Автоматизация и Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

Главный редактор
В.Л. Белоусов – д.э.н., проф., МГУПИ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Бучаченко А.Л. – д.х.н., проф., ИПХФ РАН
Гусев А.А. – д.т.н., проф., МГТУ "СТАНКИН"
Дегтярев Ю.И. – д.т.н., проф., МАИ
Елисеев В.А. – д.т.н., Ин-т Инновац.-технологич. менеджмента
Иванов А.П. – д.э.н., проф., МГУПС (МИИТ)
Мальцева С.В. – д.т.н., проф., НИУ ВШЭ
Нефедов Е.И. – д.ф.-м.н., ИРЭ РАН
Шебалин И.Ю. – к.ф.-м.н., ООО "Изд-во Машиностроение" (заместитель главного редактора)
Янович Е.Л. – д.э.н., проф., Кошалинский политехнич. ин-т (Польша)

РЕДАКЦИЯ:

Шебалин И.Ю. – зам. главного редактора
Осипова В.Г. – научный редактор
Богус С.В. – секретарь

Адрес редакции:
107076, Москва,
Стромынский пер., 4
Тел.: (499) 748 0290,
E-mail: ast@mashin.ru; http://www.mashin.ru

2

2014

УЧРЕДИТЕЛИ:

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ НАУЧНО-КОНСУЛЬТАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ

Журнал зарегистрирован 9 апреля 1999 г. за № 018684 в Комитете Российской Федерации по печати

Журнал входит в перечень утверждённых ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей учёных степеней

ООО "Издательство Машиностроение"

Адрес издательства:
107076, Москва,
Стромынский пер., 4
Тел.: (499) 268 3858,
факс: (499) 269 4897

© Издательство "Машиностроение",
"Автоматизация и современные технологии", 2014 г.

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Байнева И.И., Байнев В.В. Автоматизация процесса проектирования световых приборов 3

Чернов С.А. Конечный элемент стержня коробчатого сечения с узлами по контуру сечения 9

Муравьёв И.В., Петухов И.А. Метод замещения сложного изделия множеством модулей 13

Бальзамов А.Ю., Байнева И.И., Пильщиков В.Г. Устройство контроля параметров и сортировки радиоэлементов 15

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Капитанов А.В. Методика проектирования автоматизированных станочных систем многономенклатурного производства 21

Иванов А.А. Моделирование системы массового обслуживания с использованием метода статистических испытаний 23

Горячев О.В., Борисов В.В., Панарин А.А. Особенности синтеза алгоритмов управления приводов оптико-электронных систем с инерциальными датчиками 26

Антипин А.Ф. Особенности программной реализации многомерных логических регуляторов с переменными в виде совокупности аргументов двузначной логики 30

Дьяков И.Ф., Кокорин М.В. Использование технологии литья по газифицируемым моделям 37

Кривошеев С.В., Орманов Д.Р. Управление моделью многозвенного манипулятора с помощью значения электрических токов, снятых с поверхности руки . . . 41

ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

Intel: Большие решения 45

ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов 47

CONTENTS

AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

Bayneva I.I., Baynev V.V. Design process automation of the light devices 3

Chernov S.A. Final element of a box-shaped core section with knots on a section contour 9

Muravev I.V., Petukhov I.A. The method of complex product substitution by multitude modules 13

Balzamov A.Yu., Bayneva I.I., Pilschcikov V.G. the device for radio elements parameters control and sorting 15

MODERN TECHNOLOGIES

Kapitanov A.V. The designing methodology of the automatic machine tool systems for diversified production 21

Ivanov A.A. Modeling of the mass service system with use of the of statistical tests method 23

Goryachev O.V., Borisov V.V., Panarin A.A. Features of the control algorithms synthesis for the drive of the optical-electronic system with inertial sensors 26

Antipin A.F. The features of the multidimensional logical regulators software implementation with variables as a set of binary logic arguments 30

Dyakov I.F., Kokorin M.V. Utilization of the moulding technology by using a gasified models 37

Krivosheev S.V., Ormanov D.R. Control of the multi-link manipulator model by means of current value removed from hand surface 41

EXHIBITIONS AND PRESENTATIONS

Intel: Big decisions 45

SURVEY OF PERIODICALS

Periodicals review 47

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу "Роспечать" – 70537, по каталогу "Пресса России" – 27838, по "Каталогу российской прессы "Почта России" – 60267) или непосредственно в издательстве по факсу: (499) 269 4897, по e-mail: realiz@mashin.ru, на сайте www.mashin.ru (без почтовых наценок, с любого месяца, со своего рабочего места); телефоны для справок: (499) 269 6600, 269 5298

Сдано в набор 02.12.13. Подписано в печать 24.01.14.
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ.л. 5,88. Цена свободная

Отпечатано в ООО "Белый ветер"
115407, Москва, Нагатинская наб., 54

Перепечатка материалов из журнала "Автоматизация и современные технологии" возможна при обязательном письменном согласии редакции журнала. При перепечатке материалов ссылка на журнал "Автоматизация и современные технологии" обязательна. За содержание рекламных материалов ответственность несёт рекламодатель

© Издательство "Машиностроение", "Автоматизация и современные технологии", 2014 г.

УДК 621.385.2:628.981

Байнева И.И., канд. техн. наук, доц., **Байнев В.В.**
(Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск)
baynevaii@rambler.ru

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СВЕТОВЫХ ПРИБОРОВ

Рассмотрены особенности световых приборов, светоперераспределяющих устройств, проанализированы задачи и возможные решения их расчёта и проектирования. Описаны математические модели, используемые в светотехническом проектировании и расчётах светильников с зеркальными отражателями. Описаны принципы работы с разработанным программным обеспечением для автоматизации процесса моделирования и проектирования световых приборов.

Ключевые слова: автоматизация, программа, система, световой прибор, отражатель, проектирование.

The features of the light devices and light-distributing devices are considered, the tasks and possible solutions for their calculation and designing are analysed. The mathematical models used in the lighting engineering designing and calculation of the lamps with the mirror reflectors are described. The work principles with the developed software for the modeling and designing processes automation of the light devices are described.

Key words: automation, program, system, light devices, reflector, designing.

Введение. Световой прибор (СП) состоит из множества элементов, таких как источник света (ИС), оптическая система, пускорегулирующая аппаратура, электроустановочные устройства, конструктивные узлы, параметры которых существенно зависят от особенностей конструкции СП и заметно влияют на его характеристики в целом [1].

При проектировании и конструировании СП необходимо принимать во внимание особенности светотехнических изделий: массовый характер производства и применения, материальные и трудовые затраты на их изготовление, монтаж и эксплуатацию, влияние СП на технико-экономические и эстетические характеристики строящихся и реконструируемых объектов. Процесс конструирования и проектирования решающе влияет на потребительские свойства СП, их надёжность, а также экономичность производства и эксплуатацию.

Разработчики СП, в первую очередь, стремятся создавать светильники с максимальной световой отдачей, заданной кривой светораспределения, увеличивая при этом модельный ряд СП под различные задачи клиентов. Использование ЭВМ и автоматизированных систем проектирования на всех стадиях разработки СП необходимо, чтобы избавить инженеров от выполнения трудоёмких расчётов, многовариантного анализа и большого объёма графических работ.

Особенности оптических систем световых приборов. Основную роль перераспределения и преобразования света в ИС играет оптическая система СП, состоящая из элементов, участвующих в трансформации света. Светильники перераспределяют световой поток ИС на основе получения его изображения в оптической системе. Яркость изображения при этом равна яркости ИС при условии отсутствия оптических потерь в световой системе. К оптическим элементам относятся: отражатели, преломлятели, рассеиватели, защитные стёкла, экранирующие решётки и кольца, светофильтры, экраны, различные световоды. Среди оптических систем светильников наибольшее применение находят отражательные оптические системы – зеркальные, диффузные и матовые, действующие на основании законов зеркального, диффузного и направленно-рассеянного отражения. Отражатели, как правило, состоят из вогнутых или плоских зеркальных отражателей, могут быть цельными или составными, а их поверхность – гладкой, волнистой, офактуренной, ломаной и т. п. В основных видах зеркальных отражателей используются оптические свойства параболических, эллиптических, гиперболических, цилиндрических и плоских зеркальных поверхностей.

Светильники отличаются формами отражателей, вызванными требуемыми кривыми силы света

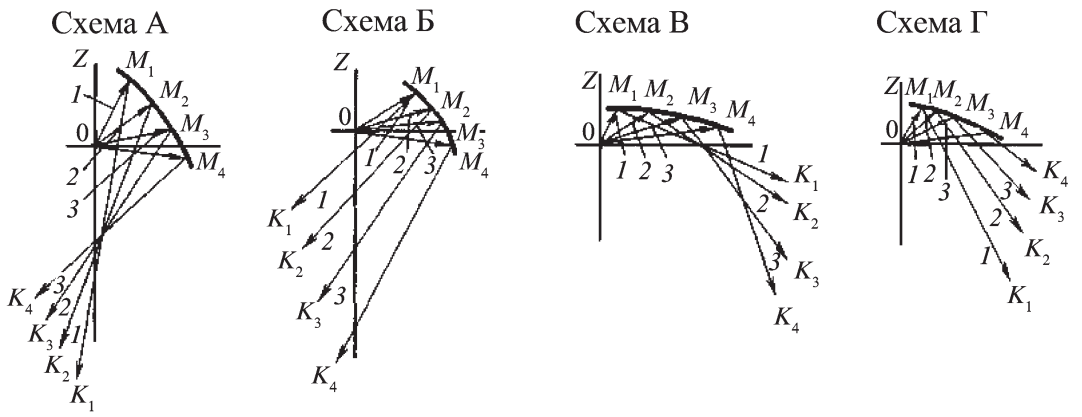


Рис. 1. Схемы прохождения падающих и отражённых осевых лучей в оптических системах:
А – отражённые лучи пересекают ось симметрии и пересекают друг друга; Б – отражённые лучи пересекают ось симметрии, но не пересекают друг друга; В и Г имеют ход отражённых лучей, аналогичный ходу лучей соответственно в схемах А и Б, но лучи не пересекают ось симметрии

(КСС) (КСС характеризует светораспределение светильника, т. е. зависимость значения силы света от направления; обычно светораспределение представляется в двух плоскостях – поперечной и продольной) и другими (в частности, эстетическими) соображениями. При этом падающие и отражённые лучи можно свести к четырём принципиально отличным схемам [1], которые определяются характером пересечения отражённых лучей между собой и с оптической осью светильника (рис. 1).

В светильниках применяются также и комбинированные системы. Кроме того, применяются (особенно с линейными ИС) несимметричные отражатели: параболоцилиндрические, гиперболоцилиндрические и др.

Математические модели в светотехническом проектировании и расчётах светильников с зеркальными отражателями. Светильники с зеркальными отражателями по своим светотехническим возможностям превосходят другие приборы этого класса, являются более универсальными. Они обладают наибольшим КПД, достаточно технологичны. С помощью зеркальных светильников можно создавать различные КСС. По светораспределению зеркальные светильники делятся на круглосимметричные и некруглосимметричные.

Задачей светотехнического расчёта СП, в том числе и светильников, является определение геометрической формы элементов оптической системы СП, обеспечивающей (при совместном действии с выбранным ИС) требуемое светораспределение [1]. При расчёте необходимо учитывать особенности как светотехнических материалов, используемых для изготовления элементов оптической системы, так и технологических процессов их производства, а также условия работы элементов с точки зрения воздействия на них теплового режима СП и окружающей среды. С помощью отражателя зеркальный светильник должен обеспечивать заданную форму КСС, исходя из определённой формы КСС источника света.

