



Автоматизация испытаний САУ ГТУ газотурбинных мини-электростанций при проектировании и настройке

Б.В. Кавалеров (Пермский государственный технический университет)

Представлена методика автоматизации испытаний систем автоматического управления (САУ) газотурбинных установок (ГТУ), применяемых в качестве привода в электростанциях малой мощности. Обосновано применение методов математического моделирования электроэнергетических систем (ЭЭС) в задачах автоматизации испытаний САУ. Разработаны многофункциональные математические модели и создан программный моделирующий комплекс для автоматизации испытаний САУ на основе математической модели ЭЭС произвольной конфигурации и состава структурных элементов.

Ключевые слова: автоматизация испытаний, система автоматического управления, газотурбинная установка, синхронный генератор, мини-электростанция, электроэнергетическая система.

Введение

Малая электроэнергетика России сегодня — это примерно 49 тыс. электростанций (98,6% от их общего числа) общей мощностью 17 млн. кВт (8% от всей установленной мощности электростанций России), работающих как в энергосистемах, так и автономно [1]. Существенную нишу в малой электроэнергетике занимают мини-электростанции, создаваемые на базе отечественных конвертированных ГТУ. Авиационные ГТУ для энергетики обладают целым комплексом преимуществ: экономичность, низкая стоимость, быстрые сроки окупаемости, малая удельная масса и габариты, высокие мобильность и приемистость, короткие сроки строительства, детально отработанная технология производства, широкий диапазон климатических условий эксплуатации, практически полная автоматизация управления работой двигателя, высокий КПД использования топлива, возможность работы на разнообразном топливе (керосине, дизельном топливе, природном и попутном газе), минимальные объемы вредных выбросов в окружающую среду. Указанные преимущества, которые дополняются таким важным фактором, как импортозамещение, диктуют широкие области применения — это и условия добычи полезных ископаемых с использованием автономного электроснабжения, и разноотраслевые энергоемкие промышленные предприятия, и ТЭЦ городов и поселков, малых населенных пунктов, воинских частей и других объектов военной и гражданской инфраструктуры. Большую роль мини-электростанции должны играть также в обеспечении надежности электроснабжения и энергетической безопасности потребителей электроэнергии.

К сожалению, чувствительной проблемой при проектировании мини-электростанций на базе отечественных авиационных ГТУ длительное время остается качество вырабатываемой электроэнергии. При этом отечественные ГТУ обладают в настоящее время существенно худшими показателями по срав-

нению с зарубежными [1]. Корни проблемной ситуации во многом обусловлены физическими принципами работы двухвальной энергетической ГТУ. Двухвальная конструкция ГТУ обеспечивает высокий КПД при работе на частичных нагрузках, однако отсутствие жесткой механической связи между валами компрессора и свободной турбины (между которыми имеется только газовая связь) делает ГТУ сильно инерционным и затрудняет управление ГТУ, что особенно сильно сказывается при резких изменениях режима. С другой стороны, в составе мини-электростанции условия работы авиационных ГТУ существенно отличаются от полетных условий. Таким образом, снижение эксплуатационных характеристик мини-электростанций может быть объяснено двумя группами причин: во-первых, свойствами ГТУ как привода электрогенератора и, соответственно, новыми требованиями к ГТУ со стороны ЭСС; и, во-вторых, свойствами ЭЭС, которые обуславливают новые условия и выдвигают новые требования для работы ГТУ. В связи с этим, известны многочисленные попытки приспособить ГТУ для работы в ЭЭС за счет применения добавочных устройств как заведомо неэкономичных (поле сопротивлений, отъем избытков мощности), так и считающихся более перспективными (маховик, отъем и последующий возврат мощности). Тем не менее, эти способы вряд ли можно признать удовлетворительными уже потому, что они требуют разработки и внедрения добавочных устройств, ухудшающих массогабаритные показатели мини-электростанций. Ситуация усложняется тем, что в настоящее время САУ ГТУ зачастую продолжают строиться на основе чисто авиационных прототипов, при этом САУ ГТУ и САУ синхронных генераторов проектируются отдельно и согласование их характеристик происходит лишь на завершающих стадиях разработки мини-электростанции. Вместе с тем экспертные оценки и исследования показывают, что комплексно решить проблему согласования характерис-

тик ГТУ и ЭЭС возможно, прежде всего, за счет совершенствования САУ ГТУ, потенциал которых в этом приложении в значительной степени недоиспользован. Таким образом, сегодня налицо противоречие между широкими преимуществами внедрения газотурбинных мини-электростанций, растущим рыночным потенциалом малой энергетики, с одной стороны, и недостаточными показателями качества вырабатываемой электроэнергии по причине недостаточной эффективности САУ ГТУ, — с другой.

