

УДК 621.311

Д.Н. Гармидер, В.А. Фомин

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМОЙ

Согласно «Энергетической стратегии России на период до 2020 года» развитие электроэнергетики в европейской части России происходит за счет реализации ПГУ — установок парогазового цикла (строительство новых ПГУ и техническое перевооружение действующих ТЭС с замещением паросиловых установок на парогазовые). Примером тому может послужить планируемый ввод в эксплуатацию в конце 2012 года парогазового энергоблока ПГУ-450Т на Правобережной ТЭЦ-5 ОАО ТГК-1 в Санкт-Петербурге.

В результате технического перевооружения в структуре энергосистем европейской части России возрастает доля парогазовых энергоблоков, и становится актуальным вопрос их участия в противоаварийном управлении генерирующей мощностью. В различных режимных ситуациях для предотвращения аварий в энергосистеме может потребоваться импульсная разгрузка турбин с последующим восстановлением или ограничением мощности.

Разработана динамическая модель энергоблока, которая позволяет графически отобразить динамику переходных процессов в аварийных режимах при различных возмущениях. В ней каждый элемент установки представлен уравнениями, характеризующими его поведение при переходных процессах.

Расчетная схема энергоблока представлена на рис. 1 [1]. Энергоблок построен по схеме «дубль-блок» и включает в себя две газотурбинные установки (ГТУ) ГТЭ-160 с котлами-утилизаторами типа П-90 и одну паровую турбину (ПТ) типа Т-150. Котлы-утилизаторы — двухконтурные. Паровая турбина двухцилиндровая, рассчитана на прием пара двух давлений.

В качестве основного исследуемого режима работы был принят режим зимнего максимума нагрузки энергоблока. Структура тепловой схемы ПГУ может быть изменена. Например, одна ГТУ может быть отключена и мощность ПТ и энергоблока в целом снижена до 50 % от номинальной. Паровая турбина может работать как

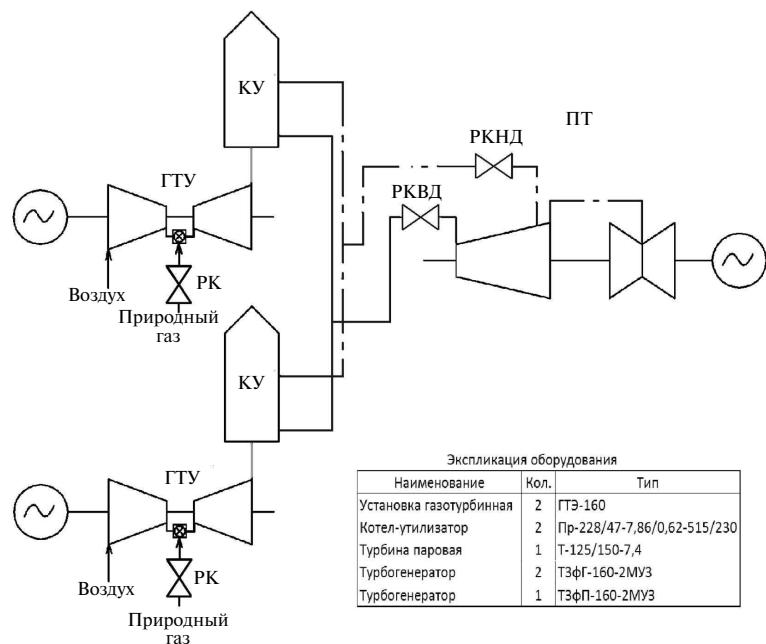


Рис. 1. Расчетная схема энергоблока



в конденсационном, так и в теплофикационном режимах.

Математическая модель ПГУ разработана на базе уравнений динамики ее основного оборудования.

Для описания переходных процессов в ГТУ использованы уравнения ротора, мощности и автоматической системы регулирования (ACP) [4].

Котел-utiлизатор рассмотрен как обогреваемый объем с пароводяным теплоносителем, к которому подводится теплота выхлопных газов ГТУ. Паровая турбина разбита на четыре отсека, границами которых являются камеры подвода пара высокого и низкого давлений и камеры отборов пара на теплофикацию. Расходы пара через отсеки описаны уравнением Стодолы — Флюгеля; промежуточные камеры рассмотрены как необогреваемые объемы.