Для расчёта формы зеркального отражателя необходимо задать уравнение, которое имело бы зависимость величины радиус-вектора r некоторой точки M от углов φ и ψ (в продольной и поперечной плоскостях), определяющих падающий луч, и углов α и β (также в продольной и поперечной плоскостях), определяющих отражённый луч (рис. 2).

Дифференциальное уравнение зеркального отражателя связывает все его основные параметры (r, φ, ψ, α, β, p) [1].

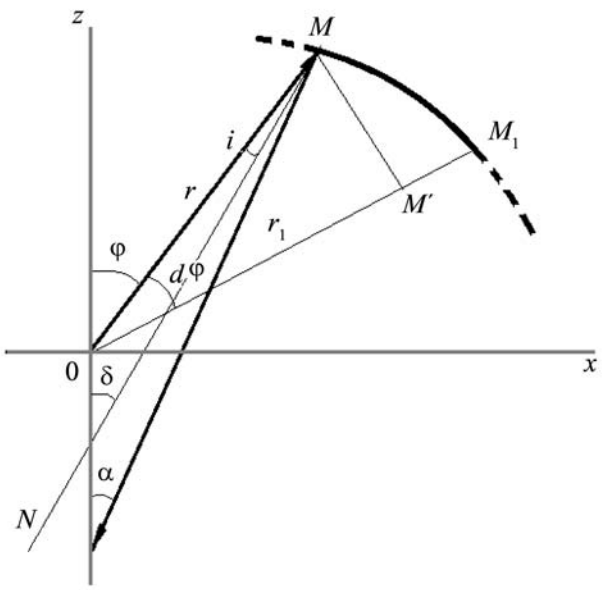


Рис. 2. Участок отражателя с падающим, отражённым и вспомогательными лучами

Уравнение можно получить математически, рассматривая особенности бесконечно малого перемещения вектора r по зеркальной поверхности, при котором он получает приращение $\overline{dr}$. Необходимо отметить, что $\overline{dr} \perp \overline{N}$ (где $\overline{N}$ – нормаль к поверхности). Единичный вектор нормали $\bar{n}_0$ можно выразить через связанные с ним единичные векторы падающего $\bar{r}$ и отражённого $\bar{p}$ лучей. В соответствии с законами отражения эти три единичных вектора лежат в одной плоскости, а $\bar{n}_0$ является биссектрисой угла между векторами $\bar{r}$ и $\bar{p}$. Следовательно, $\bar{n}_0 = (\bar{p}_0 - \bar{r}_0)/2$, а условие перпендикулярности можно записать в виде

$$\overline{dr}\,(\bar{p}_0 - \bar{r}_0) = 0.$$

Если векторы заданы декартовыми прямоугольными координатами (т. е. через компоненты), то это произведение имеет вид

$$\left(\frac{p_x}{|p|} - \frac{r_x}{|r|}\right)dr_x + \left(\frac{p_y}{|p|} - \frac{r_y}{|r|}\right)dr_y + \left(\frac{p_z}{|p|} - \frac{r_z}{|r|}\right)dr_z = 0.$$

Это общее дифференциальное уравнение зеркальной поверхности. Все входящие в него величины являются функциями φ, ψ, α и β.

Условие круглосимметричности отражателя означает, что луч, падающий в точку отражателя, луч, отражённый от неё, нормаль к поверхности в этой точке и ось отражателя лежат в одной плоскости. Расчёт формы зеркального круглосимметричного отражателя сводится к расчёту одной профильной кривой, получаемой при варьировании углов α и φ.

Дифференциальное уравнение профиля отражателя имеет вид

$$\frac{dr}{r} = \operatorname{tg} i \; d\varphi,$$

где $i = \dfrac{\varphi - \alpha}{2}$ – угол падения луча в т. M отражателя.

Переходя к десятичным логарифмам и конечным приращениям $\Delta\varphi = 10°$,

$$\lg r_i = \lg r_{i-1} + 0{,}076 \operatorname{tg} i_{\text{ср}},$$

где $i_{\text{ср}}$ – угол падения осевого луча на среднюю точку зоны.

При зеркальной поверхности с тороидными зонами профильная кривая составляется из зон постоянной кривизны $(1/R)$, имеющих общие нормали в граничных точках, т. е. состоит из отрезков сопряжённых дуг, с радиусами кривизны R и координатами центра кривизны ($X_{\text{ц}}$, $Z_{\text{ц}}$) как функции (r_i, r_{i-1}, φ_i, φ_{i-1}, δ_i, δ_{i-1}):

$$R = \frac{r_{i-1}\cos\varphi_{i-1} - r_i \cos\varphi_i}{\cos\delta_{i-1} - \cos\delta_i},$$

$$X_{\text{ц}} = X_{i-1} - R\sin\delta_{i-1},$$

$$Z_{\text{ц}} = Z_i - R\cos\delta_i.$$

Иногда зеркальные поверхности лучше образовывать вращением профильных кривых с плавно изменяющейся кривизной, подбирая при этом их параметры таким образом, чтобы они соответствовали необходимой функции α (φ). В качестве профильных кривых могут быть кривые 2-го порядка – конические сечения, т. е. эллипс, гипербола, парабола. Такие кривые характеризуются фокусом кривой, в который помещают световой центр, эксцентриситетом, углом между осями отражателя.

Если составлять поверхность зеркального круглосимметричного отражателя из параболоидных поясов, то такая кривая не является гладкой, имеет точки излома, при переходе через которые угол α меняется скачкообразно. Чтобы избежать этого, необходимо соединять точки границ зон лекальной кривой, что приводит к введению дополнительных уравнений. Тогда уравнение профильной кривой запишется в виде

$$r_i = r_{i-1}\frac{1 + \cos(\varphi_{i-1} - \alpha_i)}{1 + \cos(\varphi_i - \alpha_i)}.$$

Расчёт зеркальных светильников с ИС в виде больших светящихся тел (люминесцентные лампы (ЛЛ), дуговые ртутные лампы (ДРЛ) и др.) имеет свои сложности и особенности.

Цилиндрические зеркальные отражатели для люминесцентных и других трубчатых ИС характеризуются кривыми силы света в двух плоскостях: в продольной плоскости (параллельной оси лампы) и профильной (перпендикулярной продольной и проходящей через центр светильника). Действие такого отражателя заключается в том, что по всем направлениям α, лежащим в профильной плоскости, создаётся изображение, длина которого равна длине лампы. В этом отношении отражатель светильника имеет параболоцилиндрический профиль.

Обычно светораспределение зеркального цилиндрического светильника задаётся в виде КСС в профильной плоскости. Профильная кривая цилиндрического зеркального отражателя рассчитывается с помощью заполнения её зональными кривыми. Зеркальная поверхность для зеркального люминесцентного светильника выбирается только

гладкой и имеет параболический профиль. В этом случае возникает вопрос о профиле отражателя, от которого, прежде всего, зависит коэффициент усиления, связанный с углом охвата отражателя.

Часто профиль отражателя подбирается под требуемую КСС экспериментально, но так как он зависит от нескольких параметров, а изготовление отражателей разных форм и размеров затруднительно, то целесообразно осуществлять математическое моделирование отражателя.

Автоматизированная система моделирования и проектирования световых приборов. На основании методов расчёта и проектирования СП разработано программное обеспечение (ПО) для автоматизированной системы, осуществляющей моделирование, расчёт и проектирование световых приборов [2].

Данная автоматизированная система моделирования и проектирования световых приборов (далее – система) позволит:

в короткие сроки эффективно разрабатывать световые приборы различного конструктивного исполнения и назначения;

оценивать технико-экономическую эффективность светооптической системы СП;

определять основные параметры светооптической системы СП и увязывать их с конструктивным решением СП в целом с учётом специфики его эксплуатации.

Проектирование СП на стадии технических предложений, осуществляемое в данной системе, позволяет проектировщику решать задачу автоматизации проектирования СП с использованием математической модели объекта, базы данных, необходимых в расчётах, а также собственного опыта и интуиции.

Математические аспекты системы включают математические модели проектируемых СП, методы и алгоритмы расчётов, используемых при автоматизированном проектировании. Здесь имеется специальная часть, отражающая специфику объекта проектирования, особенности его функционирования и охватывающая математические модели, методы и алгоритмы их получения.

Исходными данными для работы с программой LighTooLux 1.1 [3] являются: требуемое светораспределение; тип ИС; количество и расположение ИС; оптические коэффициенты материалов светоперераспределяющей системы; полезный угол излучения прибора.

Внешний вид программы представлен на рис. 3. Работу с программой можно разделить на несколько этапов.

На первом этапе необходимо смоделировать оптическую систему разрабатываемого СП и выбрать ИС. Для этого используются вкладки, расположенные в левой части рабочего окна программы (см. рис. 3): Профиль/КСС (рис. 4, *а*), Отражатель (рис. 4, *б*), Источник света (рис. 4, *в*).

Тип профиля может быть цилиндрическим (является результатом движения прямой параллельно самой себе по кривой, имеющей ось, перпендикулярную образующей) или круглосимметричным, фотометрическое тело которого имеет вращательную симметрию относительно оптической оси.

При задании цилиндрического профиля можно выбирать условия его исполнения: с симметричным отражателем; с симметричным расположением ИС, которое возможно лишь при симметричном отражателе.

КСС оценивается вычислением интеграла

$$\Omega = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} F(\alpha)\, d\alpha ,$$

где α – плоский угол, указывающий текущее направление; F – функция, зависящая от некоторых переменных.

Функция F задается с помощью "Редактора формул" (рис. 5). По умолчанию эти функции заданы для каждого из предлагаемых макросов.

В программе заложены следующие стандартные (предустановленные) способы оценки КСС:

максимизация светового потока (выбирается профиль с максимальным значением светового потока во всех направлениях);

максимизация светового потока внутри полезного угла излучения (выбирается профиль с максимальным значением светового потока внутри полезного угла);

выравнивание КСС внутри полезного угла излучения;

максимизация разности средних значений силы света во всем телесном угле и силы света в пределах полезного угла излучения.

Полезный угол излучения СП изображается в виде заштрихованной области и задается двумя граничными лучами – синим и красным. Их можно позиционировать "ручным" перетаскиванием на сетке КСС или вводом градусов в соответствующие поля.

На вкладке "Отражатель" (см. рис. 4, *б*) представлены поля, в которые вводится список частей отражателя, задается форма отражателя, его ширина, положение в вертикальной и горизонтальной плоскостях, задаются или вводятся оптические коэффициенты материалов частей отражателя; задаются или вводятся коэффициенты уравнения участков кривой отражателя.

