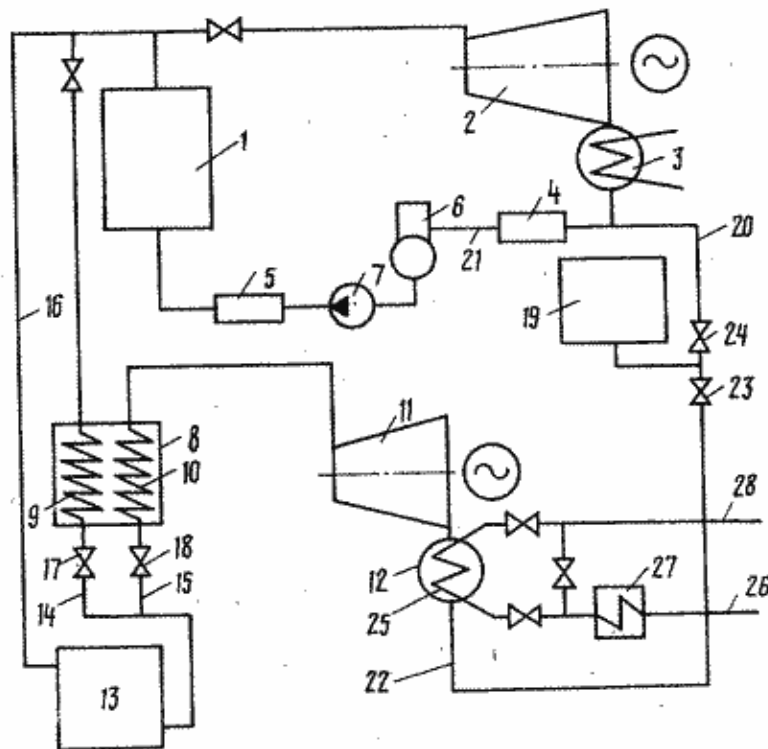


Рис. 1. Принципиальная схема энергетической установки с использованием аккумулятора фазового перехода

Энергетическая установка состоит из основного паросилового контура, содержащего парогенератор 1, паровую турбину 2, конденсатор 3, подогреватели 4 и 5 низкого и высокого давлений (ПНД и ПВД), соответственно деаэратор 6 и питательный насос 7. Пиковый паросиловой контур содержит АФП 8 с греющими поверхностями 9 и 10, пиковую турбину 11 и конденсатор 12.

Дополнительный аккумулятор (аккумулирующая емкость) 13 подключен к трубопроводам 14 и 15 отвода конденсата греющего пара и подачи АФП 8, а трубопроводом 16 к парогенератору 1. На трубопроводах 14 и 15 установлены задвижки 17 и 18. Другой дополнительный аккумулятор 19 подключен к перемычке 20, сообщающей тракты 21 и 22 конденсата основного и пикового контуров и снабженной задвижками 23 и 24. В конденсаторе 12 размещен теплообменник 25 сетевой воды, подключенный к трубопроводу (коллектору) 26 прямой сетевой воды через подогреватель 27 и к трубопроводу 28 обратной сетевой воды.

Установка работает следующим образом.

В период снижения электрической нагрузки паровая турбина 2 работает с пониженной мощностью. Избыток пара, вырабатываемого парогенератором 1, подают в греющую поверхность 9 АФП 8, где пар отдает часть тепла веществу, заполняющему аккумулятор 8 и имеющему большую теплоту фазового перехода.

Конденсат греющего пара по трубопроводу 14 отвода конденсата через открытую задвижку 17 (задвижка 18 закрыта) поступает в дополнительный аккумулятор 13, в который для стабилизации давления по трубопроводу 16 подается пар от парогенератора 1. Из аккумулятора 19 в тракт 21 конденсата основного контура возвращается та часть рабочего тела (конденсата), которая аккумулируется в дополнительном аккумуляторе 13. В этот период времени сетевая вода подогревается в подогревателе 27, который снабжается паром из паровой турбины 2 основного контура.

В период пика электрической нагрузки весь пар из парогенератора 1 подается в паровую турбину 2, конденсируясь в конденсаторе 3. Горячая вода из аккумулятора 13 через открытую задвижку 18 (задвижка 17 закрыта) при постоянном давлении поступает в греющую поверхность 10, где за счет аккумулированного тепла генерируется вторичный пар, который поступает в пиковую турбину 11, вырабатывая дополнительную пиковую мощность. После пиковой турбины 11 пар конденсируется в конденсаторе 12, нагревая в теплообменнике 25 сетевую воду, подаваемую из трубопровода 28 обратной сетевой воды. В это время пар из парогенератора 1 не поступает в АФП 8. Конденсат из конденсатора 12 через тракт 22 и перемычку 20 сливается в аккумулятор 19 через открытую задвижку 23 (задвижка 24 закрыта).

