

ПРОГРАММА "ММ-НАСТРОЙКА" ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ ПО МЕТОДУ МАСШТАБИРОВАНИЯ

В.Л. Бажанов, А.В. Вайшнарас (СамГУПС)

Представлена новая прикладная программа "ММ-настройка", предназначенная для использования в качестве профессионального инструмента при настройке ПИД-регуляторов в замкнутых системах автоматического регулирования. Программа обеспечивает оперативное определение рациональных параметров регуляторов, используя возможности нового инженерного подхода, получившего название "метод масштабирования". Наличие у программы свойства адаптируемости позволяет успешно применять ее для настройки ПИД-регуляторов на любых ПИД-управляемых объектах. На конкретном примере показана технология практического использования программы.

Системы автоматического регулирования (САР) выполняют ответственную роль — поддерживают на заданном уровне параметры технологических установок и агрегатов различного назначения. Этим они обеспечивают безопасность и экономичность эксплуатации оборудования. Качество, с которым каждая конкретная САР справляется со своей работой, зависит от ряда факторов, в том числе от выбора параметров настройки регуляторов, который определяется свойствами объекта управления (ОУ), а также требованиями технологов к характеру процессов в контуре регулирования.

Практика показывает, что это проблемный фактор, так как значительная часть систем регулирования на предприятиях работает хуже, чем могла бы именно из-за низкого качества настройки регуляторов. В некоторой степени этому способствуют рекламные заверения производителей средств автоматизации о возможности настройки их регуляторов персоналом, не имеющим специальной подготовки. Но даже с учетом значительного возросших возможностей современных микропроцессорных регуляторов, надеяться на это по-прежнему неосмотрительно. В дальнейшем, как и прежде, гарантировать качественную настройку автоматизации смогут только специалисты и при том условии, что на работу будет выделяться достаточное время, зависящее от сложности настраиваемой системы и от совершенства применяемого профессионального инструмента.

К числу инструментов, предназначенных для качественной настройки регуляторов в замкнутых системах, относится сравнительно недавно разработанный метод масштабирования (ММ) [1, 2], который предоставляет пользователям ряд полезных практических возможностей:

- выполнять качественную настройку ПИД-регуляторов на объектах управления более широкого класса, чем при использовании других методов аналогичного назначения или функций автонастройки;
- обходиться малым объемом исходных данных об управляемом объекте, легко получаемых экспериментальным путем;
- осуществлять настройку регуляторов со специфической программной реализацией ПИД-алгоритма, а также регуляторов, реализующих другие законы управления;
- точнее учитывать требования технологов к характеру процессов в настраиваемой системе управления.

Для полноценного использования возможностей ММ, а также с целью повысить оперативность и качество практического применения метода, создана новая прикладная программа "ММ-настройка" ("ММ-tuning"). Она разработана сотрудниками НПП "ПОРА-USWO" (г. Самара) при участии авторов метода масштабирования.

Программа "ММ-настройка" работает под ОС Windows и в наиболее удобной форме реализует выполнение всех действий метода масштабирования (от ввода исходных данных о настраиваемой системе до выдачи конечного результата — параметров настройки ПИД-регулятора).

Программа наделена свойством адаптируемости, то есть возможностью формирования пользователем информационной базы программы под свои задачи и с учетом собственных предпочтений. Адаптированная программа практически гарантирует пользователю высокое качество настройки применяемых им регуляторов на всех интересующих его объектах управления.

Краткое описание программы "ММ-настройка"

Основное меню программы содержит четыре пункта: данные об объекте управления; график; выбор эталонной САР; тип настраиваемого регулятора.

Первый пункт прямо говорит о том, что метод масштабирования (как и другие методы аналогичного назначения) нуждается в данных об управляемом объекте. ММ допускает использование данных в разных формах. Для программы "ММ-настройка" выбрана проверенная временем форма — кривая разгона ОУ. Это значит, что при использовании программы потребуются сведения о реакции рабочего объекта управления на управляющее воздействие в виде ступеньки известной величины. Например, в виде записи, полученной экспериментальным путем. При наличии передаточной функции ОУ кривая разгона может быть рассчитана аналитически.