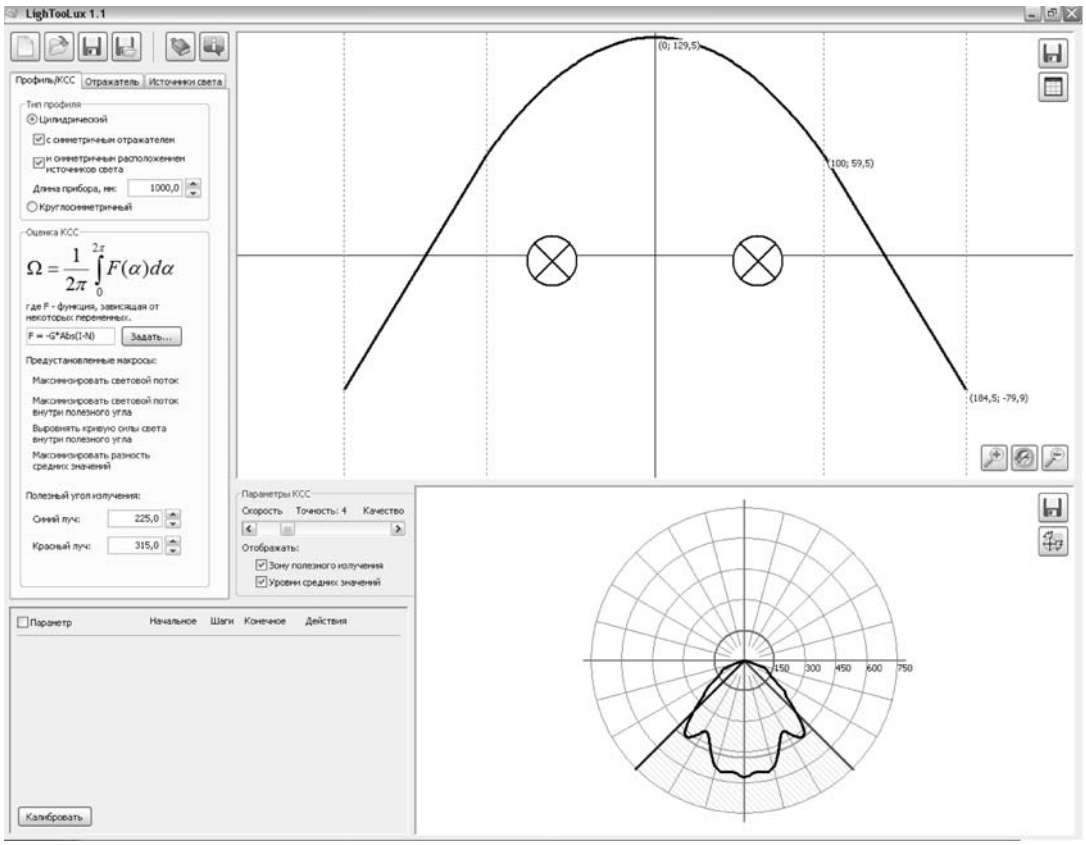
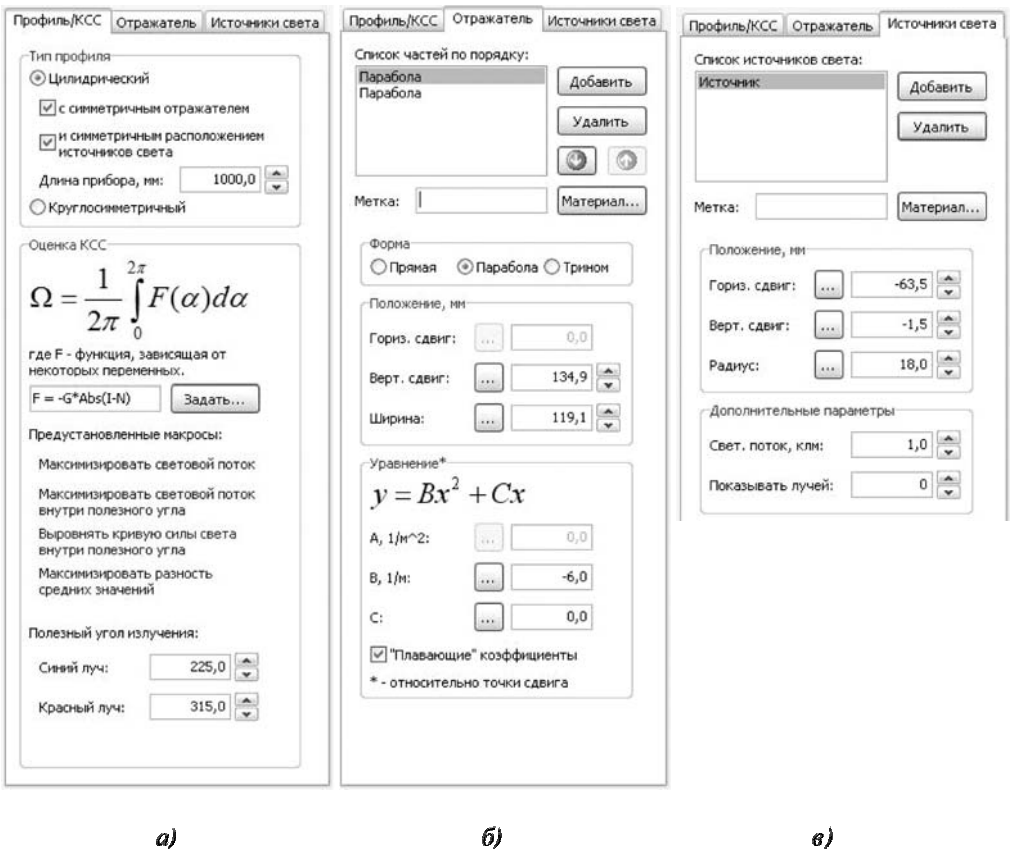


Рис. 3. Рабочее окно программы LighTooLux 1.1



а) *б)* *в)*

Рис. 4. Вкладки для выбора и задания параметров прибора:
а – профиль/КСС; *б* – отражатель; *в* – источник света

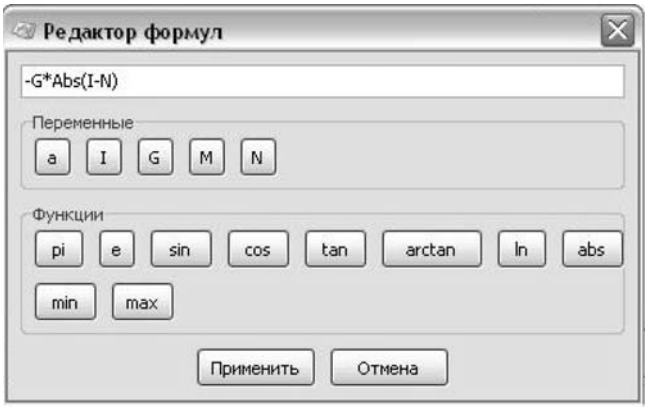


Рис. 5. Встроенный редактор формул

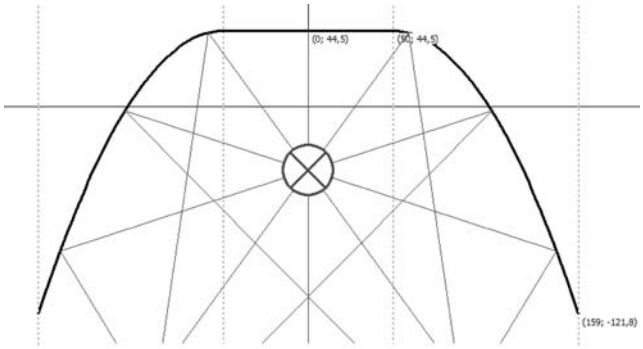


Рис. 6. Пример отражателя

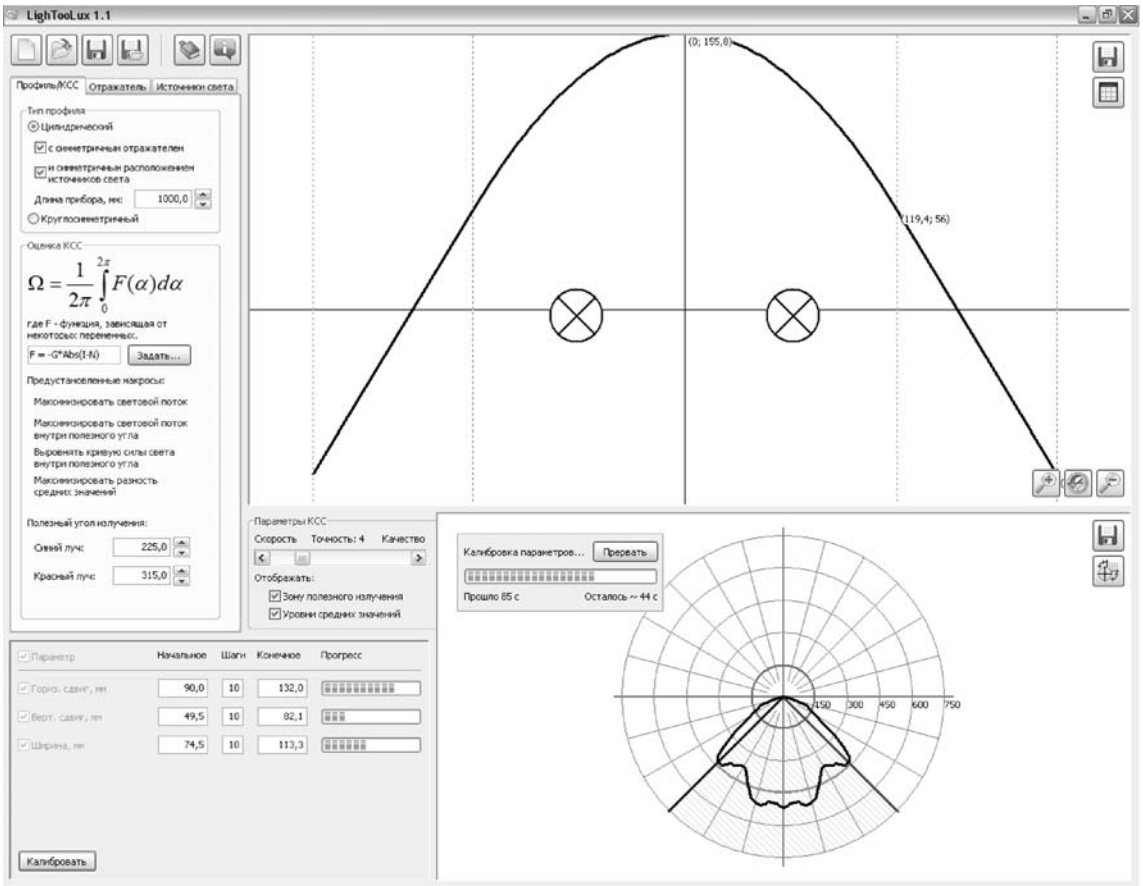


Рис. 7. Отображение процесса калибровки смоделированного отражателя по геометрическим параметрам

Отражатель формируется из независимых друг от друга частей, неразрывно связанных между собой. Можно добавлять фактически неограниченное количество частей, из которых планируется составить отражатель.

Характеристики материала отражателя можно выбрать с помощью базы данных "Оптические коэффициенты материала".

Отражатель с прорисовкой падающих и отраженных световых лучей показан на рис. 6.

На вкладке "Источники света" (см. рис. 4, *в*) можно задавать: количество ИС (кнопкой "Добавить"); радиус колбы ИС; положение относительно начала координат (вертикальный и горизонтальный сдвиг); световой поток ИС; количество посланных лучей для визуализации их хода; название ИС на схеме; характеристики материала колбы, которые выбираются с помощью базы данных "Оптические коэффициенты материала".

На втором этапе осуществляется уточнение, детальная проработка эскиза смоделированного отражателя при качественной оценке КСС, калибровке необходимых параметров и окончательного построения КСС (рис. 7). Калибровка – это про-

цесс подбора выбранных параметров для обеспечения максимальной КСС.

На третьем этапе полученные результаты могут быть представлены для последующего анализа и интерпретации данных в виде схем, графиков и таблиц.

Заключение. Таким образом, при массовом производстве СП различного назначения и исполнения, а также большой сложности их расчёта и проектирования, необходимо автоматизировать эту задачу. Поэтому разработана программа LighTooLux 1.1, позволяющая осуществлять расчёт и построение профиля отражателя на основании информации об ИС, коэффициенте отражения материала отражателя, типе кривой силы света и других данных. При этом основная задача – это обеспечение наибольшей эффективности работы с программой на практике за счёт простоты использования и максимальной наглядности полученных результатов.

