

ента на фоне проводимого лечения и на момент освобождения из учреждения, а также рекомендации по дальнейшей тактике лечения.

Таким образом, введение предложенных организационно-управленческих аспектов медицинского обеспечения лиц с артериальной гипертензией, содержащихся в учреждениях УИС, позволит осуществлять более эффективный контроль за распространностью сердечно-сосудистой патологии и будет способствовать снижению смертности от ее осложнений среди подозреваемых, обвиняемых и осужденных.

Библиографические ссылки

1. Шальнова С. А., Деев А. Д., Вихирева О. В. Распространенность артериальной гипертензии в России: информированность, лечение, контроль // Профилактика заболеваний и укрепление здоровья. – 2001. – № 2. – С. 3–7.

2. Шальнова С. А. Эпидемиология артериальной гипертензии в России: портрет больного // Артериальная гипертензия: электронный научный журнал. – 2008. – № 2(2). – URL: <http://www.mif-ua.com/archive/zhurnal-arterialnaya-gipertenziya/about> (дата обращения: 28.02.2014).

3. Там же.

4. Шальнова С. А. Эпидемиология сердечно-сосудистых заболеваний и факторы риска в России // Кардиология. Национальное руководство. – М.: Гэотар-Медиа, 2010. – С. 38.

Получено 30.03.2015

5. Там же.

6. К вопросу использования высоких информационных технологий в прогнозировании исходов сердечно-сосудистых заболеваний / Л. А. Лещинский, С. Б. Пономарев, И. В. Логачева, Е. Е. Тюлькина, И. Г. Русяк, А. Ф. Фархутдинов // Клиническая медицина. – 2000. – № 1. – С. 31.

7. Шальнова С. А. Факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний и показатели ожидаемой продолжительности жизни населения России: автореф. ... дис. д-ра мед. наук. – М., 1999. – 46 с.

8. Сопряженность функционирующих систем в патогенезе артериальной гипертензии / И. В. Логачева, И. В. Брук, Е. А. Гуничева, С. Б. Пономарев // Артериальная гипертензия. – 2010. – Т. 16. – № 3. – С. 325–332.

9. К вопросу о применении информационных систем для оптимизации тактики ведения больных в местах лишения свободы / С. Б. Пономарев, М. М. Горохов, А. В. Серебренников, С. Г. Логинова // Интеллектуальные системы в производстве. – 2007. – № 2. – С. 100–103.

10. Системный аспект информатизации управления в крупных системах (на примере системы здравоохранения) / К. А. Романов, Е. В. Дюжева, И. А. Латыпова, Д. В. Баранова, Л. Р. Нуриахметова // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2014. – № 7-1. – С. 53–56.

11. О порядке организации медицинской помощи лицам, отбывающим наказание в местах лишения свободы и заключенным под стражу: приказ Минздравсоцразвития и Минюста РФ от 17.10.2005 № 640/190. – URL: <http://poisk-zakona.ru/96950.html> (дата обращения: 18.03.2014).

УДК 621.488-047.58:681.513.6

И. В. Бахирев, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ГАЗОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Введение

Опубликованные в статье результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки РФ № 13.832.2014/К «Разработка методологических основ адаптивного управления автономными и неавтономными газотурбинными электростанциями мощностью до 25 МВт».

Газотурбинные установки (ГТУ) находят применение не только в авиации, но и для газоперераскачки и в составе газотурбинных электростанций (ГТЭС), такие ГТУ работают в различных условиях и с резким изменением нагрузки. Поэтому ГТУ как объект управления требует развития систем автоматического управления (САУ), в том числе использования принципов адаптации.

Этому посвящено большое число публикаций, в том числе в последнее время. Например, в статье [1] рассмотрено адаптивное управление с использованием конечно-частотной идентификацией объекта управления. В статье [2] применяется предсказатель для настройки САУ ГТУ.

Для адаптивного управления необходима информация о поведении объекта. Для получения этой информации используется модель ГТУ, один из вариантов – это эталонная модель (ЭМ).

Один из возможных вариантов САУ с ЭМ и нейронечетким управлением представлен на рис. 1.