На рис. 2 представлена схема типового контура АСР [2, 3]. Данная схема справедлива как для управления регулирующими клапанами пара высокого и низкого давлений паровой турбины, так и для управления регулирующими клапанами природного газа газовых турбин.

На вход электрогидравлического преобразователя (ЭГП) поступают два электрических сигнала: ϕ/δ от пропорционального регулятора скорости (РС) и x от противоаварийной автоматики энергосистемы. Выходной гидравлический сигнал ЭГП $\xi_{\text{ЭГП}}$ управляет положением μ сервомотора регулирующего клапана (СРК), который соответствует также и положению самого регулирующего клапана (РК).

В итоге получена система нелинейных дифференциальных и алгебраических уравнений для относительных переменных параметров, характеризующих режимы ПГУ при переходных процессах. Для решения данных уравнений и построения графиков переходных процессов использована программная система MathCAD.

Импульсная разгрузка турбины представляет собой быстрое уменьшение мощности турбины за счет кратковременного прикрытия регулирующих клапанов и применяется для компенсации избыточной кинетической энергии роторов агрегатов на начальной стадии переходного процесса. Кратковременная разгрузка турбины осуществляется путем подачи на ЭГП импульса прямоугольной формы от регуляторов энергосистемы. Параметры импульса характе-

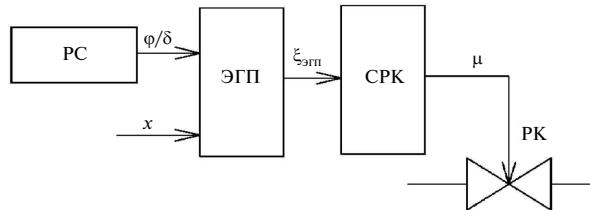


Рис. 2. Схема типового контура АСР турбин

ризуются следующими величинами: амплитудой (глубиной), которая измеряется в единицах неравномерности (сигнал амплитудой в одну неравномерность соответствует снижению нагрузки турбины на 100 %), и продолжительностью. Импульсная характеристика объекта управления представляет собой его реакцию на импульсное воздействие.

На рис. 3 представлены импульсные характеристики турбины ГТЭ-160 при подаче на ЭГП сигнала амплитудой в две неравномерности и продолжительностью 0,1 с. На рис. 3, а изображены импульсные характеристики системы регулирования турбины, на рис. 3, б — процесс изменения мощности. Через 0,12 с после подачи воздействия мощность турбины снижается на 52 %.

На рис. 4 представлены импульсные характеристики турбины Т-150 в конденсационном режиме при подаче сигнала импульсной разгрузки на ее регулирующие клапаны. На рис. 4, а показаны графики процессов относительных изменений расходов пара через отсеки турбины. Процессы изменения этих параметров в каждом из отсеков схожи друг с другом. На рис. 4, б — изменение мощности турбины. Через 0,12 с мощность турбины уменьшается на 60 %.

На рис. 5 изображены переходные процессы в паровой турбине в теплофикационном режиме. Как видно, расходы через последние отсеки турбины изменяются значительно меньше, чем в конденсационном режиме. Связано это с тем, что давление пара в проточной части турбины снижается быстрее, чем давление пара в сетевых подогревателях, поэтому поток пара в подогреватель сначала уменьшается до нуля, а затем пар из подогревателя поступает в турбину. Поступающий в турбину пар снижает скорость и глубину разгрузки отсека, следующего за отбором. В результате турбина разгружается только на 53 %.