Библиографические ссылки

1. **Трембач В.В.** Световые приборы. М.: Высш. шк., 1990. 463 с.

2. **Байнева И.И., Байнев В.В.** Программное обеспечение для моделирования и разработки световых приборов / Материалы VII Междунар. науч.-технич. конф. "Фундаментальные и прикладные проблемы физики". Саранск: Мордов. гос. пед. ин-т, 2012. С. 46–48.

3. **Программа** для ЭВМ № 2012612870 Российская Федерация. Программа для моделирования и проектирования световых приборов различного исполнения и назначения / И.И. Байнева, В.В. Байнев; правообладатель ФГБОУ ВПО "Мордовский гос. ун-т им. Н.П. Огарёва» (RU); зарегистр. 23.03.2012.

УДК 519.6:539.3

С.А. Чернов, канд. техн. наук
(Ульяновский государственный технический университет)
727122@mail.ru

КОНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ СТЕРЖНЯ КОРОБЧАТОГО СЕЧЕНИЯ С УЗЛАМИ ПО КОНТУРУ СЕЧЕНИЯ

Рассмотрен балочный конечный элемент, матрица жёсткости которого получена приведением сил и перемещений узлов стержня к узлам его контуров сечений. Для формирования матрицы жёсткости конечного элемента с узлами по контурам сечений предложен П-образный конечный элемент.

Ключевые слова: стержень, коробчатое сечение, узлы по контуру сечения.

The braced final element which matrix of rigidity is received by putting of the core knots forces and movements to knots of its sections contours are considered. The P-shaped final element is offered for rigidity matrix formation of a final element with knots on sections contours.

Key words: core, box-shaped section, knots on a section contour.

В конструкциях стержневых систем часто используются стержни коробчатого сечения. Если стержни коробчатого сечения не лежат в одной плоскости, т. е. в соединениях имеются значительные эксцентриситеты осей, не удовлетворяющие допущениям на их величины (например соединение "внахлёст"), то узел их соединения не является математической точкой. Расчёт стержневой системы на основе только стержневых конечных элементов (КЭ) с учётом эксцентриситетов осей, как правило, приводит к определённым допущениям и погрешностям. Для расчёта такой стержневой системы предлагается КЭ с узлами по контурам сечений, который позволит непосредственно в зоне соединения стержней использовать КЭ оболочки, а вне узла – стержневые КЭ с узлами по контурам сечений. Рассмотрим получение необходимых зависимостей на конечно-элементной модели стержня *A–B* в местной системе координат *XYZ* (рис. 1), где приведены принятые шесть положительных направлений узловых сил, перемещений и последовательность их нумерации. Ось *X* направлена вдоль оси стержня, проходящей через центры тяжести его поперечных сечений. Узлы *i* расположены на контурах сечений, количество которых произвольное, но обязательны узлы, в которых происходит изменение направления линии контура сечения.

Согласно принятым положительным направлениям узловых сил и перемещений и правилу пере-

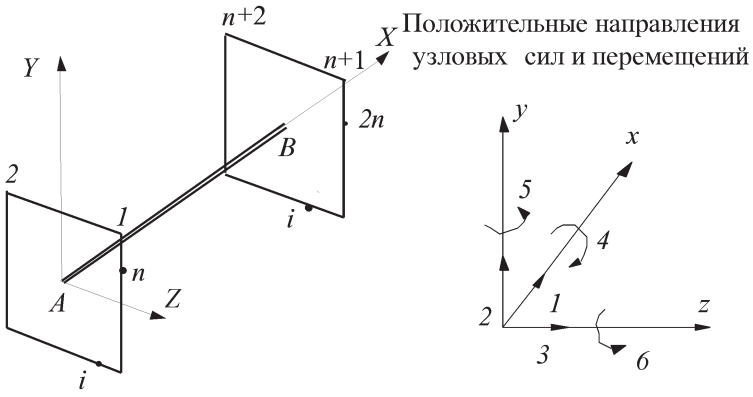


Рис. 1. Модель балочного конечного элемента с узлами по контурам сечений:

1 – *2n* – узлы по контурам сечений в начале и конце стержня

носа сил из узла *A* в узел *i*, вектор $\{P_i\}$ сил в *i*-м узле контура сечения запишется в виде

$$\{P_i\}=\begin{Bmatrix}P_{xi}\\P_{yi}\\P_{zi}\\M_{xi}\\M_{yi}\\M_{zi}\end{Bmatrix}=\begin{Bmatrix}P_{xA}\\P_{yA}\\P_{zA}\\P_{yA}z_i-P_{zA}y_i+M_{xA}\\-P_{xA}z_i+M_{yA}\\P_{xA}y_i+M_{zA}\end{Bmatrix},$$

где y_i, z_i – координаты *i*-го узла.

В матричной форме вектор $\{P_i\}$ узловых сил определяется выражением:

$$\{P_i\}=[h_i]\{P_A\},$$

где $[h_i]$ – матрица переноса сил *i*-го узла:

$$[h_i]=\begin{bmatrix}1&0&0&0&0&0\\0&1&0&0&0&0\\0&0&1&0&0&0\\0&z_i&-y_i&1&0&0\\-z_i&0&0&0&1&0\\y_i&0&0&0&0&1\end{bmatrix}. \qquad (1)$$

Тогда векторы $\{P_n\}$ и $\{P_{2n}\}$ сил в узлах контуров сечения в начале и конце стержня будут

$$\{P_n\}=[H_{nA}]\{P_A\};\ \{P_{2n}\}=[H_{nB}]\{P_B\}, \qquad (2)$$

где $[H_{nA}]$, $[H_{nB}]$ – матрицы переноса сил начала и конца балочного КЭ, сформированные из матриц переноса сил узлов (1):

$$[H_{nA}]=\begin{bmatrix}h_1\\h_2\\\vdots\\h_n\end{bmatrix};\ [H_{nB}]=\begin{bmatrix}h_{n+1}\\h_{n+2}\\\vdots\\h_{2n}\end{bmatrix}. \qquad (3)$$

Если узлы по контурам сечений в начале и конце КЭ одни и те же, то

$$[H_n]=[H_{nA}]=[H_{nB}].$$

С учётом одной матрицы $[H_n]$ из преобразований узловых сил (2) следуют преобразования узловых перемещений (контрградиентные преобразования):

$$\{Z_A\}=[H_n]^T\{Z_n\};\quad \{Z_B\}=[H_n]^T\{Z_{2n}\}, \qquad (4)$$

где $[H_n]^T$ – матрица переноса узловых перемещений начала и конца КЭ.

Уравнение равновесия балочного КЭ *A*–*B*

$$\{P_{A-B}\}=[K_{A-B}]\{Z_{A-B}\}$$

может быть сгруппировано и разбито на подматрицы по узлам КЭ [1]:

$$\begin{Bmatrix}P_A\\P_B\end{Bmatrix}=\begin{bmatrix}K_{AA}&K_{AB}\\K_{BA}&K_{BB}\end{bmatrix}\times\begin{bmatrix}Z_A\\Z_B\end{bmatrix},$$

где K_{AA}, ..., K_{BB} – подматрицы порядка 6; $\{P_A\}$, $\{Z_A\}$ и $\{P_B\}$, $\{Z_B\}$ – векторы сил и перемещений узлов *A* и *B* соответственно.

Перемножим сгруппированные элементы матриц:

$$\begin{aligned}&\{P_A\}=[K_{AA}]\{Z_A\}+[K_{AB}]\{Z_B\};\\&\{P_B\}=[K_{BA}]\{Z_A\}+[K_{BB}]\{Z_B\}.\end{aligned} \qquad (5)$$

Подставив в уравнения (2) выражения (5) и с учётом формул (4), получим

$$\begin{aligned}&\{P_n\}=[H_n][K_{AA}][H_n]^T\{Z_n\}+\\&+[H_n][K_{AB}][H_n]^T\{Z_{2n}\};\\&\{P_{2n}\}=[H_n][K_{BA}][H_n]^T\{Z_n\}+\\&+[H_n][K_{BB}][H_n]^T\{Z_{2n}\}.\end{aligned}$$

Отсюда следует матрица порядка $12n$ жёсткости пространственного балочного КЭ с *n* узлами в каждом контуре сечения в начале и конце стержня:

$$[K_{n-n}]=\begin{bmatrix}H_nK_{AA}H_n^T&H_nK_{AB}H_n^T\\H_nK_{BA}H_n^T&H_nK_{BB}H_n^T\end{bmatrix},$$

а векторы узловой нагрузки и перемещений имеют вид

$$\{P_{n-n}\}=\begin{Bmatrix}P_n\\P_{2n}\end{Bmatrix};\ \{Z_{n-n}\}=\begin{Bmatrix}Z_n\\Z_{2n}\end{Bmatrix}.$$

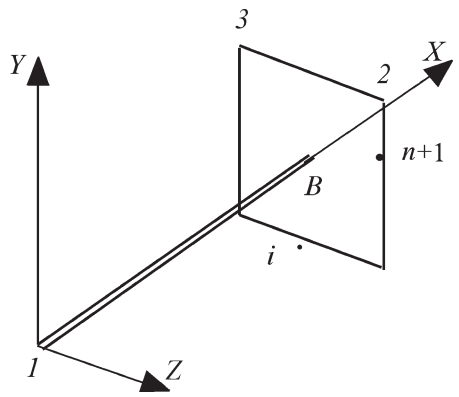


Рис. 2. Модель балочного конечного элемента с узлами по контуру сечения в конце стержня:
2 – n – узлы по контуру сечения в конце стержня

По аналогии получим матрицу жёсткости $[K_{1-n}]$ пространственного балочного КЭ с узлом *1*, расположенным в начале стержня и с *n* узлами по контуру сечения в конце стержня. На рис. 2 приведена конечно-элементная модель балочного КЭ 1–*B* с *n* узлами по контуру сечения в конце стержня с принятой последовательностью нумерации узлов.

Вектор $\{P_n\}$ сил узлов контура сечения в конце стержня имеет вид

$$\{P_n\} = [H_n]\{P_B\}, \qquad (6)$$

где $[H_n]$ – матрица переноса сил *n* узлов контура сечения, которая формируется из матриц $[h_i]$ (1) переноса перемещений узла:

$$[H_n] = \begin{bmatrix} h_2 \\ h_3 \\ \vdots \\ h_{n+1} \end{bmatrix}.$$

Согласно контраградиентным преобразованиям из преобразований сил (6) получим

$$\{Z_B\} = [H_n]^T \{Z_n\},$$

где $[H_n]^T$ – матрица переноса узловых перемещений конца КЭ.

Тогда выражения векторов $\{P_1\}$ и $\{P_n\}$ примут следующий вид:

$$\{P_1\} = [K_{AA}]\{Z_1\} + [K_{AB}][H_n]^T \{Z_n\};$$
$$\{P_n\} = [H_n][K_{BA}]\{Z_1\} + [H_n][K_{BB}][H_n]^T \{Z_n\},$$

а матрица порядка $6(n+1)$ жёсткости пространственного балочного КЭ с *n* узлами по контуру сечения в конце стержня

$$[K_{1-n}] = \begin{bmatrix} K_{AA} & K_{AB} H_n^T \\ H_n K_{BA} & H_n K_{BB} H_n^T \end{bmatrix}. \qquad (7)$$

Векторы узловой нагрузки и перемещений имеют вид

$$\{P_{1-n}\} = \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_n \end{Bmatrix}; \quad \{Z_{1-n}\} = \begin{Bmatrix} Z_1 \\ Z_n \end{Bmatrix}.$$

Для формирования матрицы $[K_{n-n}]$ в стандартной для конечно-элементной процедуры форме предлагается использовать П-образный КЭ с 4-мя узлами (рис. 3, *а*).