Таким образом, основной эффект в предлагаемой установке достигается путем накопления горячей воды в дополнительном аккумуляторе и последующего получения большого количества пара для пиковой турбины. Так как у пиковой турбины отсутствует система регенерации, а расход пара на нее возрастает, происходит дополнительная выработка пиковой мощности. При этом упрощается конструкция пиковой турбины и схема пикового контура, отпадает необходимость в регенеративном подогреве питательной воды и в очистке конденсата.

Важными параметрами, определяющими КПД пикового контура является давление на входе в пиковую турбину. Для предложенной схемы сформулируем задачу выбора оптимальных начальных параметров следующим образом: при заданной тепловой мощности АФП определить оптимальную величину начального давления в пиковом контуре.

В качестве критерия оптимизации выберем следующее выражение для расчета чистого дисконтированного дохода [2]:

$$\sum_{t=0}^T (R_t^{\text{Пит}} - Z_t^{\text{Пит}}) \cdot \frac{1}{(1+E)^t} - \sum_{t=0}^T (K_{\text{АФП}} + K_{\text{Пит}}) \cdot \frac{1}{(1+E)^t} \Rightarrow \max \quad (1)$$

где $R_t^{\text{Пит}}$ – выручка от реализации электроэнергии пиковой турбины на оптовом рынке; $Z_t^{\text{Пит}}$ – затраты на эксплуатацию пикового контура; $K_{\text{АФП}}$ – инвестиции в АФП; $K_{\text{Пит}}$ – инвестиции в элементы оборудования пикового контура – паровую турбину, аккумуляторы.

Для нахождения оптимального начального давления приравняем нулю первую производную (1) по начальному давлению.

$$\frac{\partial \left(\sum_{t=0}^T (R_t^{\text{Пит}} - Z_t^{\text{Пит}}) \cdot \frac{1}{(1+E)^t} - \sum_{t=0}^T (K_{\text{АФП}} + K_{\text{Пит}}) \cdot \frac{1}{(1+E)^t} \right)}{\partial p_0} = 0 \quad (2)$$

Примем значения $R_t^{\text{Пик}}$ постоянными по годам расчетного периода, а значения $Z_t^{\text{Пик}}$ – не зависящими от величины начального давления в пиковом контуре. Тогда для инвестиционного периода в 1 год и дисконтировании денежных потоков к началу расчетного периода запишем (2) в виде:

$$\alpha \cdot \frac{\partial R^{\text{Пик}}}{\partial p_0} - \frac{\partial K_{\text{АФП}}}{\partial p_0} - \frac{\partial K_{\text{Пик}}}{\partial p_0} = 0 \quad (3)$$

$$\text{где } \alpha = \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+E)^t}$$

Или:

$$\alpha \cdot \frac{\partial R^{\text{Пик}}}{\partial p_0} = \frac{\partial K_{\text{АФП}}}{\partial p_0} + \frac{\partial K_{\text{Пик}}}{\partial p_0} \quad (4)$$

Используя выражения для $R^{\text{Пик}}$, $K_{\text{АФП}}$ и $K_{\text{Пик}}$ получим:

$$\alpha \cdot \frac{\partial N_{\text{Пик}}}{\partial p_0} \cdot \tau_{\text{Пик}} \cdot T_{\text{ФОРЭМ}} = \frac{\partial F_{\text{АФП}}}{\partial p_0} \cdot k_{\text{АФП}} + \frac{\partial N_{\text{Пик}}}{\partial p_0} \cdot k_{\text{Пик}} \quad (5)$$

где $N_{\text{Пик}}$ – электрическая мощность турбины пикового контура; $\tau_{\text{Пик}}$ – число часов использования турбины пикового контура; $T_{\text{ФОРЭМ}}$ – тариф на электроэнергию на оптовом рынке; $k_{\text{Пик}}$ – удельные капиталовложения в турбину пикового контура; $F_{\text{АФП}}$ – поверхность теплообмена АФП; $k_{\text{АФП}}$ – удельные капиталовложения в АФП.