Сведения о кривой разгона ОУ должны быть введены в программу. Для этого в основном меню программы предусмотрен первый пункт — "Данные об объекте управления". Возможны два способа ввода сведений о рабочем ОУ: первый, — последовательный ввод точек кривой разгона ($x; t$) с клавиатуры и второй, — быстрая загрузка данных о кривой разгона из двух предварительно подготовленных в WordPad файлов (в одном содержатся координаты времени t каж-

дой точки кривой разгона, в другом – значения регулируемой переменной x). Правила подготовки файлов отражены в Справке программы.

Наиболее информативным для определения параметров настройки регулятора по ММ является начальный участок кривой разгона. Именно он используется при оценке порядка объекта управления и при выполнении процедуры масштабирования. Поэтому данные о нем должны быть достаточно подробными и достоверными. Конечный участок кривой разгона имеет меньшую значимость. В основном по нему оценивается степень астатизма управляемого объекта. В методе масштабирования сведения о порядке рабочего ОУ и о его степени астатизма используются при выборе эталонной САР.

Введенную кривую разгона рабочего ОУ пользователь может увидеть на дисплее, вызвав пункт меню "График". Вид кривой позволяет проконтролировать достоверность ввода данных и, при необходимости, выполнить их корректировку.

Программа "ММ-настройка" в обязательном порядке требует указать величину ступенчатого сигнала, который подавался на вход объекта управления при записи его кривой разгона. Если пользователь забудет об этом, программа сделает ему напоминание.

Особого внимания заслуживает вопрос об эталонных САР.

Принципиальная особенность ММ [1] состоит в том, что для определения параметров регулятора в настраиваемой (рабочей) системе используются сведения о другой, хорошо настроенной САР, выступающей в роли эталонной. В связи с этим в программе "ММ-настройка" предусмотрена возможность организации нескольких наборов (или библиотек) эталонных САР. Одна библиотека (базовая) составлена разработчиками ММ и присутствует в каждой приобретаемой версии программы. Она удовлетворит потребности пользователей во многих практических приложениях. Но чтобы гарантировать успешное применение программы во всех интересующих пользователя приложениях, была предусмотрена возможность формирования дополнительных библиотек эталонных САР самим пользователем. Такой подход обеспечил программе свойство адаптируемости.

В работе [2] названы два условия, при которых ММ надежно приводит к достоверному результату:

1. регуляторы в настраиваемой и эталонной системах должны иметь одинаковую программную реализацию алгоритма управления (в данном случае ПИД-алгоритма);

2. объекты управления в настраиваемой и эталонной САР должны быть однотипными (одинакового порядка и степени астатизма).

Следует отметить, что требование однотипности объектов не является строго обязательным. При наличии определенного опыта удается получать достаточно хорошие настройки для ПИД-регулятора, пользуясь эталонными системами с неоднотипными

объектами управления. Но, безусловно, соблюдение требования однотипности сводит к минимуму вероятность получения ошибочного результата. Поэтому в программу заложены достаточно широкие возможности, позволяющие каждому пользователю сформировать библиотеки эталонных САР с объектами управления всех нужных ему типов.

Требование об одинаковой программной реализации ПИД-алгоритма в эталонном и настраиваемом регуляторах продиктовано практикой. Дело в том, что специфика в программировании ПИД-закона управления в той или иной степени присутствует у большинства производителей цифровых регуляторов. В результате многие модификации серийно выпускаемых регуляторов в совершенно одинаковых условиях и при одинаковых настройках действуют по-разному. Иногда различия незначительны, а иногда носят принципиальный характер. Этот факт усложняет работу наладчиков систем регулирования.

Программа "ММ-настройка" позволяет преодолеть данное затруднение путем создания отдельных библиотек эталонных САР для регуляторов со специфичной программной реализацией ПИД-алгоритма.

Перечень имеющихся в программе библиотек эталонных САР открывается при выборе в меню пункта "Тип настраиваемого регулятора". Названия могут указывать имена фирм-производителей регуляторов. А можно сделать так, что библиотеки будут различаться не только по типу регуляторов, но и по каким-либо другим признакам, например, по характеру переходных процессов. В этом случае в списке библиотек могут появиться такие названия: "OMRON, аperiodические процессы", или "ОВЕН, 20% перерегулирование" и т. п. Возможна, например, и такая библиотека: "SIEMENS, объекты с запаздыванием". В ней будут содержаться данные о хорошо настроенных регуляторах фирмы SIEMENS на объектах управления, обладающих транспортным запаздыванием разной величины. Это даст пользователям возможность просто и надежно определять с помощью программы "ММ-настройка" параметры ПИД-регуляторов производства SIEMENS на объектах управления с таким неблагоприятным для регулирования свойством, как транспортное запаздывание.