Участок 1–3 соответствует балочному КЭ, а участки 1–2 и 3–4 выполняют функции переноса сил из узлов КЭ *1*, *3* в узлы *2* и *4* соответственно.

Уравнение равновесия пространственного балочного КЭ 1–3 имеет вид

$$\{P_{1-3}\} = [K_{1-3}]\{Z_{1-3}\}. \qquad (8)$$

Если для вектора $\{P_{2-4}\}$ узловых сил П-образного КЭ запишем

$$\{P_{2-4}\} = [H_П]\{P_{1-3}\}, \qquad (9)$$

то матрица $[H_П]$ переноса узловых сил КЭ будет образована матрицами $[h_2]$ и $[h_4]$ переноса сил (1) *1*-го и *3*-го узлов соответственно в узлы *2* и *4*:

$$[H_П] = \begin{bmatrix} h_2 & 0 \\ 0 & h_4 \end{bmatrix}.$$

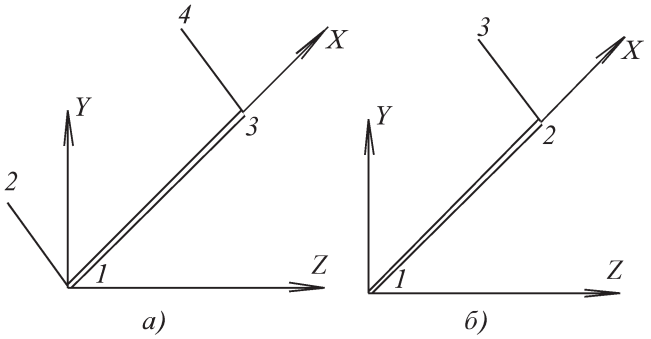


Рис. 3. Балочные конечные элементы:
а – с 4-мя узлами; *б* – с 3-мя узлами

Из преобразований сил (9) получим преобразования перемещений:

$$\{Z_{1-3}\}=[H_{\Pi}]^T\{Z_{2-4}\}.$$

Тогда вектор $\{P_{2-4}\}$ (9), с учётом уравнения (8) и выражения для вектора $\{Z_{1-3}\}$, будет иметь вид

$$\{P_{2-4}\}=[H_{\Pi}][K_{1-3}][H_{\Pi}]^T\{Z_{2-4}\},$$

что определяет матрицу порядка 12 жёсткости П-образного КЭ с узлами *3* и *4*:

$$[K_{\Pi}]=[H_{\Pi}][K_{1-3}][H_{\Pi}]^T.$$

Матрицу $[K_{n-n}]$ можно сформировать n матрицами $[K_{\Pi i}]$ жёсткости П-образных КЭ, у которых матрицы переноса сил в узлы по контурам сечений, согласно выражению (3), запишутся в виде

$$[H_{\Pi i}]=\begin{bmatrix} h_i & 0 \\ 0 & h_{n+i} \end{bmatrix},\ i=1, 2, ..., n.$$

Преобразование матрицы $[K_{\Pi i}]$ из местной системы координат XYZ в матрицу $[K^0_{\Pi i}]$ в общей системе координат $X^0Y^0Z^0$ выполняется конгруэнтным преобразованием.

Для формирования матрицы $[K^0_{n-n}]$ жёсткости пространственного балочного КЭ с n узлами по контурам сечений в общей системе координат можно применить стандартную процедуру формирования матрицы жёсткости конструкции [2]:

$$[K^0_{n-n}]=[A]^T[K^0_k][A]=\sum_{i=1}^{n}[A_{\Pi i}]^T[K^0_{\Pi i}][A_{\Pi i}],$$

где $[A]$ – булева матрица соответствий КЭ с узлами по контурам сечений порядка $12n$, состоящая из матриц $[A_{\Pi i}]$ соответствий П-образных КЭ, число строк у которой равно числу степеней свободы КЭ: 12, а число столбцов равно числу степеней свободы КЭ с узлами по контурам сечений: $12n$, т. е. у матрицы $[A_{\Pi i}]$ размерность $12\times12n$; $[K^0_k]$ – квазидиагональная матрица жёсткости КЭ с узлами по контурам сечений порядка $12n$, состоящая из матриц $[K^0_{\Pi i}]$.

У Г-образного КЭ (рис. 3, *б*) вектор $\{P_{1-3}\}$ узловых сил определяется по формуле

$$\{P_{1-3}\}=[H_{\Gamma}][K_{1-2}][H_{\Gamma}]^T\{Z_{1-3}\},$$

а матрица жёсткости КЭ с узлами *1* и *3* имеет вид

$$[K_{\Gamma}]=[H_{\Gamma}][K_{1-2}][H_{\Gamma}]^T,$$

где $[H_{\Gamma}]$ – матрица переноса сил.

В свою очередь

$$[H_{\Gamma}]=\begin{bmatrix} E & 0 \\ 0 & h_3 \end{bmatrix},$$

где E – единичная матрица порядка 6.

Тогда матрицу $[K_{1-n}]$ можно сформировать n матрицами $[K_{\Gamma i}]$ жёсткости Г-образных КЭ, у которых матрицы переноса сил в узлы контура сечения будут

$$[H_{\Gamma i}]=\begin{bmatrix} E & 0 \\ 0 & h_i \end{bmatrix},\quad i=2, 3, ..., n+1.$$

Формирование матрицы $[K^0_{1-n}]$ жёсткости балочного КЭ с узлами по контуру сечения аналогично формированию матрицы $[K^0_{n-n}]$. В процедуре формирования выполняется суммирование элементов матриц жёсткости n Г-образных КЭ на поле матрицы жёсткости $[K^0_{1-n}]$. В этом случае использование матриц $[H_{\Gamma i}]$ приводит к увеличению значений элементов подматрицы K_{AA} (7) в n раз, так как в 1-м узле не выполняется перенос сил и перемещений (см. рис. 3, *б*). В связи с этим после формирования матрицы $[K^0_{1-n}]$ необходимо элементы подматрицы K_{AA} (блок 1-го узла) уменьшить в n раз.

Предлагаемые балочные КЭ позволяют выполнять расчёты стержневых систем, образованных из стержней с различными геометрическими характеристиками сечений и с эксцентриситетами осей [3]. При этом участки стержня вне узлов их сопряжения моделируются балочными КЭ с узлами по контуру сечения, а зоны сопряжения стержней моделируются КЭ оболочки, что позволяет полнее учитывать особенности конструкций.

Библиографические ссылки

1. **Зенкевич О.** Метод конечных элементов в технике / пер. с англ. [под ред. Б.Е. Победри]. М.: Мир, 1975. 541 с.

2. **Метод** суперэлементов в расчётах инженерных сооружений / В.А. Постнов, С.А. Дмитриев, Б.К. Елтышев, А.А. Родионов. Л.: Судостроение, 1979. 287 с.

3. **Свидетельство** РФ об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006610529. Статика произвольной пространственной стержневой системы / С.А. Чернов. Заявитель и правообладатель Ульян. гос. техн. ун-т. № 2005613263; заявл. 9.12.2005 / зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 7.02.2006.

УДК 621.9.029.001.57

И.В. Муравьёв, канд. техн. наук, доц., **И.А. Петухов**
(Московский государственный технологический университет "Станкин")
ipetukhov91@gmail.com

МЕТОД ЗАМЕЩЕНИЯ СЛОЖНОГО ИЗДЕЛИЯ МНОЖЕСТВОМ МОДУЛЕЙ

Рассмотрен модульный принцип построения изделия и его применение. Дана классификация модулей, их определения и особенности реализации.

Ключевые слова: изделие, модуль-мера, модули функциональные обслуживающие (МФО), модуль функциональный технологический (МФТ).

Modular principle of the product construction and application is considered. Component cells klassification, their definition and realization features are adduced.

Key words: product, modul-measure, functional serving component cells (МФО), functional technological component cells (МФТ).

Внедрение модульного принципа в машиностроительное производство должно начинаться с модульного построения изделия. При этом следует исходить из того, что действенное, эффективное применение модульного принципа будет только в том случае, если модулями будут объективно существующие элементы. Тогда модули приобретают общий характер для машиностроения и могут применяться при построении любого изделия.

Необходимо отметить, что при разработке метода замещения для модульного принципа характерным является абстракция, модульность, иерархия, устойчивость, унификация.

Поэтому необходимо разобраться с разнообразием модулей, их подчинённостью и построить классификацию.

Всё многообразие модулей машиностроительных изделий сводится к двум категориям (модуль-мера и модуль-изделие) или в соответствии с их применением (проектный и физический модули) [1]. В качестве проектного модуля выступает мера, в соответствии с которой проектный модуль может быть линейным, плоскостным или объёмным.

Под проектным линейным модулем понимается мера, характеризующая размер в одном измерении.

Под проектным плоскостным модулем понимается мера, характеризующая площадь определённой формы и габаритных размеров. Примерами такого модуля являются форма и размеры облицовочной плитки, паркетных щитов и т. п.

Под проектным объёмным модулем понимается мера, характеризующая объём фиксированной формы и размеров. Это форма и размеры кирпича или условный контейнер кубической формы (уникуб), внешние размеры и объём которого используются для измерения кубатуры трюмов, складов и т. п.[1].

Модуль-изделие представляет собой полностью собранную самостоятельную часть изделия, имеющую документацию на изготовление, прошедшую функциональную проверку и готовую к монтажу. Такие модули легко соединяются, образуя различные системы, разъединяются и заменяются. Модуль-изделие характеризуется конструктивной и технологической завершённостью, не требующей дополнительных работ по технической подготовке, и обладает строго фиксированными параметрами [2].

В свою очередь, различают две разновидности модуль-изделия: конструктивный и функциональный модули.

Под конструктивным модулем понимается часть конструкции изделия, рассматриваемого как совокупности деталей и сборочных единиц, а под функциональным – часть самого изделия как функционального объекта.

Приведённые выше понятия и определения модулей недостаточно строги и требуют уточнений. Например, возьмем такой объект как кирпич. С одной стороны, своей формой и размерами он относится к категории проектного модуля, а с другой стороны, как материальное тело, он относится к физическому модулю.

В обоих случаях модули имеют одни и те же параметры (250×120×65 мм), геометрическую форму. Основная разница заключается в том, что форма и размеры кирпича в качестве проектного модуля выступают как нематериальный объект, а во втором случае кирпич является материальным объектом [3].

Поэтому в определении проектного модуля надо уточнить, что модуль является нематериальным объектом, а в определении физического – материальным.

Недостаточно удачен и термин "модуль-мера", так как в переводе с латинского модуль – это мера.

Принимая во внимание изложенное, построение классификации надо начинать с того, что все модули можно разделить на два класса: модуль-мера (проектный) и модуль-изделие (физический).

В качестве проектного модуля выступает нематериальный воображаемый объект, представляющий собой некую абстракцию. К нему можно отнести модуль пространства (линейный, плоскостной, объёмный), соотношение размерных параметров, например золотое сечение, модуль зубчатого колеса, отношение длины вала к его диаметру и т. п. Все они характеризуют конструкцию изделия.

Физический модуль, являющийся материальным объектом, можно разделить на две группы: конструктивный и функциональный.

Функциональный модуль – это часть изделия, с помощью которой реализуется та или иная функция изделия как объекта эксплуатации. Например, в качестве функционального модуля выступает редуктор, зубчатая пара, система управления и т. п.

В свою очередь функциональные модули можно разделить на технологические и обслуживающие.

Под модулем функциональным технологическим (МФТ) будем понимать модуль, с помощью которого изделие (как объект эксплуатации) выполняет непосредственно свое служебное назначение. Например, у автомобиля МФТ являются кузов для размещения перевозимого груза, шасси, с помощью которого движется автомобиль, рулевое управление и т. п.

