

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРА НА ПРОЦЕСС РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ПРИ МАЛЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ В КОНЦЕНТРИРОВАННОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Б.Д. Малюта  
Томский политехнический университет  
ИШЭ, ОЭЭ, группа 5АМ1Ч

Современные энергосистемы представляют собой комплексы, состоящие из различных электроустановок и испытывающие регулярные возмущения в процессе эксплуатации. Такие возмущения обусловлены, как правило, изменениями потребляемой мощности, реже аварийными ситуациями. Для стабильной работы в подобных условиях система должна обладать высокой устойчивостью, которой можно достигнуть в том числе и оптимизацией режимов работы основных объектов системы - электростанций.

В данной работе изучается процесс регулирования частоты вращения ротора концентрированного турбогенератора (в данной работе представляющего собой эквивалент тепловой электростанции, все турбины которой обладают промежуточным перегревом пара) в условиях малых возмущений, вызванных нормальными изменениями потребляемой мощности в течение дня. В соответствии с полученными результатами будет определено такое распределение пара по цилиндрам турбины, при котором регулирование частоты происходит наиболее плавно.

Структурная схема концентрированного турбогенератора представлена на рисунке 1.

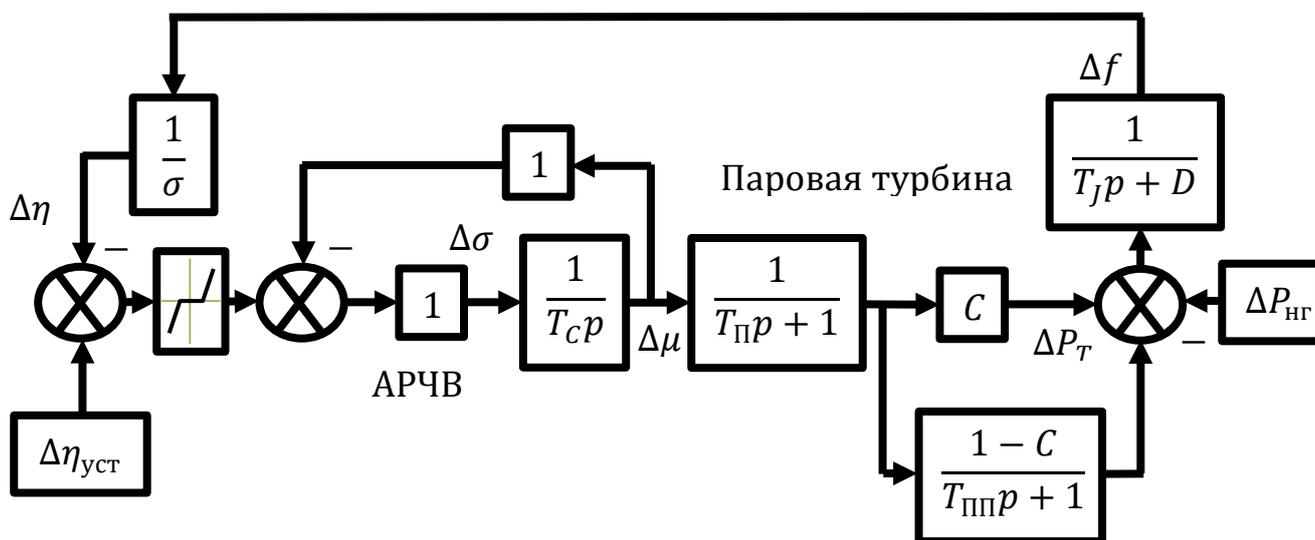


Рис. 1. Структурная схема концентрированного турбогенератора с промежуточным отбором пара

Переходный процесс, описывающий изменение частоты вращения эквивалентного турбогенератора, представляется следующим уравнением [2]:

$$T_J \frac{d\Delta f}{dt} + D \cdot \Delta f = \Delta P \quad (1)$$

Примем следующее обозначение:

$$p \equiv \frac{d}{dt} \quad (2)$$

Таким образом, уравнение (1) примет вид:

$$T_J p \Delta f + D \cdot \Delta f = \Delta P \quad (3)$$

Преобразовав уравнение (3), получаем следующее соотношение:

$$\Delta f = \Delta P \cdot \frac{1}{T_J p + D} \quad (4)$$

Здесь  $\Delta f$  – относительное отклонение частоты от номинальной (в относительных единицах),  $T_J$  – инерционная постоянная системы (в с),  $D$  – коэффициент демпфирования (в ед. мощности/ед. частоты),  $\Delta P$  – относительная разность мощностей турбогенератора и нагрузки (в относительных единицах) [1].