Вполне вероятно, что специалисты производственных предприятий предпочтут целевой принцип формирования библиотек эталонных САР, при котором каждая библиотека будет ориентирована на автоматику конкретного технологического объекта или процесса. В этом случае название библиотек эталонных САР может оказаться примерно таким: "САР агрегата №3". При последовательной реализации целевого подхода программа будет адаптирована ко всем технологическим установкам и полностью решит проблему качественной настройки всех систем автоматики на предприятии.

Отметим, что содержимое библиотек эталонных САР должно быть не только полным, но и достовер-

ным. Все неточности в данных об эталонных САР неизбежно будут переноситься в каждую настраиваемую систему. Поэтому их подготовка требует аккуратности.

Можно продолжить расширение возможностей программы "ММ-настройка" и дальше. Например, создать в ней библиотеку эталонных САР, учитывающих специфику и динамические свойства исполнительных механизмов. Конечная цель пополнения библиотек эталонных САР – сделать программу применимой во всех приложениях, представляющих интерес для пользователя, и способной учитывать его требования.

Теперь несколько слов о процедуре создания библиотек эталонных САР в программе "ММ-настройка".

Во-первых, откуда берутся эталонные САР? Они могут иметь разное происхождение. Можно создавать их целевым образом, например, с помощью компьютерного имитатора объектов управления РВ, допускающего подключение регуляторов различного типа¹. Можно использовать в качестве эталонной любую реальную систему регулирования, работающую с хорошим качеством. Можно запросить библиотеку эталонных САР у производителей регуляторов (такая бесплатная услуга была бы вполне уместной). Наконец, эталонными системами можно просто обмениваться с другими пользователями программы "ММ-настройка".

Чтобы организовать в программе новую библиотеку, необходимо осуществить ввод данных о каждой новой эталонной системе. Данные включают сведения об ОУ и о параметрах настройки ПИД-регулятора в эталонной САР.

Программа предлагает пользователю на выбор два варианта ввода сведений об объекте управления. Первый вариант применяется в тех случаях, когда известна передаточная функция ОУ в эталонной САР:

$$W(p) = \frac{k_0 \cdot e^{-p \cdot tz}}{p^r \cdot \prod_{i=1}^m (T_i \cdot p + 1)}, \quad r = 0, 1, 2, \dots; m = 0, 1, 2, \dots, \quad (1)$$

где $n = m + r$ – порядок ОУ; r – степень астатизма; k_0 – коэффициент передачи; T_i – постоянные времени объекта; tz – время транспортного запаздывания.

Математический аппарат программы позволяет ей рассчитать по введенным данным кривую разгона эталонного объекта управления и построить ее график, необходимый для последующего выполнения процедуры масштабирования. Первый вариант ввода сведений об эталонном ОУ позволяет обходиться без экспериментальной записи кривой разгона.

Второй вариант ввода ориентирован на ситуацию, когда нет надежной информации о передаточной функции эталонного ОУ, но имеется (или возможна) экспериментальная запись кривой разгона. Такая ситуация возникает, как правило, в случае включения в библиотеку эталонных САР сведений о какой-либо реально действующей системе, качество работы которой устраивает пользователя. В этом варианте вво-

да программа "ММ-настройка" непосредственно принимает запись кривой разгона из подготовленных установленным образом файлов и в дальнейшем воспроизводит на мониторе график кривой для выполнения процедуры масштабирования.

В качестве сведений о ПИД-регуляторе в эталонной системе выступают его параметры настройки: коэффициент пропорциональности – $Kp^{эм}$; постоянная интегрирования – $Ti^{эм}$; постоянная дифференцирования – $Td^{эм}$.

На определенном этапе работы с программой пользователь выбирает из библиотеки для дальнейшего применения единственную, наиболее подходящую эталонную систему. При этом для него важно иметь ясное представление о характере переходных процессов в данной системе, поскольку с помощью ММ в настраиваемой (рабочей) системе будут получены процессы подобного типа. В связи с этим разработчики программы предусмотрели вывод на дисплей двух графиков-образцов эталонных переходных процессов из расчета: на одном графике – процесс отработки эталонной системой внешнего возмущения, на другом – процесс в системе при изменении задания регулятору. Процессы отображаются в специально отведенных окнах, когда пользователь выделяет "мышью" какую-либо строку в таблице-библиотеке эталонных САР. Чтобы программа могла показывать образцы эталонных процессов, нужно при добавлении в библиотеку каждой новой эталонной системы вводить имена файлов с записью процессов-образцов. Заметим, что в качестве таких образцов пригодны любые процессы в эталонной системе, которые достаточно наглядно отображают характер ее работы.