Решение проблемы состоит в совершенствовании методик автоматизации испытаний и настройки САУ мини-электростанций для сокращения времени проектирования САУ, сравнения вариантов САУ, снижения числа ошибок на начальных стадиях проектирования, расширения множества допустимых решений по реализации различных способов и алгоритмов управления САУ.

Автоматизация испытаний САУ энергетических ГТУ

Для автоматизации испытаний САУ, а также для настройки САУ в ходе испытаний требуется учитывать специфику работы мини-электростанций. Здесь возможны различные режимы работы (автономный, на мощную сеть, параллельный), различные конфигурации мини-электростанций (одноагрегатные, двухагрегатные, многоагрегатные), различный состав комплексной электрической нагрузки, разнообразные и плохо поддающиеся учету внешние и внутренние возмущения режима. Однако в настоящее время испытания САУ выполняются на натурных стендах с малой функциональностью по электрической нагрузке, что делает достаточно затруднительным проведение большого числа экспериментов при проектировании и модернизации САУ. При этом известно, что энергетические объекты ввиду сложности и ответственности назначения, как правило, не допускают проведения полного набора натурных экспериментов, необходимых для испытания управляющей системы. А ограниченные натурные эксперименты не позволяют с нужной достоверностью оценить функционирование САУ и к тому же требуют значительных затрат времени и материальных ресурсов, то есть весьма трудоемки. В связи с этим основным методом испытания систем управления энергообъектами является организация процесса моделирования ЭЭС с участием созданной САУ [2].

Суть разработанного подхода состоит в том, чтобы распространить эту практику на испытания САУ конвертированных авиационных ГТУ. Новизна предлагаемого подхода заключается в том, что САУ энергетической ГТУ испытывается при ее проектировании на многорежимной математической модели ЭЭС. В этом проявляется системность, позволяющая реализовать многие преимущества современных теоретических методов и практических средств для управления газотурбинными мини-электростанциями. Основным показателем функционирования ГТУ в усло-

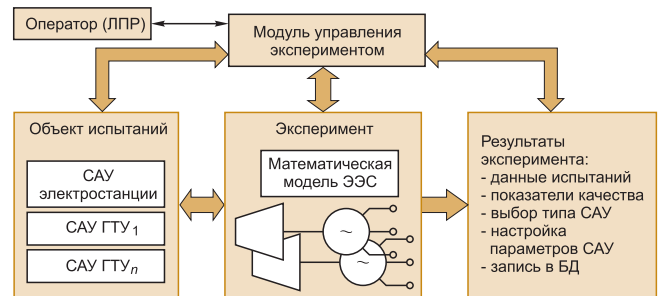


Рис. 1. Автоматизация испытаний САУ ГТУ на базе математической модели ЭЭС

виях ЭЭС является качество вырабатываемой электроэнергии по напряжению, частоте и надежности. Достижение удовлетворительных показателей функционирования ГТУ обеспечивается совершенствованием алгоритмов управления САУ ГТУ. В свою очередь, для совершенствования САУ ГТУ в новых условиях эксплуатации необходима система автоматизации испытаний.

На рис. 1. представлена структурная схема, иллюстрирующая предложенный принцип автоматизации испытаний и настройки САУ энергетических ГТУ. Испытуемые САУ подвергаются экспериментальным исследованиям на универсальной математической модели ЭЭС. По результатам испытаний принимается решение о пригодности того или иного типа САУ, производится настройка параметров САУ по заданным показателям качества, выполняется поиск наилучших решений при проектировании САУ ГТУ и САУ электростанций. На рисунке показан также оператор, который принимает решения при испытании САУ (лицо принимающее решение, далее ЛПР).