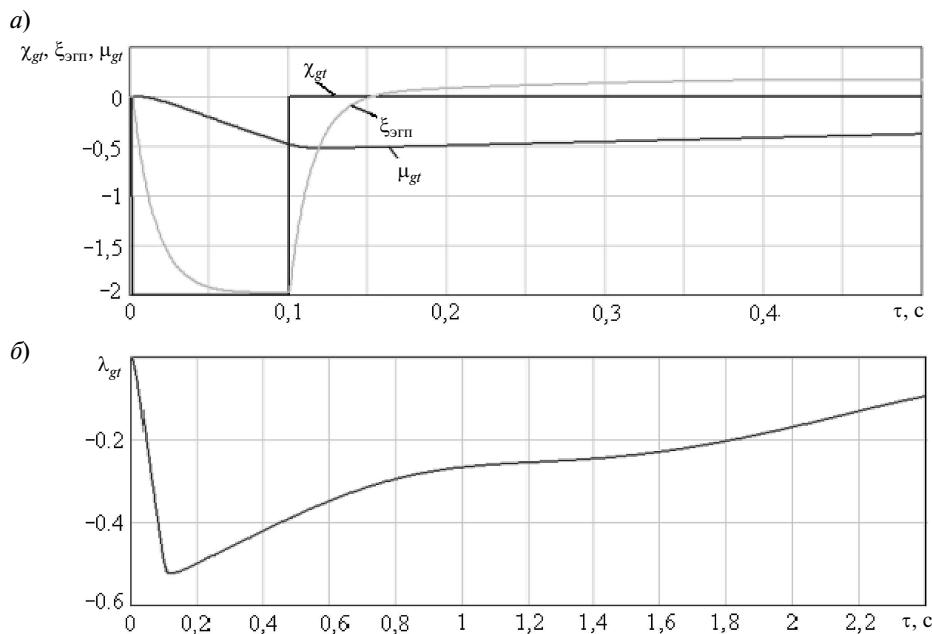


Рис. 3. Импульсные характеристики ГТЭ-160:
 χ_{gt} — управляющий импульс; $\xi_{\text{ЭГП}}$ — сигнал ЭГП; μ_{gt} — перемещение сервомотора регулирующего клапана; λ_{gt} — изменение мощности турбины

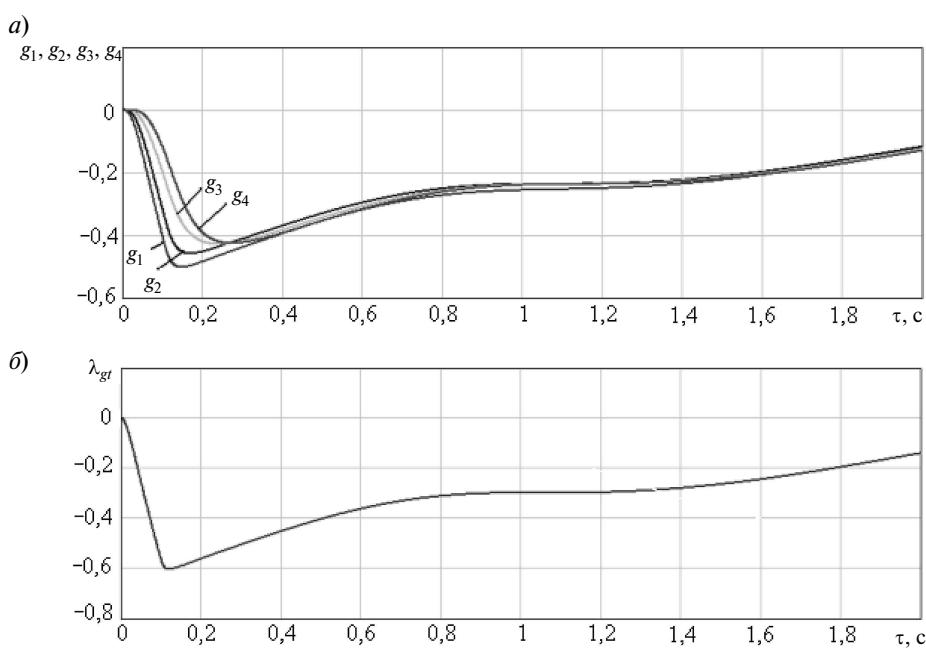


Рис. 4. Импульсные характеристики Т-125 в конденсационном режиме:
 g_1-g_4 — изменения расходов пара через отсеки турбины; λ_{pt} — изменение мощности турбины