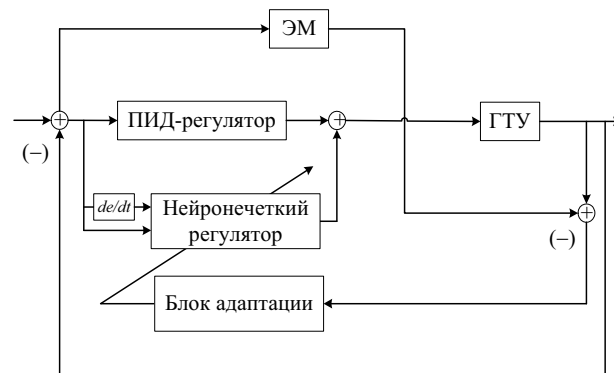


Рис. 1. Структура САУ с ЭМ

На рис. 1 рассогласование между ГТУ и ЭМ поступает на блок адаптации, который подстраивает параметры нейронечеткого регулятора. Регулятор подобной структуры подробно рассмотрен в работе [3].

Рассмотрим получение модели ГТУ для адаптивной САУ.

Модель ГТУ

В работах [4–8] рассматривается получение модели ГТУ по принципу «черного ящика». В целях сокращения времени получения модели ГТУ было принято решение получить максимально простую по структуре модель газотурбинной установки, ее структура должна отражать основные физические принципы преобразования энергии в ГТУ.

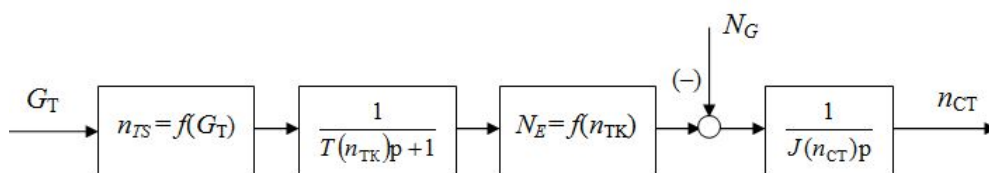


Рис. 2. Структура модели

Уравнения, описывающие динамические звенья на рис. 2, имеют следующий вид:

а) уравнение ротора турбокомпрессора

$$\frac{dn_{TK}}{dt} = (n_{TS} - n_{TK}) / T_T; \quad (1)$$

б) уравнение свободной турбины

$$\frac{dn_{CT}}{dt} = \frac{1}{n_{CT}J(n_{CT})} (N_E - N_G). \quad (2)$$

Поясним выбранную на рис. 2 структуру. Турбокомпрессор может быть представлен аperiodическим звеном, поскольку переходный процесс по частоте вращения турбокомпрессора имеет явный аperiodический характер. Свободная турбина представлена идеальным интегрирующим звеном, так как при расбалансе мощностей частота вращения свободной турбины или возрастает, или уменьшается практически по линейному закону (при рассмотрении больших промежутков времени переходный процесс отклоняется от линейного, но этим на первом этапе рассмотрения можно пренебречь). Если дозатор топлива не относится к структуре регулятора, то он тоже должен дополнять структуру на рис. 2.

В работе [9] по результатам экспериментов в разомкнутом контуре было замечено запаздывание мощности полученной модели от мощности сложной поэлементной модели. Это расхождение, по-видимому, вызвано тем, что часть газов от сгорания топлива попадает непосредственно на свободную турбину [10]. Для учета этой особенности в уравнение (2) была добавлена производная n_{TK} , таким образом, уравнение (2) приняло вид

$$\frac{dn_{CT}}{dt} = \frac{1}{n_{CT}J(n_{CT})} \left(\left(1 + k_e \frac{dn_{TK}}{dt} \right) N_E - N_G \right). \quad (3)$$

На рис. 2 показана структура модели: $n_{TS} = f(G_T)$ – нелинейная статическая характеристика, отражающая преобразование расхода топлива (кг/ч) в обороты турбокомпрессора (об/мин.); $T(n_{TK})$ – постоянная времени турбокомпрессора, зависящая от текущей частоты вращения турбокомпрессора; $N_E = f(n_{TK})$ – нелинейная статическая характеристика, отражающая преобразование частоты вращения турбокомпрессора (об/мин.) в мощность свободной турбины (кВт); N_G – мощность нагрузки (кВт); $J(n_{CT})$ – суммарный приведенный к валу свободной турбины момент инерции; n_{CT} – частота вращения свободной турбины (об/мин.).

Проверка модели в замкнутом контуре

Сравним поведение простой и сложной моделей в замкнутом контуре с ПИ-регулятором.