С использованием формулы (5) и расчетных зависимостей для производных $\frac{\partial N_{\text{Пик}}}{\partial p_0}$ и $\frac{\partial F_{\text{АФП}}}{\partial p_0}$ определим оптимальные значения начального давления для следующих исходных данных:

- продолжительность расчетного периода – 16 лет;
- инвестиционный период – 1 год;
- денежные потоки дисконтируются к началу расчетного периода;
- норма дисконта – 10 %;
- значения $R_t^{\text{Пик}}$ постоянны по годам расчетного периода.
- тариф на электроэнергию на оптовом рынке – 200 – 250 коп/(кВт ч);
- число часов использования турбины пикового контура – 500 – 1500;
- удельные капиталовложения в турбину пикового контура – 20000 руб./кВт;
- удельные капиталовложения в поверхность теплообмена АФП – 20000 – 40000 руб./м².

Результаты расчетов представлены на рисунке 2.

Из рисунка видно, что для принятых исходных данных диапазон изменения оптимального начального давления в пиковом контуре составляет 1,15 – 1,9 МПа. С увеличением числа часов использования пиковой турбины начальное давление в пиковом контуре снижается. Это является следствием снижения тарифа на пиковую энергию на оптовом рынке.

Увеличение удельных капиталовложений в поверхность теплообмена АФП приводит к снижению оптимального начального давления в пиковом контуре. Это связано с тем, что чем меньше начальное давление, тем выше температурный напор в АФП, меньше поверхность теплообмена и затраты в нее.

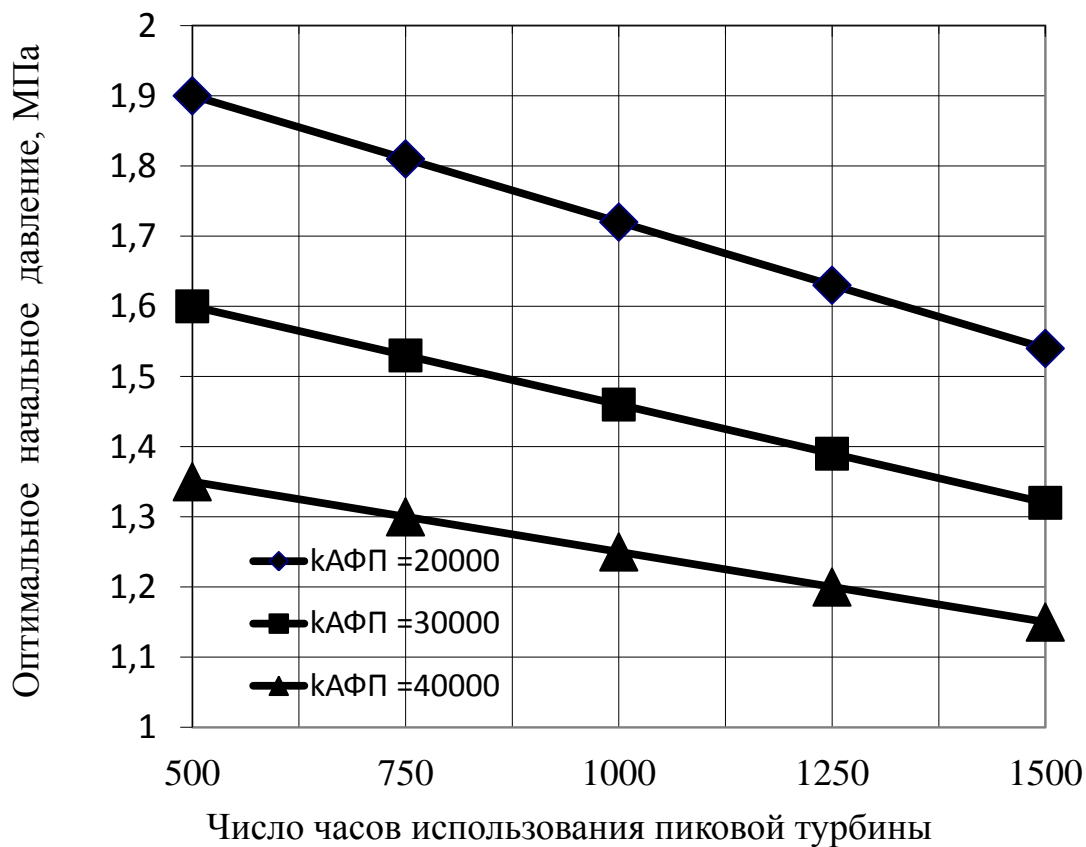


Рис. 2. Зависимость оптимального начального давления в пиковом контуре электростанции с АФП от удельных капитальных вложений в аккумулятор и числа часов использования пиковой турбины

Литература

1. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (2-я редакция). Утверждены Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике № ВК 477 от 21.06.1999 г.
2. Авторское свидетельство. СССР № 1133428. Энергетическая установка. Опубл. в Бюлл. изобр. 1985, № 1