

*И. А. Куркин, А. Н. Грибков**

АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНОСТИ КЛАССИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Энергосберегающие технологии позволяют не только снизить производственные затраты, но и уменьшить техногенное влияние на окружающую среду.

В условиях реального производства, затраты энергии на любой технологический процесс можно разделить на две части – разница энтальпий и энергий между исходными веществами и результатом процесса, а также потери энергии в ходе технологического процесса. С точки зрения известных на настоящий момент законов физики, уменьшить разницу энтальпий не представляется возможным. Однако, можно уменьшить потери энергии на «паразитные» процессы. Применение систем оптимального управления технологическими процессами позволяет снизить энергетические потери и получить экономические и экологические преимущества на основе более глубокого понимания законов природы.

Исторически, целью энергосбережения было уменьшение затрат энергии в различных технологических процессах и, как следствие, уменьшение себестоимости продукции.

В процессе развития мировой промышленности и увеличения техногенного влияния на окружающую среду все более актуальными становятся проблемы экологии и защиты окружающей среды, в связи

* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента ФГБОУ ВПО «ТГТУ» А. Н. Грибкова.

с чем значительный интерес представляет собой задача анализа используемых в теории оптимального управления критериев оптимальности с новой стороны – с точки зрения уменьшения техногенно-го влияния на окружающую среду.

Классические критерии, минимизация которых проводится в теории оптимального управления, приведены в табл. 1 [1]. Рассмотрим данные критерии и области их применения более подробно.

1. Классические критерии теории оптимального управления

Вид критерия	Описание критерия
$J_e = \int_{t_0}^{t_e} u_e^2(t) dt$	Критерий минимума затрат энергии для управляющих воздействий $u_e(t)$, основанных на электричестве
$J_f = \int_{t_0}^{t_e} u_f(t) dt$	Критерий расхода топлива. Эквивалентен критерию минимума затрат энергии для управляющих воздействий, основанных на сжигаемых видах топлива
$J_s = \int_{t_0}^{t_e} dt$	Критерий максимального быстрогодействия. Минимум затрат времени на перевод объекта управления из начального состояния в конечное
$J_d = x_1^e - x_1(t_e) $	Минимальное отклонение конечного состояния (точность выхода на заданный режим)
$J_0 = \int_{t_0}^{t_e} ((x_1(t) - x_1)^2 + c u_e^2(t)) dt$	Квадратичный критерий. Минимизирует затраты электрической энергии и отклонение фазовой переменной от заданного значения
$J_{s,d} = \int_{t_0}^{t_e} dt + c(x_1^e - x_1(t_e))^2$	Максимальное быстродействие и точность
$J_{s,f} = \int_{t_0}^{t_e} (c + u_f(t)) dt$	Максимальное быстродействие и минимум расхода топлива
$J_{e,f} = \int_{t_0}^{t_e} (u_e^2(t) + c u_f(t)) dt$	Минимальные затраты энергоресурсов для гибридных объектов

Критерий минимума затрат энергии J_e используется для объектов, управление которыми производится током или напряжением, например – электрические нагреватели, вытяжные вентиляторы, электромеханические приводы, электродвигатели и т.д. При решении задач оптимального управления рассматривается весь временной интервал $[t_0, t_e]$ процесса, и минимизируются суммарные затраты энергии.

Критерий минимума расхода топлива J_f используется для объектов, управление которыми осуществляется топливом, например, паровые калориферы, газовые горелки, обогрев пеллетами и т.д. Рассматривается весь временной интервал управления процессом и минимизируются суммарный расход топлива, что при данных типах управляющих элементов эквивалентно уменьшению потерь энергии.

Критерий максимального быстрогодействия с точки зрения экологии является наиболее вредным, так как доказано, что оптимальная функция управления будет кусочно-постоянной чередой переключений с верхнего на нижний допустимые уровни, что приводит к максимальным потерям энергии в окружающую среду и максимальному увеличению энтропии. Однако критерий J_s до настоящего времени применяется и, вероятно, в ближайшее время будет использоваться для процессов, в которых потеря времени является очень большим риском – управление ракетносителями (при отклонении от оптимального курса, корректировку требуется осуществить максимально быстро), управление в нештатных режимах, чрезвычайных ситуациях (при диагностике аварийных состояний на АЭС, при опасности аварии и т.д.).

