

УДК 621.165.76-146.1
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТУРБИН С БАЙПАСНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ
ПАРА НА ПГУ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ЧАСТОТЫ
USING THE TURBINES WITH BYPASS STEAM DISTRIBUTION AT
CCGT FOR PRIMARY FREQUENCY CONTROL

А.Д. Белозёрова, А.Д. Яковенко, П.А. Болбас
Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
tes@bntu.by

A. Beloziorova, A. Jakovenko, P. Bolbas
Supervisor – N. Pantelei, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: В статье рассматривается использование паровой турбины с байпасным распределением пара на конденсационной турбине, работающей совместно с парогенератором-утилизатором двух давлений для участия в нормированном первичном частотном регулировании. Предполагается, что газовые турбины работают при частичной нагрузке во время участия энергоблока в регулировании частоты и мощности. Следовательно, паровая турбина также работает при частичной нагрузке с закрытым перепускным регулирующим клапаном. Можно увеличить мощность газовой турбины и перегрузку паровой турбины при одновременном снижении частоты за счет увеличения расхода пара в камеру между второй и третьей ступенями паровой турбины.

Abstract: The article deals with the use of a steam turbine with bypass steam distribution on a condensing turbine working together with a steam generator-utilizer of two pressures to participate in the normalized primary frequency control. It is assumed that initially the gas turbines operate at partial load during the participation of the power unit in the frequency and power control. Consequently, the steam turbine also operates at partial load with the bypass control valve closed. It is possible to increase the power of the gas turbine and the overload of the steam turbine while reducing the frequency by increasing the steam flow into the chamber between the second and third stages of the steam turbine.

Ключевые слова: Турбины, байпас, частота, расход, ПГУ, ТЭЦ.

Keywords: Turbines, bypass, frequency, flow rate, CCGT, CHPP.

Введение

Частота электрического тока является одним из показателей качества электрической энергии и важнейшим параметром режима энергосистемы. В соответствии с действующими нормативами, частота должна находиться в пределах $50,0 \pm 0,2$ Гц.

Существует три связанных типа частотного регулирования: первичное, вторичное и третичное. Первичное регулирование состоит в том, что силовая установка реагирует на отклонения частоты в энергосистеме (превышающие

0,002 Гц) пропорциональным изменением активной мощности. Вторичное регулирование – это процесс изменения активной мощности электростанций (специально выделенных для этой цели) с целью компенсации несбалансированной мощности, устранения перегрузки транзитных линий электропередачи, восстановления частоты и внешних энергетических потоков и (как следствие) восстановления резервов мощности, израсходованных при первичном регулировании. Третичное регулирование относится к изменению мощности специально выделенных третичных электростанций для восстановления вторичного резерва и оптимального распределения нагрузки между блоками энергосистемы.

Основная часть

Высокая эффективность и хорошая маневренность делают парогазовые установки незаменимыми для участия в устранении несбалансированной мощности и для частотного регулирования. На рисунке 1, исходя из требований к парогазовым установкам и газотурбинным установкам, показаны допустимые области изменения первичной мощности с падением и подъемом частоты в энергосистеме.

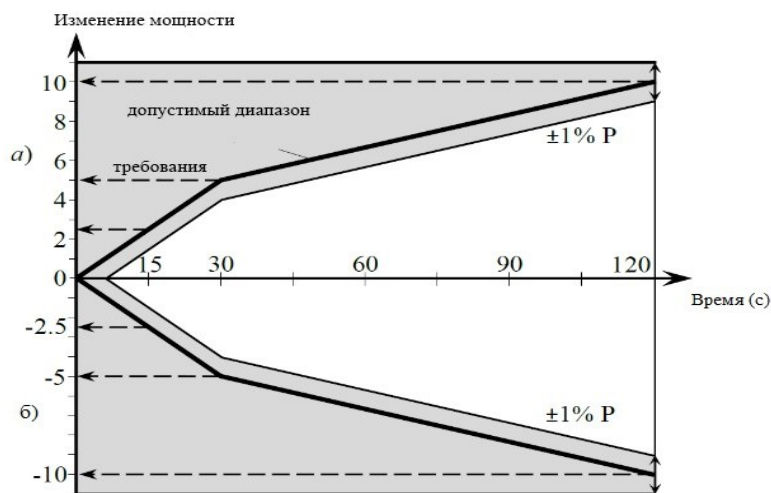


Рисунок 1 – Допустимый диапазон изменения первичной мощности ПГУ (ГТ) при уменьшении (а) и увеличении (б) частоты