Укомплектованная эталонными системами программа "ММ-настройка" – это готовый к рабочему использованию инструмент. Технологию его практического применения нагляднее всего можно показать на конкретном примере.

Пусть требуется выполнить настройку ПИД-регулятора фирмы SIEMENS в замкнутой системе автоматического регулирования температуры печи на участке закалки.

Как уже известно, для применения программы нужны сведения о кривой разгона ОУ. Экспериментальная запись кривой разгона выполняется с помощью регистрирующей измерительной аппаратуры. Регулятор в настраиваемой системе переключается в режим ручного управления. Сигнал на его выходе устанавливается на безопасном уровне. После этого следует дождаться момента, когда температура печи придет в стационарное состояние. Теперь можно изменить величину управляющего воздействия на ОУ, запустив исполнительный механизм на 2...3 секунды в ту или иную сторону. На регистраторе одновременно записываются и подаваемое воздействие, и реакция температуры печи на это воздействие. Данные сохраняются в файлах с расширением .dat,

¹НПП "ПОРА-USWO" выполняет разработку эталонных систем по заказам.

например X.dat и T.dat. Файлы размещаются в одной папке с программой "ММ-настройка".

Теперь запускается программа "ММ-настройка", и в нее вводятся данные о кривой разгона объекта управления по описанному выше второму способу (из файлов). В обязательном порядке следует указать в строке "Величина входного воздействия" действительную величину ступеньки, поданной на вход объекта при записи кривой разгона. Это легко выполнить, поскольку входное воздействие было зарегистрировано. В рассматриваемом примере ступенька составила 8,6 % от полного рабочего диапазона исполнительного устройства. Это значение вводится в программу.

Теперь, выбрав пункт меню "График", можно увидеть на мониторе, как выглядит кривая разгона рабочего ОУ. По форме кривой сразу видно, что температура выходит на установившееся значение. Следовательно, ОУ обладает самовыравниванием. Значит, степень астатизма ОУ $r = 0$.

Сделать оценку порядка ОУ можно разными способами. Например, принять его равным степени параболы, которая с наибольшей точностью вписывается в начальный участок кривой разгона ОУ. Такая парабола достаточно быстро определяется "вручную", т. е. прямым перебором. Еще проще воспользоваться вспомогательной программой "Оценка порядка звена". Введем в нее несколько начальных точек кривой разгона объекта управления и сразу получим оценку порядка в готовом виде. В рассматриваемом примере она оказалась равной четырем ($n = 4$).

Порядок и степень астатизма рабочего объекта управления теперь известны. Этого достаточно, чтобы приступить к следующему действию – выбору эталонной САР. Выбираем в меню пункт "Тип настраиваемого регулятора". В открывшемся списке отмечаем нужную библиотеку – "SIEMENS" и входим в нее, щелкнув "мышью" по пункту меню "Выбор эталонной САР". Появляется таблица-библиотека, в которой предстоит выбрать одну эталонную САР.

При выборе будем придерживаться рекомендации об однотипности рабочего и эталонного объектов управления. На текущий момент выбор оказался однозначным, поскольку в библиотеке нашлась только одна эталонная система с объектом четвертого порядка и нулевой степенью астатизма. Строку таблицы с данными этой системы выделяем щелчком "мыши". В специально отведенных окнах появляются графики-образцы переходных процессов в выбранной эталонной САР (рис. 1).

Теперь осталось выполнить процедуру масштабирования. В основном меню программы выбирается пункт "График". Снова открывается окно с координатной плоскостью (x, t). Но теперь на ней представлены две кривые разгона (рис. 2): уже знакомая кривая рабочего ОУ и кривая разгона объекта в эталонной системе.