Критерий J_d используется для процессов, в которых точность результата (достижения цели управления) является наиболее важным критерием, например системы автопилота, системы наведения, позиционирования и т.д.

В комбинированных критериях коэффициент c является весовым коэффициентом, определяющим приоритет одного из критериев, входящих в J_0 , $J_{s,d}$ или $J_{s,f}$.

Наиболее перспективными с точки зрения минимизации техногенного влияния на окружающую среду являются «энергетические» критерии J_e и J_f . Эти критерии наиболее часто используются в производстве и являются хорошо изученными, в частности, методам решения задач энергосберегающего управления посвящены монографии [2, 3]. Крите-

рии J_e и J_f , применяемые к соответствующим элементам управления, эквивалентны затратам энергии на процесс. Таким образом, минимизация данных критериев позволяет минимизировать потери энергии в окружающую среду, т.е. снизить величину приращения энтропии.

С конца XX в. сильное влияние приобрела теория глобального изменения климата, согласно которой одним из основных факторов изменения климата является техногенная деятельность человека. Одним из основных факторов воздействия человека на окружающую среду в рамках этой теории является постоянное увеличение выбросов парниковых газов в атмосферу вследствие использования сжигаемых видов топлива.

С точки зрения теории глобального изменения климата теперь следует не только минимизировать цену на топливо, но и уменьшать выбросы парниковых газов. Так, для получения одинакового количества тепла при сжигании угля в среднем выделяется почти в два раза больше углекислого газа, чем при сжигании природного газа. При изменении вида топлива произойдет изменение значения выбросов парниковых газов, однако вид функции управления останется неизменным, т.е. значение функции в точке экстремума изменится при неизменном положении самой точки экстремума. Аналогичная ситуация и для критерия J_e , с точки зрения различных способов генерации электроэнергии. Частично вопрос выбора топлива и вида генерации решается с помощью минимизации затрат первичной энергии.

Более интересной ситуация становится при рассмотрении гибридных объектов. Гибридными считаются объекты, имеющие несколько элементов управления с использованием различных видов топлива, например отопительные системы (с возможностью электрического обогрева), производственные аппараты с электроприводом, гибридные автомобили и т.д.

При исследовании гибридных объектов с учетом выбросов парниковых газов управляющие воздействия будут корректироваться в зависимости от типов используемого топлива, технологий получения тепла и электричества и т.д. Например, при использовании пеллет или древесины для обогрева, считается, что полученный углекислый газ в течение трех лет будет вновь поглощен растительностью, в отличие от ископаемых видов топлива, а при использовании электроэнергии от гидроэлектростанции, эксплуатационных выбросов углекислого газа также практически нет в сравнении с ТЭС или ТЭЦ.

Оптимальное управление гибридными объектами с учетом влияния на окружающую среду на настоящий момент исследовано недостаточно. Однако использование критериев и весовых коэффициентов, учитывающих эмиссию парниковых газов, является дополнительным резервом для уменьшения техногенного влияния человека с точки зрения теории глобального изменения климата.

Список литературы

1. *Атанс, М.* Оптимальное управление / М. Атанс, П. Л. Фалб ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1968. – 764 с.
2. *Муромцев, Д. Ю.* Методы и алгоритмы синтеза энергосберегающего управления технологическими объектами : монография / Д. Ю. Муромцев. – Тамбов ; Москва ; Санкт-Петербург ; Баку ; Вена : Изд-во «Нобелистика», 2005. – 202 с.
3. *Артемова, С. В.* Информационная система оптимального управления тепло-технологическими аппаратами : монография / С. В. Артемова. – Москва ; Санкт-Петербург ; Вена ; Гамбург : Изд-во МИНЦ, 2011. – 234 с.

Материал подготовлен при поддержке проекта TEMPUS 530620

Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» ФГБОУ ВПО «ТГТУ»