Характеристики парогазовых установок при переменных нагрузках во многом определяются характеристиками газовой турбины. Важным преимуществом газовой турбины является ее высокая маневренность и широкий диапазон нагрузок. Силовые газовые турбины работают в любых режимах – от холостого хода до полной нагрузки. На практике их рабочий диапазон в парогазовой установке определяется экономическими и экологическими соображениями и возможными ограничениями парового контура. Зависимости параметров газовой турбины V94.2 (в составе ПТУ-450Т Северо-Западной ТЭЦ Санкт-Петербурга) от нагрузки при близких к расчетным внешним условиям (стандартные условия ИСО 2314: температура 15°C, абсолютное давление 0,1013 МПа, относительная влажность 60%) приведены на рисунке 2 [1, 2].

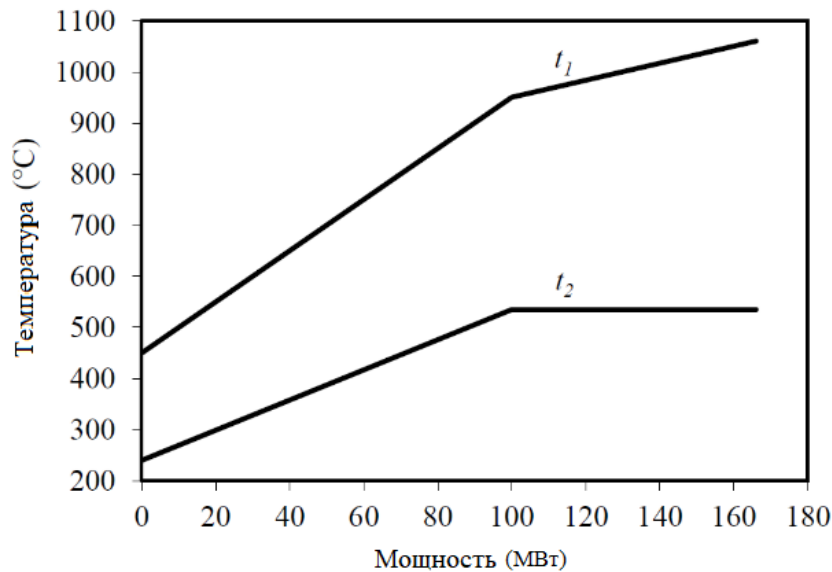


Рисунок 2 – Температура газа перед (t_1) и за (t_2) газовой турбиной V94,2 при переменной нагрузке [1, 2]

Важной характеристикой маневренности для участия в регулировании частоты энергосистемы парогазовой установки в пределах регулируемого диапазона нагрузок является скорость изменения нагрузки. Во избежание задержки реакции паровой трубы при изменении частоты в энергосистеме возможно частичное открытие регулирующего клапана паровой турбины и, как следствие, дросселирование свежего пара при нормальной работе, а при изменении частоты – открытие или закрытие этого клапана.

Однако этот способ имеет недостаток в снижении КПД паровой турбины при нормальных условиях эксплуатации из-за потерь от дросселирования в регулирующих клапанах. Способ участия в регулировании актуален для электростанций, где при проектировании и выборе основного оборудования учитывается, что при максимальной мощности газовой турбины парогенератор-утилизатор должен обеспечивать паропроизводительность, покрывающую максимальную нагрузку паровой турбины. Из вышеперечисленного следует, что для использования на ПГУ целесообразно рассматривать применение турбин с байпасным распределением пара. На рисунке 3 показана схема паровой турбины с байпасным распределением пара.