У обрабатывающей технологической системы к МФТ относятся станок для осуществления закона относительного движения стола заготовки и суппорта инструментальной наладки, приспособление для установки заготовки, инструментальная наладка и контрольно-измерительное устройство.

В свою очередь, чтобы МФТ могли выполнять свои функции, необходимы модули функциональные обслуживающие (МФО). Например, для осуществления станком заданного закона относительного движения стола и суппорта необходимы такие МФО, как привод, коробка передач, коробка подач.

Модуль физический конструктивный представляет собой законченную часть конструкции изделия.

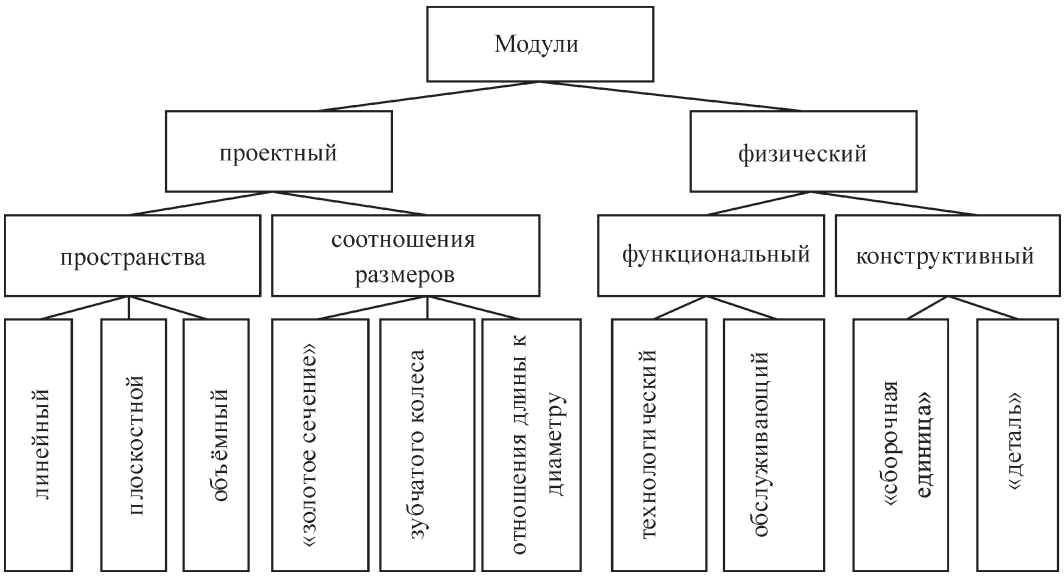
Под конструкцией обычно понимается совокупность всех деталей и сборочных единиц, образующих изделие. Исходя из формулировки конструктивного модуля, приведённой в работе [2], модулем может быть та или иная часть конструкции.

В качестве конструктивного модуля может выступать сборочная единица или деталь. Служебное назначение конструктивного модуля в отличие от функционального не связано с выполнением объекта эксплуатации его служебных функций [4].

На основании изложенного выше предложена классификация модулей, приведённая на рисунке.

Если изделие рассматривать как объект эксплуатации, то оно представляется совокупностью функциональных модулей.

Для каждого объекта эксплуатации характерны вполне определённые МФТ, именно они позволяют отличать изделие одного назначения от изделия другого назначения. Поэтому МФТ определённого класса машин по своему назначению отличаются небольшим разнообразием. Рост разнообразия МФТ связан, главным образом, с разнообразием изделий.



Классификация модулей машиностроительных изделий

Действительно, обрабатывающие технологические системы любой конструкции всегда содержат такие МФТ, как станок, приспособление, инструментальную наладку и контрольно-измерительное устройство. Эти МФТ отличаются конструктивным решением, но по назначению остаются постоянными.

Необходимо отметить, что в отличие от МФТ одни и те же МФО могут применяться в изделиях самого разного назначения. Они так же, как и МФТ, могут классифицироваться по функциональному назначению.

Если разнообразие МФТ и МФО обозримо, то о конструктивных модулях, в качестве которых выступают сборочные единицы и детали, такого сказать нельзя: и сборочные единицы и детали отличаются огромным разнообразием. Это обстоятельство приводит к тому, что представление сборочной единицы и детали в качестве модулей теряет практический смысл.

Поэтому поиск конструктивных модулей, из которых строятся конструкции разных изделий, приобретает первостепенное значение для реализации модульного принципа в машиностроительном производстве, т. е. искать их надо, абстрагируясь от функционального назначения изделий, считая изделие некоей технической системой, независимой от того, является ли она станком, швейной машиной или автомобилем.

Основу технической системы машиностроительного изделия составляет её конструкция и потому именно в рамках конструкции следует рассматривать эти модули.

Проблема заключается в том, что необходимо найти такой элемент, который присутствовал бы в любой конструкции изделий.

К такому модулю изделия предъявляются следующие требования: он должен характеризоваться однозначностью, высокой устойчивостью, описываться минимальным набором характеристик и отличаться небольшой номенклатурой.

Однозначность модуля обеспечивает единое описание любых изделий независимо от их назначения; высокая устойчивость гарантирует их длительное использование, а малый набор характеристик и узкая номенклатура способствует типизации и унификации модулей.

Библиографические ссылки

1. **Базров Б.М.** Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001. 367 с.

2. **Васильев А.Л.** Модульный принцип формирования техники. М.: Изд-во стандартов, 2009. 238с.

3. **Балакшин Б.С.** Теория и практика технологии машиностроения: в 2-х кн. Кн. 2. Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2002. 367 с.

4. **Якушев А.И.** Основы взаимозаменяемости и технические измерения. М.: Машиностроение, 2008. 400 с.

УДК 681.2.083:004.384

А.Ю. Бальзамов, канд. техн. наук, доц., **И.И. Байнева,** канд. техн. наук, доц.
(Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск), **В.Г. Пильщиков** (ОАО "Ростелеком", г. Саранск)
baynevaii@rambler.ru

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ И СОРТИРОВКИ РАДИОЭЛЕМЕНТОВ

Исследованы принцип работы и построение устройства контроля параметров и сортировки радиоэлементов (резисторов, конденсаторов, малогабаритных дросселей) на базе микроконтроллера ATmega64 фирмы Atmel.

Ключевые слова: резистор, конденсатор, дроссель, ток, напряжение, переходный процесс, микроконтроллер, сортировка.

The operation principle and construction of the device for radio elements parameters control and sorting (resistors, capacitors, small throttles) based on the microcontroller ATmega64 from Atmel are investigated.

Key words: resistor, capacitor, throttle, current, voltage, transition process, microcontroller, sorting.

Введение. Повышение качества выпускаемой продукции и производительности труда является основной задачей модернизации промышленности РФ. Современный уровень развития электронной техники и информационных технологий позволяет решать широкий круг задач в области автоматизации производства. Неотъемлемой частью повышения качества является входной кон-

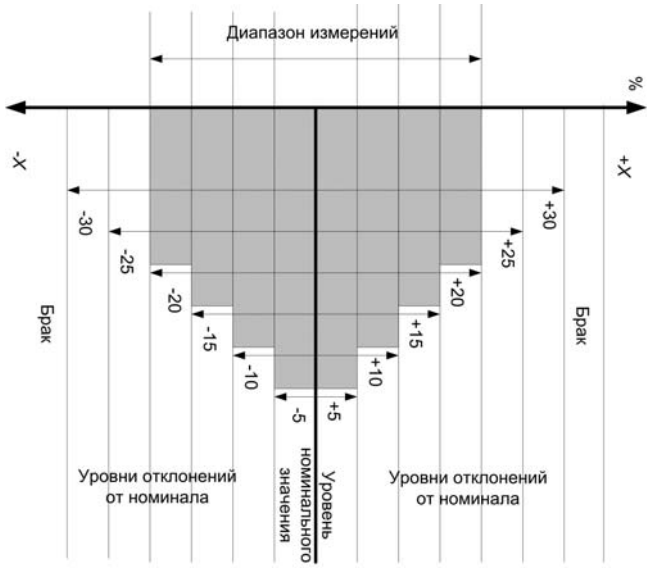


Рис. 1. Привязка диапазона измерений к интервалу разбросов

троль сырья, материалов, комплектующих изделий на стадии подготовки производства. Повышение производительности обусловлено внедрением автоматизации производственных процессов и исключением влияния человеческого фактора. В частности, в процессе производства устройств электронной техники, в том числе вычислительных, измерительных и управляющих систем, входной контроль комплектующих изделий позволяет повысить качество продукции.

Применение комплектующих с низким разбросом параметров позволяет исключить дополнительные операции при настройке электронных узлов, снизить процент брака, повысить стабильность работы и сроки эксплуатации, увеличить производительность и снизить себестоимость за счёт меньших временных затрат.

Основная часть. *Методика эксперимента.* В традиционных измерительных системах для измерения электрических величин и обеспечения достаточной точности используется разбиение измерительного диапазона на фиксированные поддиапазоны. Однако проблема снижения точности измерений в начальной части каждого поддиапазона остаётся.

При оценке разброса параметров нет необходимости измерять абсолютную величину, так как её номинальное значение известно. В этом случае достаточно оценить разброс в диапазоне заданного допуска. При этом ширина диапазона выбирается каждый раз при измерении под конкретную величину (рис. 1).

При реализации такого метода диапазон может быть вычислен по заданным параметрам: номиналу и допустимому разбросу в процентах. Применение микроконтроллеров позволяет сочетать логику управления, измерения и вычисления. Устройство должно автоматически сортировать по заданным градациям процента разброса и отбраковывать при выходе номинала из допустимого диапазона.

Базовые контролируемые элементы – это резисторы, конденсаторы и малогабаритные дроссели. Методы оценки величины разброса параметров основаны на изменении уровня тока и напряжения с течением времени в переходном процессе в RC- и RL-цепях.

Электрическая цепь для измерения ёмкости приведена на рис. 2.

Изменение напряжения конденсатора в цепи можно записать выражением

$$U_C(t) = E\,(1 - \exp(-t / RC)).$$

Если для каждого номинала ёмкости при постоянном значении R выбрать временной интервал t, при котором напряжение заряда U_C будет равно заданному значению, то при отклонении ёмкости от номинала (C') от заданного значения отклонится и напряжение на ёмкости в момент времени t.

Несложно показать, что независимо от номинальной величины ёмкости C величина отклонения напряжения на ёмкости в момент времени t от заданного значения зависит только от отношения реального значения ёмкости к номинальному, т. е. C'/C.

Если в электрической цепи на рис. 2 заменить ёмкость C на индуктивность L, то напряжение на индуктивности запишется в виде

$$U_L = L\frac{di}{dt} = E\exp(-tR / L).$$

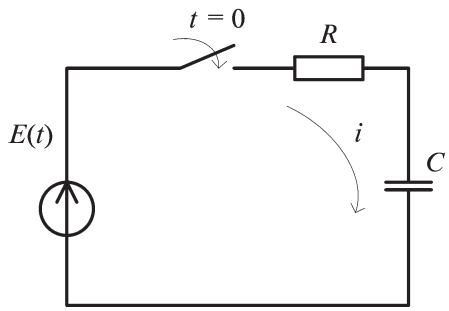


Рис. 2. Включение конденсатора в цепь постоянного тока: $E(t)$ – источник напряжения; R – резистор: C – конденсатор; i – ток; цепь замыкается в момент времени $t = 0$

Если для каждого номинала индуктивности при постоянном значении R выбрать временной интервал t, при котором напряжение U_L будет равно заданному значению, то при отклонении индуктивности от номинала (L') отклонится от заданного значения и напряжение на индуктивности в момент времени t. Величина этого отклонения зависит только от отношения реального значения индуктивности к номинальному значению, т.е. L'/L.