Математическая постановка задачи испытаний

Непосредственное решение задачи поиска наилучшего варианта САУ ГТУ на этапах ее проектирования связано со значительными математическими и вычислительными трудностями из-за большой размерности математического описания, дискретного характера ряда ограничений, нелинейностью, сложностью и разнохарактерностью математических моделей, большим числом вариантов исполнения и режимов работы мини-энергосистем, большим числом показателей качества, разнообразием тепловых, электромагнитных, механических процессов и многими другими факторами.

В результате задачу поиска наилучшего варианта САУ целесообразно выполнять с использованием формализованных и эвристических процедур поиска оптимального решения, основанных на применении средств вычислительной техники.

Сформулируем задачу испытаний САУ ГТУ мини-электростанций в ходе процесса ее проектирования. Как отмечено выше, наиболее проблемным элементом САУ является качество переходных процессов по частоте и напряжению, которые напрямую определяют качество вырабатываемой электроэнергии.

На основе проведенных исследований множества существующих стандартизованных, нормализованных и других применяемых показателей качества электроэнергии сформулировано множество показателей качества переходного процесса, ограниченных допустимыми значениями:

$$Q^{don} = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}. \quad (1)$$

Основными прямыми показателями качества переходных процессов по напряжению и частоте являются: $q_1 = t_{пп}$ – длительность переходного процесса,

$$q_2 = \sigma = \frac{y - y(\infty)}{y(\infty)} \text{ — отклонение;}$$

$q_3 = N_t$ – колебательность (число колебаний за время переходного процесса), сюда же можно отнести максимальную статическую ошибку

$$q_4 = \Delta = \left| 1 - \max \left(\frac{y}{y(\infty)} \right) \right|, t \rightarrow \infty \text{ и ряд других показателей.}$$

Сформируем также множества ограничений САУ:

$$G^{don} = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}. \quad (2)$$

Элементами множества являются ограничения технического задания, например, допустимые максимальный и минимальный (при сбросе режима) уровни расхода топлива ГТУ, допустимая максимальная частота вращения турбокомпрессора ГТУ, допустимое максимальное ускорение частоты вращения турбокомпрессора и др.

Запишем множество допустимых экспериментов

$$U^{don} = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}, \quad (3)$$

элементами множества являются последовательности промежуточных состояний, определяемые имитируемыми внутренними и внешними возмущениями. Каждое состояние последовательности u_i является отправной точкой очередного переходного процесса. Таким образом, число состояний каждой последовательности u_i определяет число переходных процессов, которые имитируются на математической модели ЭЭС. В частности последовательность u_i может состоять из одного элемента, это будет означать, что этот элемент множества U определяет единственный переходный процесс.

Множество типов САУ представим в виде:

$$R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}. \quad (4)$$

Элементами множества выступают множества параметрических настроек каждого типа САУ

$$R_i = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}. \quad (5)$$

Требуется найти вектор R_i допустимых настроек САУ, такой чтобы

$$F(R_i, Q, G, U) \rightarrow \min_{R_i \in R} \quad (6)$$

при системе оговоренных выше ограничений.

Число элементов множеств (2)-(5) в общем случае различно.

Общий принцип выбора наилучшего варианта САУ по результатам испытаний предусматривает два этапа.

Сначала на основании данных о вариантах выполнения и режимах работы мини-электростанции формируется математическая модель ЭЭС. Затем происходит проверка выбранного типа САУ, а также вариантов ее параметрических настроек на соответствие сделанного выбора множеству G на множестве U . Тем самым решается первая, локальная задача. При удовлетворении всему комплексу требований вариант фиксируется как возможный с определенным уровнем целевой функции (6) и записывается в БД. В случае нарушения каких-либо ограничений G и Q данный вариант настроек отвергается. Затем в допустимом пределе осуществляется изменение параметров настройки и вновь решается та же самая локальная задача. Так происходит до тех пор, пока не будут рассмотрены все выбранные варианты параметров данного типа САУ, составляющие множество R_i .

Вслед за этим решается вторая, экстремальная задача выбора наилучшей настройки: из совокупности найденных приемлемых вариантов параметрической настройки выбирается оптимальный, который соответствует минимальному значению целевой функции (6) для данного типа САУ и всем ограничениям, установленным техническим заданием. Отметим, что в зависимости от полноты постановки задачи выбора варианта САУ изменяется мощность множеств (1) – (5).