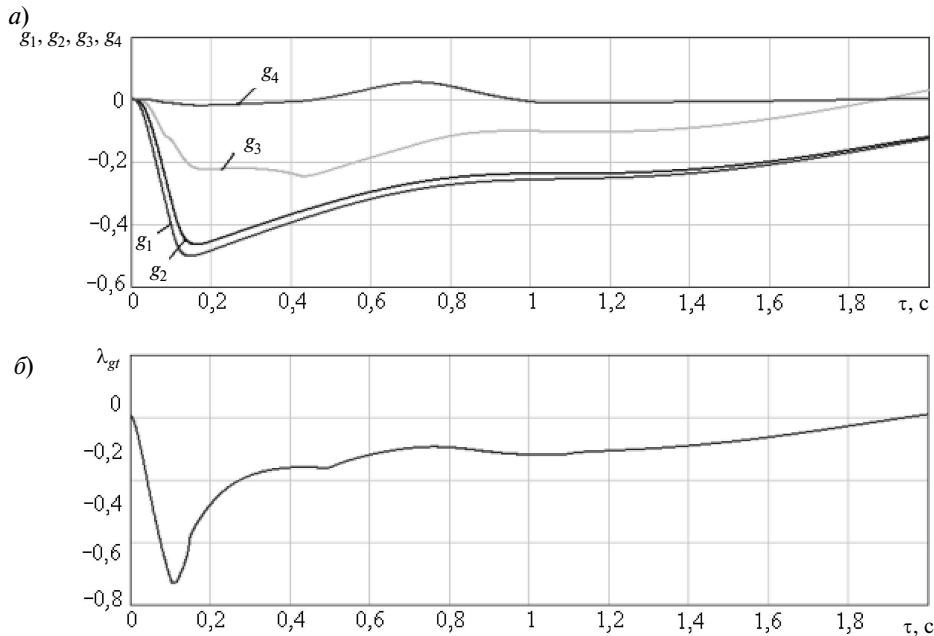
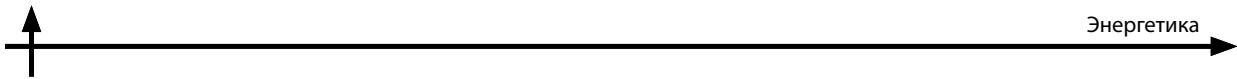


Рис. 5. Импульсные характеристики Т-125 в теплофикационном режиме:
 g_1-g_4 — изменения расходов пара через отсеки турбины; λ_{pt} — изменение мощности турбины

Результаты расчетов импульсных характеристик турбин обобщены для различных параметров (A — амплитуда, T_i — длительность импульса) входных импульсов от регуляторов энергосистемы и представлены на импульсных диаграммах (рис.6).

На рис. 7 показаны импульсные диаграммы для энергоблока в целом при одновременной

разгрузке всех турбин для схемы с одной и двумя газовыми турбинами.

Импульсные диаграммы показывают, что глубина разгрузки турбин и всего энергоблока зависит от амплитуды и длительности входного импульса. Амплитуда импульса влияет на скорость закрытия окон золотника СРК: чем больше импульс, тем быстрее закрывается РК. Уве-

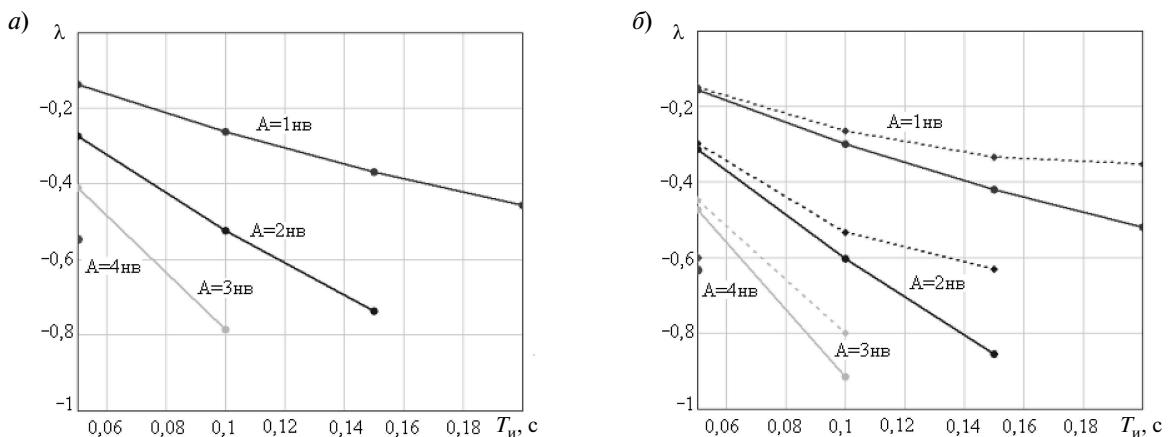


Рис. 6. Импульсные диаграммы турбин ГТЭ-160 (а) и Т-125/150-7, 4 (б):
 — конденсационный режим, --- теплофикационный режим