Используемая для исследования математическая модель состоит из следующих блоков: автоматический регулятор частоты вращения (АРЧВ), состоящий из блоков золотника, сервомотора и обратной связи; паровая турбина с промежуточным перегревом пара, состоящая из блоков цилиндров высокого и низкого давления (ЦВД и ЦНД соответственно); электрический генератор; измерительный преобразователь, состоящий из блока маятника, блока сигнала для сравнения, а также блока «мёртвой зоны», моделирующего зону нечувствительности измерительного механизма.

Пусть в энергосистеме возникло малое возмущение, обусловленное нормальным графиком нагрузки (к примеру, в конце рабочего дня большое количество людей возвращается домой). Увеличивается мощность нагрузки, соответственно возникает небаланс генерации и потребления  $\Delta P$ . В соответствии с уравнением (1) возникает отклонение частоты от номинала. Данное изменение приводит к смещению грузов измерительного маятника и обуславливает смещение штифта маятника на относительную величину  $\Delta \eta$ , связанную с изменением частоты следующим уравнением [2]:

$$\Delta \eta = \frac{\Delta f}{\sigma} \quad (5)$$

Здесь  $1/\sigma$  – коэффициент, устанавливающий соотношение между перемещением штифта маятника и частотой вращения [2]. Данное смещение сравнивается со смещением в нормальном режиме  $\Delta \eta_{уст}$  (равняется нулю) и – в случае, если  $\Delta \eta$  отлично от  $\Delta \eta_{уст}$  – подаётся на вход блока «мёртвой зоны», имитирующего погрешности в работе механизма измерительного маятника. Смещение штифта маятника на величину  $\Delta \eta$  приводит к смещению поршня золотника, открывая таким образом окна золотника. Инерция поршня золотника пренебрежимо мала, вследствие чего относительное открытие окон золотника равно [2]:

$$\Delta \sigma = \Delta \eta \quad (6)$$

Относительное открытие окон золотника приводит в движение поршень сервомотора, смещая его на относительную величину  $\Delta \mu$ , связанную с  $\Delta \eta$  следующим соотношением [2]:

$$\Delta \mu = \Delta \eta \cdot \frac{1}{T_C p} \quad (7)$$

Здесь  $T_C$  – постоянная времени сервомотора (в секундах). Смещение поршня сервомотора через жёсткую обратную связь влияет на перемещение

штифта маятника, что улучшает качество переходного процесса, а также посредством рычага вызывает изменение положения направляющего аппарата на величину  $\Delta\mu$ , уменьшая или увеличивая количество пара, подаваемого в турбину. Таким образом, суммарное (с учётом промежуточного перегрева пара) изменение мощности турбины связано с  $\Delta\mu$  следующим соотношением [2]:

$$\Delta P_T = \Delta\mu \frac{1}{T_{пп+1}} \cdot \left( C + \frac{1-C}{T_{пп+1}} \right) \quad (8)$$

Для моделирования были приняты следующие условия: электростанция состоит из 5 одинаковых турбогенераторов номинальной мощности 100 МВт, коэффициент резерва мощности равен 1.1. Параметры, необходимые для моделирования, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры схемы