Теперь обсудим роль оператора или ЛПР (рис.1). Каждая последовательность испытаний u_i и оценка качества (6) выполняется автоматически, но интерпретация результатов в части решения об изменении характеристик и типа САУ формулируется по результатам решения задачи экспертного оценивания качества в условиях многокритериальности:

$$Q(R_i) = (q_1(R_i), \dots, q_n(R_i)) \rightarrow \text{extr}. \quad (7)$$

$R_{i \max} = \arg \min q_j(R_i)$ представляет лишь локально-оптимальное решение и определяет наилучшее решение только по j -му критерию без учета остальных. Здесь на первый план выходит ЛПР, которое последовательно решает две задачи: интерпретацию результатов в условиях многокритериальности (7) и затем выбор новых характеристик САУ.

Процедура выбора САУ имеет две составляющих: выбор типа и параметров САУ. Решение первой задачи осуществляет ЛПР с использованием банка данных, включающего классифицированные справочные файлы (методы управления, характеристики САУ, структуры, результаты предыдущих испытаний, экспертные оценки и др.). Интерактивная процедура решения задачи многокритериальной оптимизации представляет собой последовательное уточнение наиболее предпочтительного решения (по мнению ЛПР) путем перехода от одной альтернативы с учетом информации I_j , получаемой от ЛПР. Схематически процесс поиска решения R можно представить в следующем виде:

$$R_1, q_1 \xrightarrow{I_1} R_2, q_2 \xrightarrow{I_2} \dots \xrightarrow{I_{l-1}} R_l, q_l \xrightarrow{I_l} \dots \xrightarrow{I_{N-1}} R_N, q_N. \quad (8)$$

В процессе, заданном соотношением (8), происходит параллельно два вида адаптации: показателей качества к системе предпочтений ЛПР и ЛПР к задаче. Адаптация первого типа (показателей качества к ЛПР) связана с учетом информации, получаемой от ЛПР. Этот процесс связан с оптимизацией условия (7), вид которого детерминируется информацией, представляемой ЛПР. Адаптация второго типа происходит по мере обучения ЛПР.

Решение задачи поиска наилучших настроек регулятора для данного типа САУ допустимо вести или в автоматизированном режиме в соответствии с соотношением (8) или в автоматическом режиме.

В автоматическом режиме систему автоматизации испытаний (рис. 1) следует дополнить модулем автоматической настройки САУ в ходе испытаний. Модуль выполняет формирование идентификационных моделей ЭЭС по результатам проведенных испытаний. Идентификационная модель используется для автоматической настройки параметров САУ по критериям (1). Следует подчеркнуть, что и в этом случае задачу интерпретации результатов решает ЛПР.

В случае исследования работы многоагрегатной мини-электростанции в составе нескольких энергоблоков (на практике 1...8 ед.) необходимо учитывать взаимовлияние отдельных САУ. В этом случае формируется множество типов САУ (4) для каждого энергоблока. Множество экспериментов (3) учитывает конфигурацию мини-электростанции и число энергоблоков. Задача выбора наилучших настроек отдельных САУ проводится аналогично рассмотренным выше. Кроме того, в этом случае дополнительно проектируются САУ электростанции, множество вариантов исполнения которой определяется, как

$$RE = \{RE_1, RE_2, \dots, RE_n\}. \quad (9)$$

Представленные методики также позволяют производить сравнительную оценку существующих САУ и прогнозировать необходимость внедрения новых вариантов САУ при изменении схемы ЭЭС. Также становится возможным проверять работоспособность мини-электростанции в комплектации и ЭЭС заказчика или потенциального потребителя, то есть реализовать ориентацию на конечного пользователя.

Математические модели

Как следует из рис. 1, ключевой компонентой системы автоматизации испытаний САУ является математическая модель ЭЭС. Она также является и наиболее функционально сложной ввиду многовариантности конфигураций, состава элементов и возможных возмущений режима в ЭЭС. При создании математической модели ЭЭС, на которой и производится эксперимент, потребовалось решить ряд серьезных проблем. Кратко рассмотрим основные свойства разработанной математической модели.