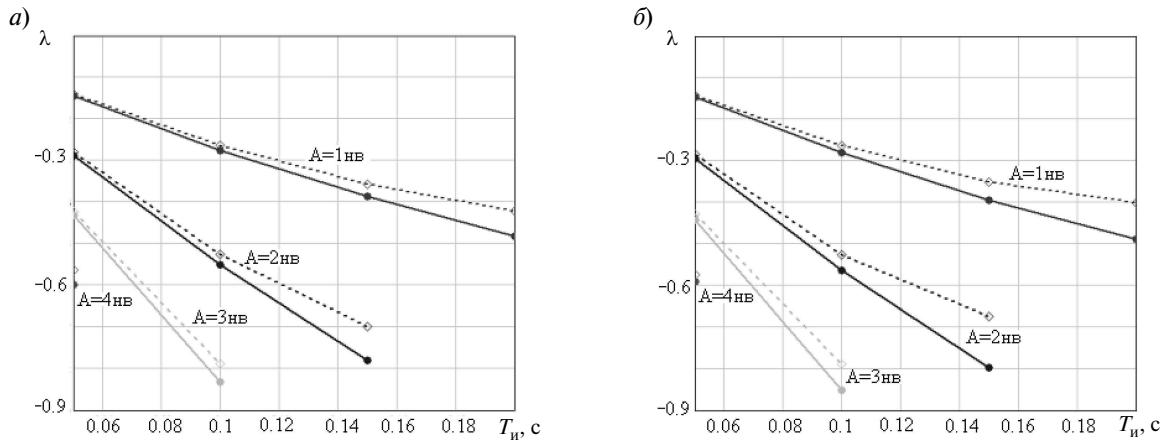


Рис. 7. Импульсные диаграммы ПГУ с двумя (а) и одной (б) ГТ:
— конденсационный режим, --- теплофикационный режим

личение степени разгрузки агрегата зависит от длительности импульса.

На импульсных диаграммах ПГУ (см. рис. 7) показано, что максимальная глубина разгрузки энергоблока составляет 85,2 и 83,2 % в конденсационных режимах с одной и двумя работающими ГТ и 78,8 % — в теплофикационных режимах при импульсном воздействии с амплитудой, равной трем неравномерностям (3 нВ), продолжительностью 0,1 с. При использовании более длительного сигнала с той же амплитудой получается неустойчивый переходный процесс разгрузки ПГУ, вследствие чего происходит аварийный останов энергоблока с закрытием стопорных клапанов. С уменьшением амплитуды управляющего воздействия увеличивается зона устойчивости.

В результате выполненных исследований разработана система нелинейных уравнений

и получена математическая модель динамики парогазового энергоблока, используя которую можно наглядно изобразить переходные процессы изменения параметров ПГУ в аварийных ситуациях.

Путем обобщения результатов расчетов режимов импульсной разгрузки отдельных турбин и всего энергоблока получены импульсные диаграммы ПГУ, которые показывают, что быстродействие систем регулирования турбин ПГУ-450Т позволяет экстренно управлять вырабатываемой мощностью энергоблока для ликвидации системных аварий.

Выбором амплитуды управляющего сигнала можно добиться необходимой скорости разгрузки. С помощью полученных импульсных диаграмм энергоблока ПГУ-450Т можно, варьируя длительность импульса, определить параметры необходимой глубины разгрузки энергоблока с выполнением условий устойчивости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 014–150–076-TX.001. ТЭЦ-5 АО «Ленэнерго».— Расширение, II очередь. Главный корпус. Схема тепловая принципиальная ПГУ-450Т блока № 2 [Текст] / ОАО «Севзап НТЦ», филиал СевзапНИПИЭнергопром-Севзапэнергомонтажпроект.— СПб., 2010.
2. РЭ 01 3170109. Руководство по эксплуатации. Газотурбинная установка ГТЭ-160 [Текст].
3. РЭ 8610004 0101. Турбина Т-125/150–7,4. Система регулирования. Руководство по эксплуатации [Текст].
4. Кириллов, И.И. Регулирование паровых и газовых турбин. Примерные расчеты и задания [Текст] / И.И. Кириллов, В.А. Иванов.— СПб.: Машиностроение, 1966.