Для измерения сопротивления можно использовать ту же цепь, что и для измерения ёмкости. При постоянной ёмкости и номинальном значении сопротивления можно рассчитать время, за которое ёмкость зарядится до заданного значения. При отклонении сопротивления от номинала будет изменяться и заряд ёмкости в заданный момент времени.

При выборе величины измерительного напряжения исследовалась зависимость изменения напряжения на ёмкости ΔU от изменения величины ёмкости ΔC в пределах ± 50 % от номинала при различных измерительных напряжениях U_C. Наименьшую нелинейность при достаточно высокой чувствительности эта зависимость имеет при значении измерительного напряжения $0{,}9E$.

Схема измерительной цепи в режиме ёмкости приведена на рис. 3.

Временной интервал измерения задается программно установкой таймера, управляющее напряжение через оптрон $U1$ открывает транзисторный ключ $VT1$ на время, необходимое для заряда конденсатора C_x при номинальном значении ёмкости до $0{,}9U_{изм}$. Делителем напряжения на резисторах $R1$ и $R2$ также устанавливается уровень $0{,}9U_{изм}$. На дифференциальный вход АЦП подается напряжение разбаланса, равное разнице напряжений на ёмкости C_x и делителе, пропорциональное отклонению ёмкости от номинала.

Сопротивление, образованное открытым переходом транзистора $VT1$, резисторами $R5$ и $R6$, выбирается исходя из диапазона изменения постоянной времени измерительной цепи так, чтобы дискретные значения длительности измерительного интервала времени были кратны тактовой частоте таймера.

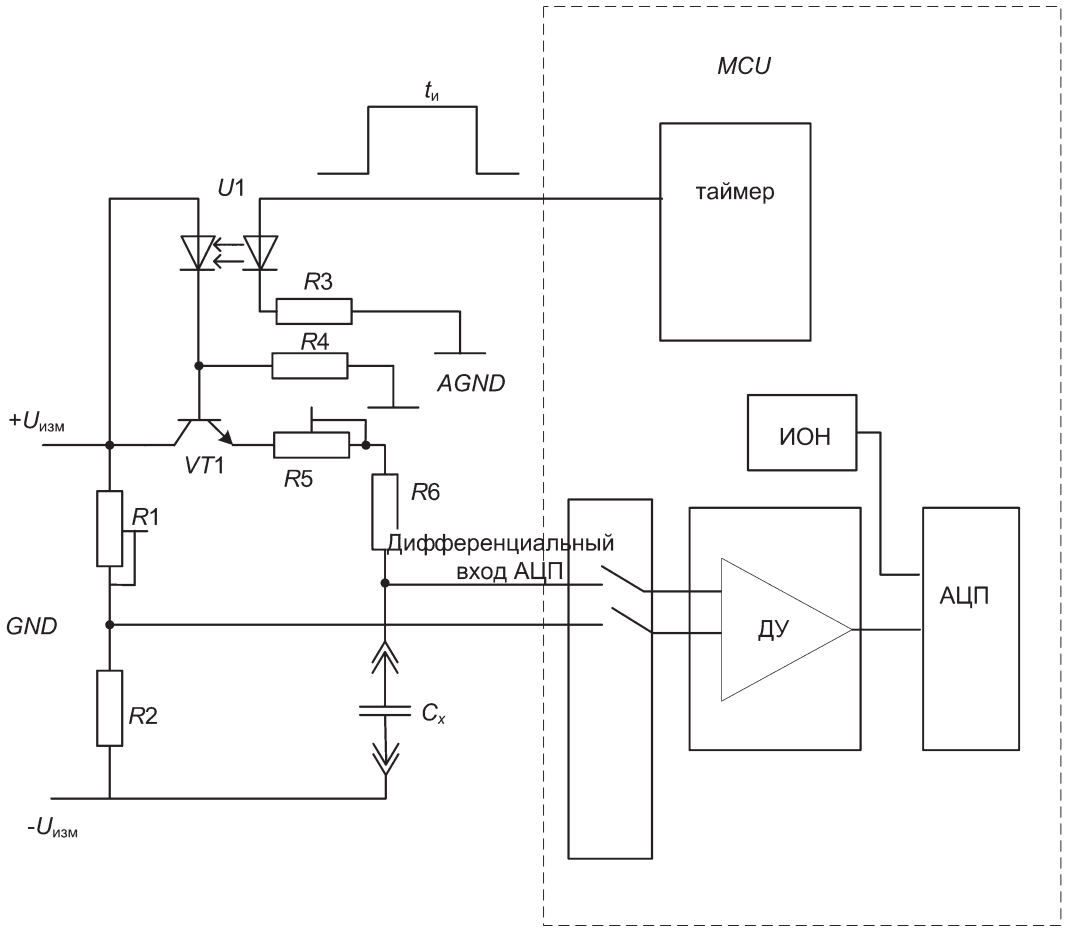


Рис. 3. Схема измерительной цепи в режиме ёмкости

Напряжение $U_{изм}$ выбирается таким, чтобы получить необходимый диапазон измерения при разбросе номиналов ±50 %.

Так как функция ΔU (ΔC) асимметрична и для её линеаризации при положительных и отрицательных отклонениях от номинала потребуются разные таблицы, используем дифференциальный канал с двуполярной функцией преобразования для 10-разрядного АЦП микроконтроллеров семейства AVR. В этом режиме старший бит полученного при преобразовании кода используется под знак, а само преобразование 9-разрядное.

Значения ΔU (ΔC) при $U_{изм}$ = 22,2 В

Отклонения ΔC, % (через 5 % C_x)	Напряжение на C_x, В	Приращение ΔU, В (на каждые 5 % C_x)	Абсолютное значение приращения Δuf, В
50	17,41715499	0,246586438	–2,56285
45	17,66374143	0,250109616	–2,31626
40	17,91385104	0,253297428	–2,06615
35	18,16714847	0,256067029	–1,81285
30	18,4232155	0,258321614	–1,55678
25	18,68153711	0,259948513	–1,29846
20	18,94148563	0,26081721	–1,03851
15	19,20230284	0,260777403	–0,7777
10	19,46308024	0,259657298	–0,51692
5	19,72273754	0,257262463	–0,25726
0	19,98		0
–5	20,23337573	0,253375725	0,253376
–10	20,48113462	0,247758899	0,501135
–15	20,72129212	0,240157499	0,741292
–20	20,95160226	0,230310135	0,971602
–25	21,16956728	0,217965021	1,189567
–30	21,37247419	0,202906915	1,392474
–35	21,55747292	0,184998726	1,577473
–40	21,7217155	0,164242579	1,741715
–45	21,86257974	0,140864241	1,88258
–50	21,978	0,11542026	1,998

Сопротивление измерительной цепи рассчитывается по формуле

$$R = \frac{t}{-\ln\left(1-\frac{U_C(t)}{E}\right)}\frac{1}{C}.$$

Для минимальной ёмкости выбираем длительность измерительного интервала 20 периодов тактовой частоты. При тактовой частоте AVR микроконтроллера 16 МГц получаем время измерения t = 1,25 мкс. Для ёмкости C_x = 10 пФ при заданном времени заряда сопротивление цепи заряда R = 54 287 Ом. Значения ΔU(ΔC) при рассчитанном измерительном напряжении $U_{изм}$ = = 22,2 В представлены в таблице.

Для линеаризации функции ΔU(ΔC) использован табличный линеаризатор. В результате получена линейная функция преобразования $\Delta U = -0{,}442\ \Delta C$. Кроме того, составлена таблица поправок к линейной функции с шагом 0,005 В, соответствующим младшему значащему разряду АЦП при опорном напряжении 2,56 В.

Аналогичные методы можно использовать и при измерении сопротивления и индуктивности. Поскольку функция напряжения на индуктивности убывающая, наименьшее значение нелинейности измерения обеспечивается при соотношении $U_L / E = 0{,}1$.

Таким образом, при максимальном разбросе измеряемых параметров ±50 % от номинала используется шкала значений в 512 единиц, т. е. 10 значений на 1 % отклонения. При этом достигается точность измерения относительно абсолютной величины номинала, равная младшему значащему разряду АЦП, в данном случае $50/512 = \pm 0{,}097$ % от номинального значения во всем диапазоне измерений.

Структура и алгоритм работы устройства. Установка представляет собой автоматическое устройство с роторной подачей и вертикальной системой сортировки (рис. 4). Ротор *2* разделён на восемь сегментов, в каждый сегмент установлен кондуктор для позиционирования испытуемого радиоэлемента. Вращение ротора дискретное с углом поворота 45° за одну операцию. Устройство сортировки *4* вертикальное на восемь рабочих позиций (*5–12*).

Для выполнения операций с радиоэлементами ротор имеет три положения:

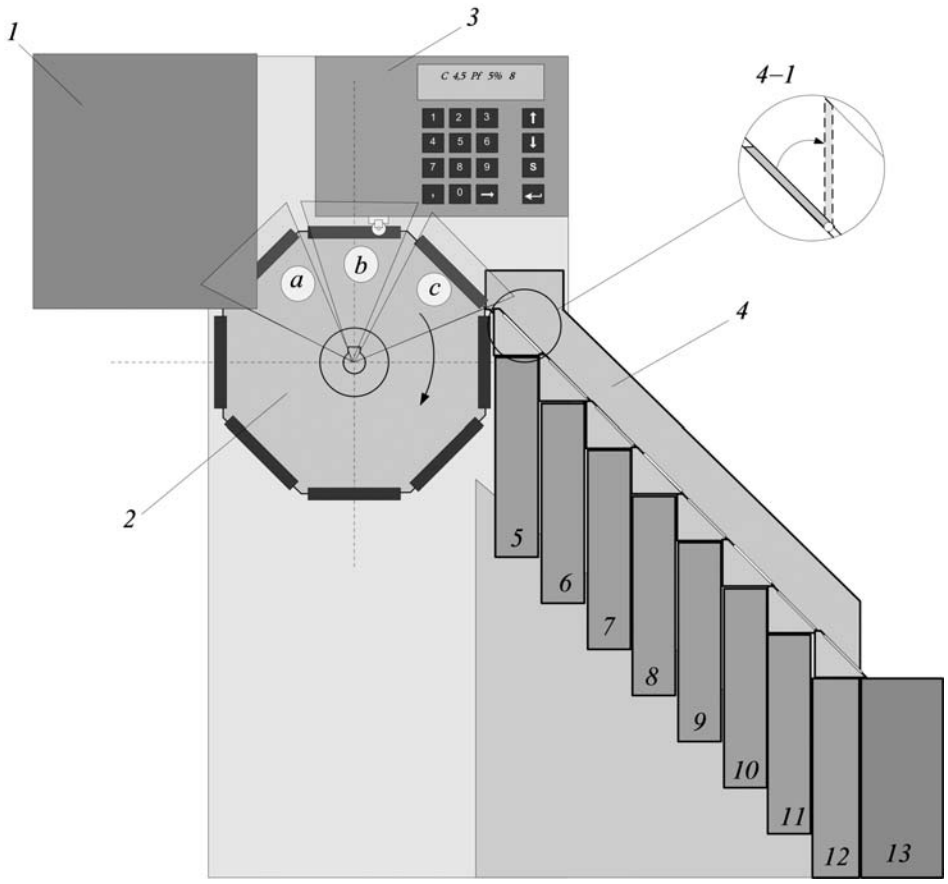


Рис. 4. Установка для контроля параметров радиоэлементов

захват элемента из входного бункера-накопителя (сектор *a*); измерение (сектор *b*); выброс элемента в зону сортировки (сектор *c*).