Каждый элемент u_i множества (3) однозначно задает конфигурацию ЭЭС и состав структурных элементов ЭСС. Таким образом, математическая модель ЭЭС должна обладать свойствами адаптации к изменению состава элементов ЭЭС и ее конфигурации в ходе испытаний. Кроме того, математическая модель ЭЭС должна быть универсальной, что означает, во-первых, возможность реализовать произвольную конфигурацию моделируемой системы, а во-вторых, являться "модельно-независимой", то есть допускать использование различных типов математических моделей структурных элементов с тем, чтобы свободно включать их в модель ЭЭС. Помимо этого математическая модель должна воспроизводить как статические (установившиеся), так и динамические (переходные) режимы работы ЭЭС. Наконец, по терминологии [3] модель ЭЭС должна быть отнесена к сложным моделям, состоящим из моделей отдельных элементов и модели взаимодействия этих элементов между собой. Используется принцип структурного моделирования, при котором структура модели совпадает со структурой реальной ЭЭС поэлементно.

Математические модели элементов (синхронных генераторов, САУ генераторов трансформаторов, элементов нагрузки) стоились по принципу функциональных моделей [2], то есть на основе решения дифференциальных уравнений, описывающих элементы ЭЭС. Все модели записываются в единой универсальной векторно-матричной форме, допускающей их непосредственное включение в модель ЭЭС:

$$p_i = \pm AU - BI - H, \quad (10)$$

где I , p_i – вектор токов и вектор производных токов элемента; U – вектор напряжений, приложенных между внешними зажимами элемента; A , B – матрицы, размерность которых зависит от системы координат, в которых моделируется структурный элемент, а также от того, полные эти уравнения или упрощенные; H – вектор, определяющий воздействие на элемент со стороны средств регулирования электрических параметров; p – символ дифференцирования; знак "–" означает, что структурный элемент является источником электрической мощности (генератором), знак "+" – потребителем. Компоненты вектора H , связанные с внешним воздействием на элемент, для пассивных элементов электрической системы – нулевые, для активных – меняются на каждом шаге расчета.

Например, для наиболее ответственного элемента ЭЭС – синхронного генератора наиболее полная модель Парка-Горева с общепринятыми допущениями [4] и при учете демпферных контуров включает шесть алгебраических и восемь дифференциальных уравнений. Она преобразуется к форме (10) так, что вектор I имеет размерность пять, вектора U и H – два.

Вслед за математическими моделями отдельных элементов строится математическая модель их взаимодействия, которая должна отражать состав элементов и топологию ЭЭС. Топология задается матрицей инцидентий:

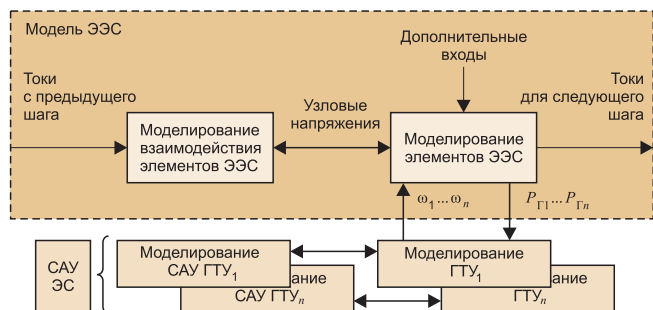


Рис. 2. Совместное математическое моделирование ГТУ и ЭЭС

$$MGM^T U = -MW - M'I, \quad (11)$$

где M – матрица инцидентности; G – блочная матрица проводимостей элементов, образующих систему; W – вектор, полученный из правых частей уравнений элементов в форме (10); M' – преобразованная матрица инцидентности; U – вектор напряжений узлов.

Процесс функционирования модели ЭЭС можно проиллюстрировать схемой (рис. 2) Узловые напряжения являются входными переменными для математических моделей элементов ЭЭС в форме (10), которые вычисляют токи для следующего шага расчета. Узловые напряжения рассчитываются по уравнению (11). Дополнительные входы представляют собой дополнительные входные переменные элементов ЭЭС, например, для синхронных генераторов – это напряжения возбуждения, вырабатываемые системами возбуждения и автоматическими регуляторами возбуждения. Поскольку электростанция может включать несколько энергоблоков, необходимо предусмотреть отдельную САУ ЭЭС, выполняющую общие координирующие и согласующие функции.