На основании приведенных данных экспериментов в замкнутом контуре, один из которых приведен на рис. 3, можно сделать вывод, что введение производной в уравнение (3) значительно снизило колебательность системы в случае с П-регулятором и крайне незначительно влияет на колебательность в случае с ПИ-регулятором. Для исправления ситуации с колебательностью простой модели было решено заменить производную в уравнении (3) на реальное дифференцирующее звено:

$$\frac{dn_{CT}}{dt} = \frac{1}{n_{CT}J(n_{CT})} \left(\left(1 + k_e \frac{dn_{TK}}{dt} - T \frac{dN'_E}{dt} \right) N_E - N_G \right), \quad (4)$$

где N'_E – выход реального дифференцирующего звена.

В силу того что прямая связь между скоростью вращения турбокомпрессора и скоростью вращения свободной турбины является газодинамической и, как следствие, трудно идентифицируемой, коэффициент усиления и постоянная времени реального дифференцирующего звена находились методом подбора. В результате они были выбраны константами для всех режимов работы. Отчасти это послужило причиной замены табличной зависимости постоянной времени турбокомпрессора на эквивалентную постоянную времени для всех режимов работы. На рис. 4 представлен переходный процесс с ПИ-регулятором окончательной версии модели. Все настройки регуляторов и изменения нагрузки идентичны для простой и сложной модели. Первый участок в эксперименте, соответствующий режиму холостого хода, имеет заметные отличия в силу рассогласования начальных условий.

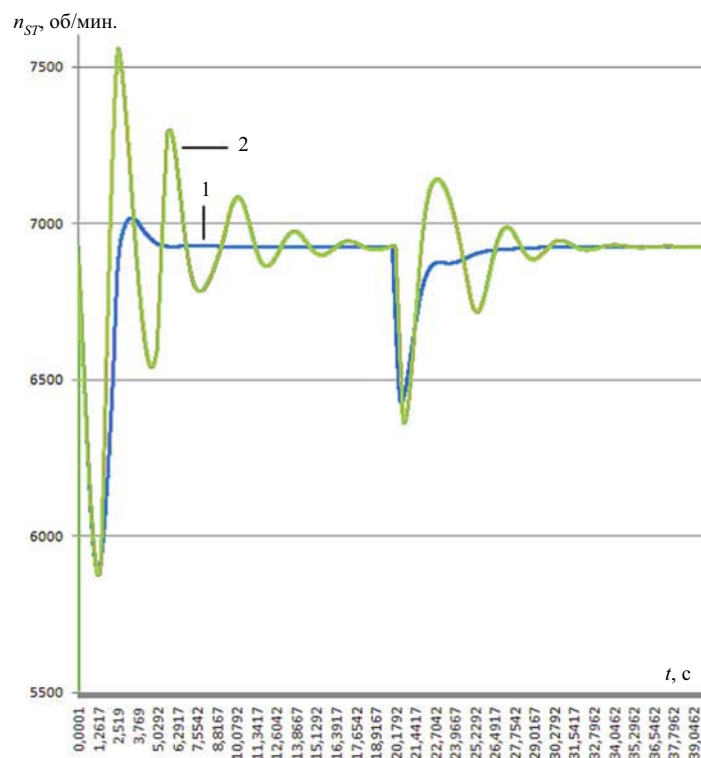


Рис. 3. Частота вращения свободной турбины, опыт с ПИ-регулятором:
1 – частота вращения свободной турбины сложной модели, 2 – частота вращения свободной турбины простой модели