Задача процедуры масштабирования заключается в том, чтобы, сжимая и растягивая кривую разгона рабо-

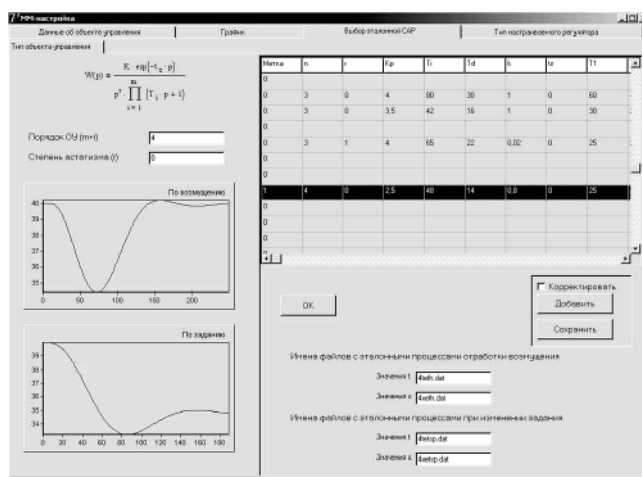


Рис. 1. Вид рабочего окна программы при выборе эталонной САР

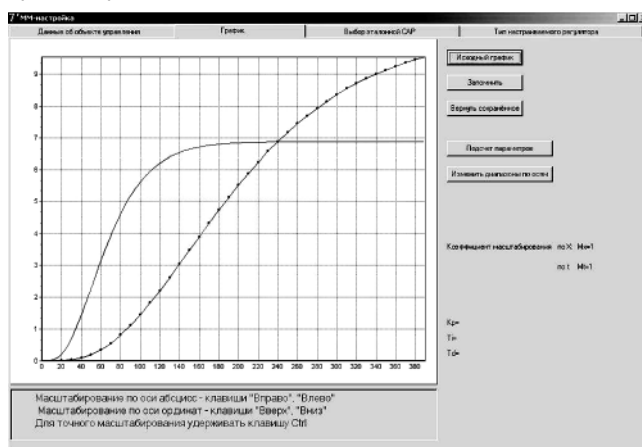


Рис. 2. Окно программы с изображениями кривых разгона рабочего и эталонного ОУ

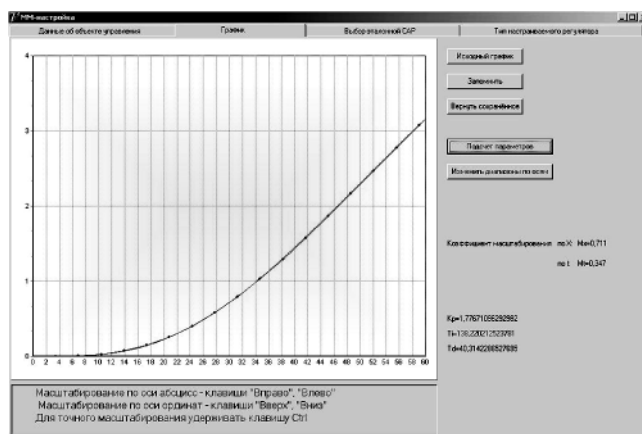


Рис. 3. Вид совмещенных начальных участков кривых разгона рабочего и эталонного объектов управления после выполнения процедуры масштабирования

чего ОУ вдоль осей x и t , достичь наиболее точного совпадения ее с кривой разгона эталонного объекта. Это выполняется с помощью клавиш управления курсором. Степень деформации графика характеризуют масштабные коэффициенты M_x и M_t . Их текущие значения отображаются на мониторе. Визуальный контроль взаимного положения кривых позволяет безошибочно опре-

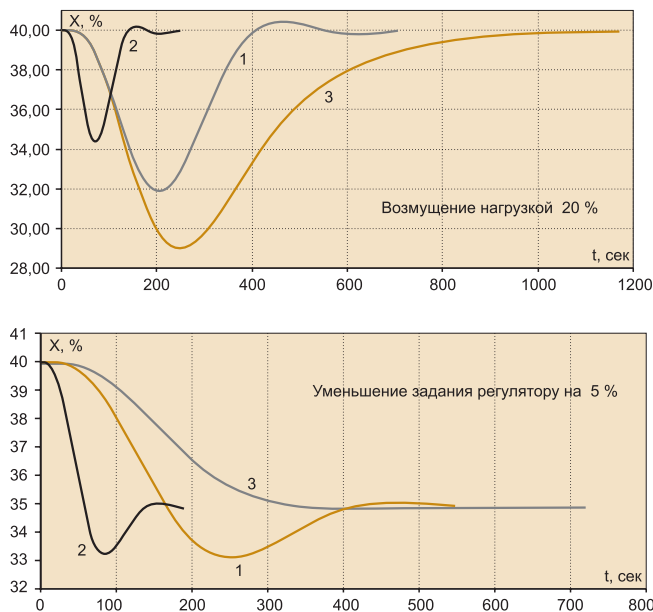


Рис. 4. Переходные процессы в замкнутой системе при различных настройках регулятора фирмы SIEMENS

делить нужное направление изменения масштабных коэффициентов. Наглядность процесса обеспечивает быстрое выполнение процедуры масштабирования и придает действию игровой характер.