$D$	$T_J$	$\sigma$	$T_C$	$T_{II}$	$T_{III}$
-	с	-	с	с	с
2	10	0.07	0.2	0.2	5

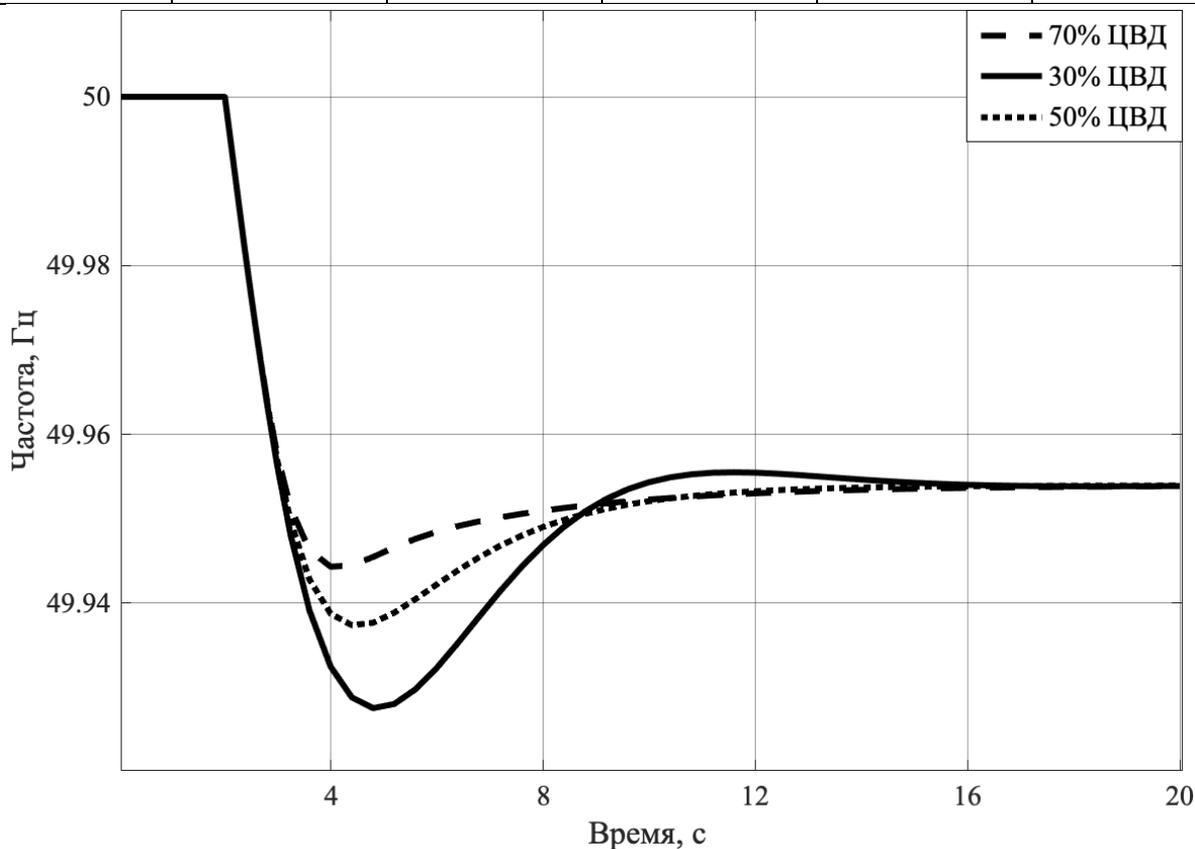


Рис. 2. Полученные графические зависимости

В рамках исследования были проведены три эксперимента при различных соотношениях цилиндров высокого и низкого давления в конечной мощности: 70% ЦВД, 30% ЦВД и 50% ЦВД. Результаты экспериментов в графическом виде представлены на рисунке 2.

Из графиков можно заметить, что чем выше доля ЦВД в конечной мощности, тем плавнее изменяется частота вращения турбины, а также уменьшается просадка частоты. На характер полученных зависимостей оказывает очевидное влияние наличие промежуточного перегрева пара: с увеличением доли ЦВД в конечной механической мощности турбины кривая частоты приобретает более

сложный вид: при сравнительно малой доле ЦНД переходный процесс носит апериодический характер, но с ростом доли ЦНД переходный процесс смещается от аperiодического к колебательному. Этот факт обусловлен дополнительным интегрированием в блоке промежуточного перегрева.

Проанализировав три соотношения ЦНД и ЦВД, можно сделать следующий вывод: с ростом доли ЦВД в конечной мощности турбины переходный процесс, обусловленный малыми возмущениями, носит более апериодический характер со сравнительно малыми просадками частоты и сравнительно более быстрым переходом в установившийся режим. Таким образом, наиболее устойчивой к малым возмущениям оказалась система, турбогенераторы которой работают в режиме минимального отбора пара.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Стернинсон Л.Д. Переходные процессы при регулировании частоты и мощности в энергосистемах. – М.: Энергия, 1975.- 216 с.
2. Павлов Г.М., Меркурьев Г.В. Автоматика энергосистем. – СПб.: Центр подгот. кадров (СЗФ АО «ГВЦ Энергетики»), 2001.- 387 с.

Научный руководитель: Ю.Н. Исаев, д.ф-м.н., профессор ИШЭ ТПУ.

### **ИНСТИТУТ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ, АТОМНЫЕ И ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ**

И.Р. Валирахманова

Казанский государственный энергетический университет

Системы освещения на основе светодиодов на сегодняшний день применяются как в качестве уличного освещения, так и для освещения административных и жилых помещений. Наибольшую опасность представляет использование данного типа освещения именно в жилых помещениях [1, 5]. Это связано прежде всего с тем, что в составе спектра свечения светодиодов наблюдается пик интенсивности в диапазоне длин волн от 455 до 465 нм (диапазон длин волн, воспринимаемый нашим глазом как синий свет) [3; 6]. Воздействие на сетчатку глаза электромагнитными волнами данного диапазона негативно влияет на рефлексию зрачка и на выделение гормона мелатонина, который отвечает за ощущение светлого время суток или ночи. Из-за этого нарушаются биоритмы организма, что влечет за собой преждевременное старение, бессонницу, быструю утомляемость [4, С. 2].

В стенах дома человек проводит наибольшую часть вечернего времени. В этот период организм человека должен понимать приближение ночи и соответственно замедлять работу нервной системы, некоторые биологические процессы, готовиться ко сну. Но в сетчатке глаза помимо палочек и колбочек, которые отвечают за формирование картинки, содержится светочувствительный пигмент меланопсин, который посылает сигнал мозгу о наступлении дня или ночи на