При реализации схемы рис. 2 возникает проблема сопряжения программных сред моделирования. Дело в том, что сегодня на авиапредприятиях эксплуатируются многорежимные математические модели ГТУ различного класса сложности, созданные с помощью различных языков программирования, например Fortran и др. Проблему приходится решать на уровне программных кодов [5]. Математические модели ГТУ и ЭЭС проверялась на адекватность на статических и динамических режимах работы в соответствии с результатами стендовых испытаний на авиадвигателестроительном предприятии г. Перми. Критерий несовпадения Тейла во всех испытаниях $S < 0,005$. Подробнее разработанная методика моделирования представлена в [6, 7].

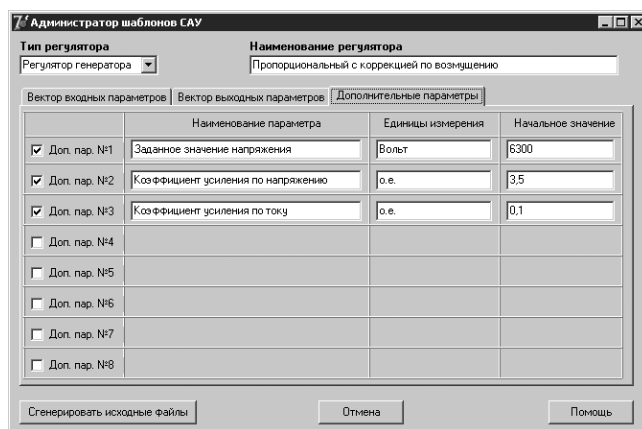


Рис. 3. Внешний вид программы "Администратор шаблонов САУ"

Программный моделирующий комплекс

Разработанная методика позволила создать программный моделирующий комплекс для испытания САУ энергетических ГТУ по заказу проектирующей организации ОАО "Авиадвигатель" (г. Пермь).

Математическое описание структурных элементов выполнено в виде DLL библиотек. Исходный код для DLL библиотек математических моделей элементов системы электроснабжения выполнен на языке программирования Borland Delphi 7, а для библиотек ГТУ – на языке программирования Fortran путем корректировки математических моделей ГТУ, разработанных ОАО "Авиадвигатель". Хранение результатов экспериментов, а также параметров элементов осуществляется в БД под управлением СУБД FireBird. Программы, осуществляющие моделирование САУ, выполняются в виде отдельных DLL библиотек. В программном комплексе применен подход, построенный по базовым принципам автопостроения, распространенным в SCADA-системах, значительно облегчающий задачу программирования.

В результате работы программы "Администратор шаблонов САУ" (рис. 3) автоматически создаются файлы, представляющие шаблоны исходного кода DLL библиотеки САУ.

Заключение

Разработана методика автоматизации испытаний САУ при их проектировании с использованием универсальной математической модели электроэнергетической системы, что позволило реализовать системный подход к выбору оптимальной структуры и параметров САУ ГТУ с тем, чтобы повысить эффектив-

Оформить подписку на журнал "Автоматизация в промышленности" вы можете:

- в России – в любом почтовом отделении по каталогу "Газеты. Журналы" агентства "Роспечать" (подписной индекс 81874) или по каталогу "Пресса России" (подписной индекс 39206).
- в странах СНГ и дальнего зарубежья – через редакцию (www.avtprom.ru).

Все желающие, вне зависимости от места расположения, могут оформить подписку,

начиная с любого номера, прислав заявку в редакцию или заполнив анкету на сайте www.avtprom.ru

В редакции также имеются экземпляры журналов за прошлые годы.

ность и качество разработки САУ за счет снижения времени испытания вариантов САУ и возможности проверки их функционирования в различных режимах работы. На основании разработанной методики создан программный моделирующий комплекс, ориентированный на предприятия отечественного двигателестроения. Апробация программного комплекса на профильном предприятии показала высокую степень адекватности воспроизведения основных режимов энергетических ГТУ и ЭЭС. В настоящее время программный комплекс используется для испытания САУ ГТУ мини-электростанций, построенных на базе авиационных двигателей ПС-90 и Д-30.