Наиболее важно добиться хорошего совпадения кривых разгона на начальных участках, что легче сделать, удалив с координатного поля лишнюю часть графиков. Для этого в соответствующую графу вводят границы представляющего интерес участка. В рассматриваемом примере можно рекомендовать следующие границы:

- по оси времени: $t_{нач} = 0$; $t_{конечн} = 60$ с;
- по регулируемой переменной: $X_{нач} = 0$; $X_{конечн} = 4$ %.

После ввода этих значений на мониторе остается только выбранный участок координатной плоскости.

Действуя клавишами управления курсором, добиваемся наилучшего визуального совмещения кривых разгона рабочего и эталонного объектов управления. Оно оказалось достигнутым при следующих значениях масштабных коэффициентов: $M_x = 0,711$; $M_t = 0,347$.

Остается подать команду "Расчет параметров", чтобы увидеть на мониторе (рис. 3) искомые значения параметров настройки ПИД-регулятора ("ММ-настройки"):

$$K_p = 1,78; T_i = 139 \text{ с}; T_d = 40,4 \text{ с}. \quad (2)$$

На этом работа с программой "ММ-настройка" считается завершенной.

На рисунке 4 представлены графики переходных процессов в рассматриваемой системе при действии регулятора SIEMENS с ММ-настройками (2) (кривые 1). Показаны также процессы в эталонной САР, использо-

ванной при определении настроек (2) (кривые 2). Подобие процессов "1" и "2" вполне очевидно. Это признак корректного применения метода масштабирования.

Представляет интерес сравнение "ММ-настроек" (2) с параметрами, выбранными самим ПИД-регулятором SIEMENS с помощью функции автоадаптации: $K_p = 0,406$; $T_i = 180$ с; $T_d = 45$ с. На рис.4 процессы при этих настройках обозначены цифрой "3". По таким показателям качества управления как продолжительность переходных процессов, интегральная квадратичная оценка преимущество "ММ-настроек" над автонастройками достаточно ощутимо. Испытания показывают, что на "трудных" для управления объектах это преимущество еще более возрастает.

Также следует иметь в виду, что на некоторых ПИД-управляемых объектах автонастройка завершается аномально, т. е. она не всегда справляется со своей прямой задачей. Что касается ММ, то при наличии полноценных библиотек эталонных САР, он позволяет успешно определять рациональные параметры настройки регуляторов на любых ПИД-управляемых объектах.

В работе [2] показано, что в общем случае метод масштабирования определяет не единственный вариант ММ-настроек, а некоторый набор вариантов, или по-другому – "линейку" ММ-настроек. Все они обеспечивают подобный вид переходных процессов в настраиваемой и эталонной системах. Но эти процессы отличаются по таким показателям качества, как время регулирования, величина динамических ошибок управления и другим. Кроме того, разные ММ-настройки наделяют систему разной чувствительностью к изменению свойств объекта управления.

Благодаря ММ пользователь получает дополнительную возможность выбора для регулятора предпочтительного варианта ММ-настроек, при котором качество управления в наибольшей степени соответствует предъявляемым требованиям. Представленная программа является удобным средством реализации данной возможности. Приемы практического применения метода масштабирования с использованием программы "ММ-настройка" подробно изучаются на целевых курсах "Школы практической автоматизации" при Самарском государственном университете путей сообщения.

Список литературы

1. Бажанов В.Л. Метод масштабирования для определения параметров настройки регуляторов в замкнутых САР // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2002. № 12.
2. Бажанов В.Л. Метод масштабирования – эффективный инструмент для практической настройки регуляторов в замкнутых САР // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2006. № 6.

Бажанов Владимир Леонидович – канд. техн. наук, доцент,

Вайшнарас Андрей Владимирович – инженер, кафедра "Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте" Самарского государственного университета путей сообщения (СамГУПС).

Контактный телефон +7 (927) 760- 28-84. E-mail: uswo@samtel.ru tklinkov@mail.ru