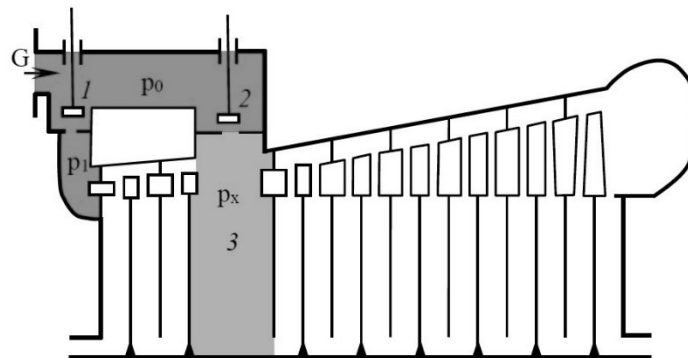


Рисунок 3 – Схема паровой турбины с байпасным распределением пара: 1 – главный регулирующий клапан; 2 – байпасный регулирующий клапан; 3 – камера смешения

К первой ступени водяной пар подводится через клапан 1, который работает как дроссель до тех пор, пока давление перед ступенью не станет равным давлению. Затем клапан 2 начинает открываться. Часть пара обходит первую группу ступеней через этот клапан и направляется непосредственно в турбину. Дуга эллипса ab делит общий проход пара на два потока и строится путем расчета относительного расхода пара G_1/G_0 через первую группу ступеней при различном общем расходе пара через турбину, рисунок 4 [3].

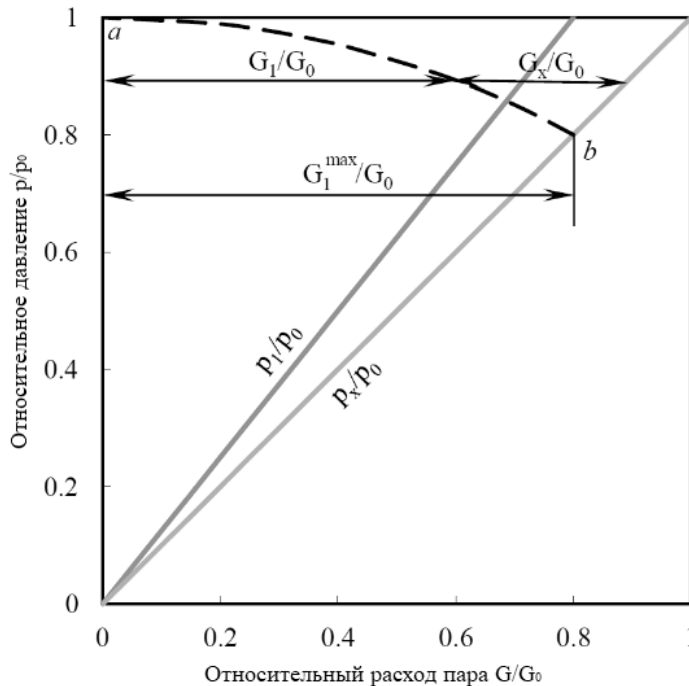


Рисунок 4 – Распределение пара при байпасном распределении пара (открытие байпасного клапана при $0,8 G_1/G_0$)

В процессе расчетов, проведенных Саратовским научным центром Российской академии наук, получены следующие результаты. На рисунке 5 показано, что при открытии перепускного клапана мощность изменяется почти так же линейно, как и до его открытия.

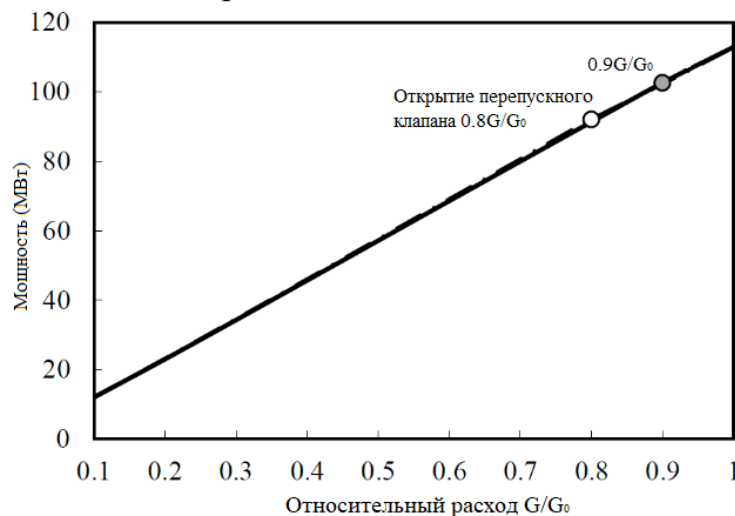


Рисунок 5 – Зависимость изменения мощности турбины от относительного расхода пара через турбину