Список литературы

1. Михайлов А., Агафонов А., Сайданов В. Малая энергетика России классификация, задачи, применение // Новости электротехники. 2010. № 2.
2. Верлань А.В., Галкин В.В. Имитация динамики энергетических объектов в системах испытания программных средств управления. Киев: Наук. думка, 1991.
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978.
4. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. М.: Высш. шк. 1985.
5. Шмидт И.А., Кавалеров Б.В., Один К.А., Шигапов А.А. Сопряжение программных сред в задачах моделирования и тестирования систем управления энергетическими газотурбинными установками // Информационно-управляющие системы. 2009. № 5 (42).
6. Винокур В.М., Кавалеров Б.В., Петровичев А.Б. Программный комплекс для математического моделирования автономных мини-электростанций // Электричество. 2007, № 3.
7. Кавалеров Б.В., Кузнецов М.И., Шигапов А.А. Математическое моделирование автономных систем электроснабжения с учетом насыщения электрических машин // Электротехника. 2009, № 11.

Кавалеров Борис Владимирович — канд. техн. наук, доцент кафедры микропроцессорных средств автоматизации Пермского государственного технического университета.
Контактный телефон (902) 471-65-82. E-mail: kbv@pstu.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ КРИВОЙ РАЗГОНА НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА МАСШТАБИРОВАНИЯ

В.Л. Бажанов (Самарский государственный университет путей сообщения)

Описывается эффективный способ определения передаточной функции объекта управления по экспериментальным данным о его кривой разгона (переходной характеристике). В его основу положен принцип масштабирования. На конкретном примере продемонстрирована методика применения способа, а также его достоинства, важные с точки зрения практического использования. В их числе простота и заведомо контролируемая точность получаемого результата. Представлена новая компьютерная программа "ММ-аппроксимация", позволяющая специалистам-практикам быстро и достоверно находить передаточную функцию по имеющейся записи кривой разгона.

Ключевые слова: кривая разгона, передаточная функция, масштабирование, ПИД-регулятор.

Для разработки и качественной настройки систем автоуправления, как правило, необходимо знать передаточную функцию управляемого объекта (ОУ). Типичной является ситуация, когда в качестве исходных данных для определения передаточной функции разработчик автоматики располагает экспериментальной записью реакции ОУ на входное воздействие известной формы. Если это воздействие имело вид ступеньки, а в момент его подачи ОУ находился в равновесном состоянии, то такую реакцию принято называть переходной характеристикой или кривой разгона ОУ. Определение передаточной функции рабочего ОУ (математической модели) и вычисление ее параметров по записанной кривой разгона объекта — это одна из задач, с которыми регулярно приходится сталкиваться на практике.

Существуют разные способы ее решения. Они отличаются трудоемкостью и обеспечивают разную точность получаемого результата. Большинство способов реализуются по типовому алгоритму. Сначала делается заключение, к какому классу объектов следует отнести рассматриваемый объект. При этом устанавливается общая математическая форма, описывающая объекты данного класса. Затем эта форма конкретизируется с тем расчетом, чтобы передаточная функция в качест-

венном отношении достоверно отображала специфику экспериментальных данных об объекте управления (характер кривой разгона). На заключительном этапе одним из возможных способов выполняется идентификация параметров передаточной функции ОУ. После этого требуемый результат получен, тем не менее, работа еще не завершена, так как отсутствует уверенность в точности найденной передаточной функции. А такая уверенность необходима, поскольку недостоверная математическая модель ОУ способна сделать напрасным все, что будет получено в дальнейшем на ее основе. Поэтому неизбежен еще один этап работы, задача которого очевидна — оценить точность полученной передаточной функции. Это можно осуществить путем сравнения экспериментальных данных с расчетами, выполненными по проверяемой математической модели. Обычно начинают с расчета переходной характеристики, которая сравнивается с экспериментальной кривой разгона (с теми данными, на основе которых модель была получена). Если имеются дополнительные экспериментальные данные, то оценка выполняется более детально. К сожалению, итог оценки далеко не всегда оказывается положительным. Во многих случаях возникает неудовлетворенность точностью полученной математиче-