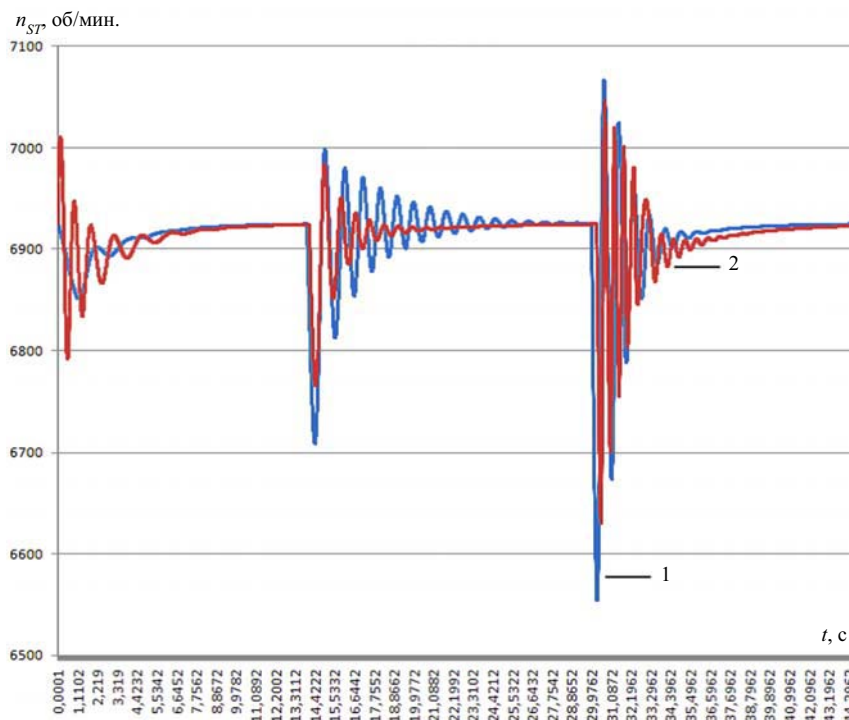


Рис. 4. Частота вращения свободной турбины, опыт с ПИ-регулятором (финальная версия простой модели):
1 – частота вращения свободной турбины сложной модели; 2 – частота вращения свободной турбины простой модели

Заключение

В результате проведенной работы получена простая модель со структурой, основанной на физических принципах преобразования энергии. Приоритетным направлением при дальнейшей работе с этой моделью является идентификация связи между рас-

ходом топлива и частотой вращения свободной турбины, благодаря которой мощность свободной турбины меняется быстрее, чем скорость вращения турбокомпрессора. На данном этапе параметры связи, заданной реальным дифференцирующим звеном, являются константами, что вынуждает использовать

вместо таблицы одну эквивалентную постоянную времени для апериодического звена аппроксимирующего турбокомпрессор. Таким образом, уточнение данных об этой связи позволит вернуться к таблице постоянных времени турбокомпрессора. Это позволит, в свою очередь, повысить точность моделирования и производить настройку регулятора дозатора газа, за счет которого компенсируют постоянную времени турбокомпрессора.

Библиографические ссылки

1. Александров А. Г., Шатов Д. В. Частотное адаптивное управление по заданной точности // Проблемы управления. – 2014. – № 5. – С. 7–13.
2. Junxia Mu, David Rees, G. P. Liu Advanced controller design for aircraft gas turbine engines // Control Engineering Practice. – 2005. – No. 13. – Pp. 1001–1015.
3. Бураков М. В., Коновалов А. С. Нейронечеткие системы управления // Информационно-управляющие системы. – 2002. – № 1. – С. 2–7.
4. Там же.
5. Килин Г. А., Кавалеров Б. В., Один К. А. Построение быстрорешаемой модели ГТУ для автоматизированной настройки систем управления // Научные исследования и инновации. – 2012. – Т. 6. – № 1. – С. 157–164.
6. Килин Г. А., Кавалеров Б. В., Один К. А. Идентификация МТ Capstone для модельного испытания и настройки систем управления // Материалы VI Всерос. науч.-техн. интернет-конф. «Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике». – Изд-во ПНИПУ, 2012. – С. 168–174.
7. Алгоритм построения быстрорешаемой модели газотурбинной газоперекачивающей установки по экспериментальным данным / Б. В. Кавалеров, К. А. Один, Г. А. Килин, И. В. Бахирев, А. Ю. Поварницын // Вестник ИжГТУ. – 2013. – № 3(59). – С. 116–118.
8. Килин Г. А., Кавалеров Б. В., Один К. А. Выбор математических моделей для газотурбинных установок различных версий применения // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2013. – № 8. – С. 155–165.
9. Кавалеров Б. В., Бахирев И. В. Построение упрощенной модели ГТУ с учетом основных физических принципов преобразования энергии // Материалы VIII Всерос. (с международным участием) науч.-техн. интернет-конф. «Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике» (Пермь, 2015 г.) / Мин-во образования и науки Российской Федерации ; Пермский национальный исследовательский политехнический ун-т. – Пермь, 2015. – С. 143–154.
10. Кириллов И. И. Автоматическое регулирование паровых и газовых турбин и газотурбинных установок. – Л. : Машиностроение, 1988. – 447 с.

Получено 24.05.2015