На рисунке 6 показана зависимость изменения среднего коэффициента полезного действия турбины от расхода пара для трех вариантов распределения пара. Наблюдается незначительное снижение коэффициента полезного действия турбины из-за потерь от дросселирования пара в перепускном клапане при открытии перепускного клапана. На рисунке 6 показано, что работа паровой турбины с байпасным парораспределением при частичной нагрузке в режиме ожидания происходит с большей эффективностью, чем при дросселировании пара в регулирующем клапане паровой турбины без байпасного парораспределения. КПД турбины с байпасным распределением пара выше на 1,4% по сравнению с турбиной без байпасного распределения пара, если регулирующий клапан открыт на 0,8 G/G_0 . КПД турбины с байпасным распределением пара выше на 0,48%, если байпасный клапан включен при нагрузке 90 %. КПД турбин с байпасным парораспределением ниже на 0,5%, чем у турбин без байпасного парораспределения при 100% нагрузке.

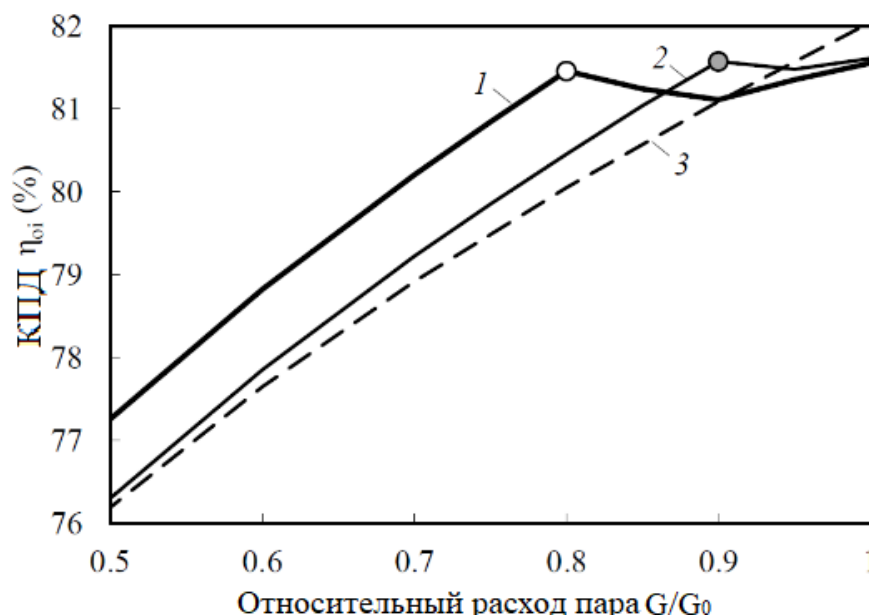


Рисунок 6 – Зависимость средневзвешенного относительного внутреннего КПД от относительного расхода пара через турбину: 1, 2 – байпасное парораспределение с открытием байпасного клапана при 0,8 и 0,9 G/G_0 соответственно; 3 – без байпасного парораспределения

Заключение

Работа паровой турбины с байпасным распределением пара при частичной нагрузке происходит с более высоким КПД, чем при дросселировании пара в регулирующем клапане паровой турбины без байпасного распределения пара. Кроме того, изменение мощности паровой турбины с байпасным распределением пара обеспечивает большее ускорение по сравнению с работой в режиме скользящего давления.

Имеющееся увеличение мощности паровой турбины с байпасным парораспределением в составе ПГУ-325 составляет 1,35 МВт при нагрузке 80% и 0,52 МВт при нагрузке 90% в режиме ожидания с участием в первичном

частотном регулировании (при прочих равных условиях для паровой турбины на базе турбины К-110-6.5).

Литература

1. Тепловые характеристики газотурбинных установок V94.2, работающих на парогазовой установке ПГУ-450Т Северо-Западной когенерационной станции Санкт-Петербурга / С. В. Малахов, Г. Г. Ольховский, В. П. Трушечкин, В. Н. Хомченко. – Москва. Энергетические технологии и машиностроение, 2015. – 8 с.
2. Ольховский, Г. Г. Тепловые испытания мощных энергетических газовых турбин / Г. Г. Ольховский. – Москва: Издательство Фолиум, 1992. – 234 с.
3. Костюк, А.Г. Турбины тепловых и атомных электростанций / А. Г. Костюк, В. В. Фролов, А. Е. Булкин. – Москва: Издательство МЭИ, 2001. – 488 с.