В положении *a* захватывается очередной элемент из входного бункера-накопителя *1*. Ротор, поворачиваясь на одну позицию, перемещает элемент в зону измерения *b*. Одновременно захватывается следующий элемент из бункера. Контакт выводов элемента с устройством измерения *3* обеспечивается приводом измерительной системы.

В положении *b* измеряются параметры элемента. По результатам измерения, в зависимости от величины отклонения от заданного номинала, система управления выдает команду сортировочному устройству *4*, в котором открывается отверстие над выходным бункером-накопителем. Ротор, поворачиваясь на следующую позицию, перемещает элемент в сортировочное устройство. Двигаясь по наклонному желобу, через предварительно открытое отверстие элемент попадает в соответствующий выходной бункер-накопитель *5–12*.

Если разброс параметров выходит за границы диапазона сортировки, то отверстия бункеров сортировочного механизма остаются закрытыми, а элемент выгружается в бункер отсева *13*. Процесс повторяется до опустошения бункера или принудительной остановки.

Система останавливается автоматически при отказе ротора, устройства сортировки, источников питания. В этом случае осуществляется аварийное световое и звуковое оповещение. Установка управляется с консоли, расположенной на её передней панели. Параметры установки и режимы работы отображаются матричным ЖК-индикатором. Данные о работе сохраняются в энергонезависимой памяти устройства управления.

При включении системы формируется сигнал сброса и выполняется инициализация, опрашиваются датчики питающих напряжений и исполнительных устройств. При исправности и готовности устройства к работе с клавиатуры вводятся исходные данные, проводятся необходимые вычисления и устройство переходит в состояние готовности к сортировке. В момент, когда сортируемый элемент находится в зоне измерения, с датчика формируется сигнал прерывания, выполняется программа измерения и сортировки. Данные о выполненных операциях сохраняются в буфере, на индикаторную панель выводится номер и результат сортировки. Проводится опрос клавиатуры. Если команды с клавиатуры не поступало, то формируется временной интервал, в течение которого проверяется поступление запроса на передачу данных. При наличии запроса происходит выгрузка буфера в постоянное хранилище. По истечении временного интервала опрашиваются датчики состояния. При исправности системы выдается команда на перемещение следующего элемента в зону измерения, затем цикл измерения повторяется. Завершение измерений может быть вызвано командой с консоли, аварийной ситуацией (отказ устройства перемещения или исполнительного устройства), опустошением бункера подачи элементов.

Аппаратная реализация и программное обеспечение устройства. Основой устройства является AVR-микроконтроллер ATmega64 фирмы ATMEL,

Рис. 5. Внешний вид модуля управления

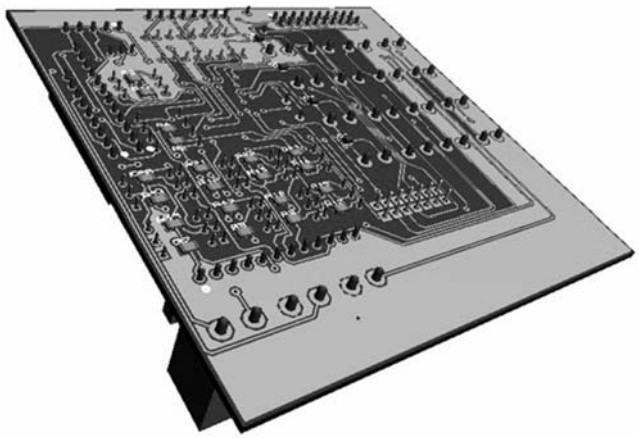


Рис. 7. Трёхмерная модель устройства (сторона монтажа)

контроллер имеет широкие функциональные возможности и высокую производительность за счёт использования RISC архитектуры [1,2]. В качестве цифровой измерительной системы использован интегрированный 10-разрядный АЦП.

Для визуального отображения информации применен LSD алфавитно-цифровой дисплей WH1604 с встроенным микроконтроллером. Для передачи данных по протоколу UART использован преобразователь уровней RS232/TTL маркиDS275 [3].

Работа устройства документируется внешним последовательным SDC накопителем, включённым по протоколу SPI. Для управления исполнительными устройствами в качестве буферного элемента использован драйвер ULN2003.

Внешний вид модуля управления представлен на рис. 5.

Разработанная схема устройства моделировалась в среде "PROTEUS". При моделировании использовались дополнительные модули для эмуляции процессов коммутации, которые зависят от перемещения исполнительных механизмов. Печатная плата устройства представлена на рис. 6 и 7.

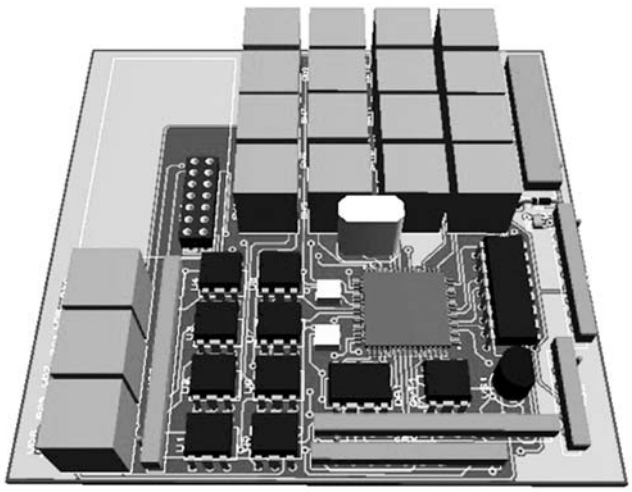


Рис. 6. Трёхмерная модель устройства (сторона установки элементов)

Программное обеспечение (ПО) микроконтроллера составлено на языке С и откомпилировано в бинарный код в среде CodeVisionAVR. ПО содержит функции инициализации, тестирования напряжений, исполнительных устройств, сканера клавиатуры, вывода на дисплей, протокола SPI, протокола UART, привода перемещения, сортировки, измерительного устройства, анализа результатов и принятия решения, обработки аварийных ситуаций.

Заключение. Разработанное устройство контроля параметров радиоэлементов может широко применяться при производстве электронного оборудования, обеспечивая высокопроизводительный входной контроль в сборочном производстве. Представленное устройство является базовым модулем, расширяя который изготовлением дополнительных измерительных блоков и модификацией ПО, можно контролировать статические параметры нелинейных элементов, в том числе полупроводниковых приборов. Возможность внешнего подключения к устройству позволяет интегрировать его в распределённые системы и автоматизированные системы управления технологическими процессами.

Библиографические ссылки

1. **Баранов В.Н.** Применение микроконтроллеров AVR. М.: ИД "Додека XXI", 2004. 228 с.

2. **Трамперт В.** Измерение, управление и регулирование с помощью AVR микроконтроллеров. Киев: МК-Пресс, 2006. 208 с.

3. **Иди Ф.** Сетевой и межсетевой обмен данными с микроконтроллерами. М.: ИД "Додека XXI", 2007. 376 с.

УДК 658.012.011.56

А.В. Капитанов, канд. техн. наук, доц.
(Московский государственный технологический университет "СТАНКИН")
av.kapitanov@stankin.ru

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СТАНОЧНЫХ СИСТЕМ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Проанализированы технологическая и функциональная структуры станочной системы многономенклатурного производства, определены отношения между её элементами, выделена технологическая среда, являющаяся предметом системных исследований. Приведены математические модели связи между характеристиками номенклатуры обрабатываемых деталей и технологическими свойствами элементов автоматизированной станочной системы (АСС). На основе моделей обоснованы методологические принципы синтеза технологической структуры АСС. Отражены теоретические и методологические основы технологического проектирования АСС, позволяющие с позиций системного подхода построить функциональную структуру САПР АСС.

Ключевые слова: проектирование, автоматизированная станочная система, многономенклатурное производство.

The technological and functional structure of the machine tool system for diversified production are analysed, the relations between system elements are determined, technological environment, as the object of systems research, is separated. Mathematical models of the relationship between the workpieces nomenclature behavior and technological properties of the automatic machine tool systems elements (ACC) are adduced. The methodological principles of the ACC technological structure synthesis is derived from a models. The theoretical and methodological foundations of ACC technological designing, allowing the system approach to build the CAD ACC functional structure from a position of systemic approach are reflected.

Key words: designing, automatic machine-tool systems, diversified production.

Традиционно автоматизированная станочная система (АСС) многономенклатурного производства проектируется для обработки деталей определённой номенклатуры, состоящей из отдельных групп деталей, соединённых в группы по конструктивно-технологическим и организационно-экономическим признаками [1]. Поэтому здесь уместно дать определение номенклатуры и группы деталей.

Группа деталей $D_{\text{г}}$, $\text{г} \in \{\Gamma\}$ характеризуется общностью конструктивно-технологических элементов, служебного назначения, материала, технологического процесса, оборудования, технологической оснастки и инструмента, применяемых при обработке [2]. Таким образом, для группы $D_{\text{г}}$ справедливо:

$$D_{\text{г}} = \bigwedge_{j=1}^{M'} d_j = \left\{ \begin{array}{l} d_{\text{о}} = \{\beta_1, \beta_2, ..., \beta_\sigma\} \\ p = \{\gamma_1, \gamma_2, ..., \gamma_\mu\} \\ S_{d_j} = G(N, E) \end{array} \right\},$$

где M' – количество деталей в группе; $d_{\text{о}}$ – общие сведения о деталях группы $D_{\text{г}}$, $\text{г} \in \{\Gamma\}$, включающие конструкторско-технологические коды, материалы, виды заготовок и т. д.; p_i – характеристики обрабатываемых поверхностей $i \in \{N'\}$, составляющих группу; S_{d_i} – структура множества деталей d_j, представленная графом $G(N, E)$, в котором вершинам соответствуют поверхности, а рёбрам операции и отношения, характеризующие взаимосвязи поверхностей.

В свою очередь

$$E = (R_{p_i}, F_{p_i}), \; i \in \{N\},$$

где R и F – поверхности деталей.

Под номенклатурой подразумевается множество деталей, обладающих сходными конструктивными, функциональными, технологическими и организационными признаками.

Из формального описания группы деталей $D_{\text{г}}$, $\text{г} \in \{\Gamma\}$

$$\{D_1\} \cup \{D_2\} \cup ... \cup \{D_{\text{г}}\} \cup ... \cup \{D_M\} = \{D^H\},$$

где $\{D^H\}$ – номенклатура деталей, обработку которых должна обеспечить синтезируемая АСС.

Необходимо определить свойства данной номенклатуры, которые позволяют выделить подмножества элементов, определяющих общую структуру АСС. Исходными данными для синтеза структуры АСС является множество переходов $\{L\}$ и связанных с ними обрабатываемых поверхностей p_i, $i \in \{N'\}$ множества деталей $\{D_\text{г}\}$, для каждой из которых справедливо:

$$p_i = [\underset{L}{\wedge} \pi_l^i], \quad (1)$$

где π – технологический переход.

Технологические возможности оборудования АСС зададим предикатной матрицей отношений между элементами a_x, $x \in \{X\}$ и π_l, $l \in \{L\}$:

$$M = \begin{array}{c|ccccccc} & \pi_1, & \pi_2, & \dots, & \pi_l, & \dots, & \pi_L \\ a_1 & y_{11}, & y_{12}, & \dots, & y_{1l}, & \dots, & y_{1L} \\ a_2 & y_{21}, & y_{22}, & \dots, & y_{2l}, & \dots, & y_{2L} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_x & y_{x1}, & y_{x2}, & \dots, & y_{xl}, & \dots, & y_{xL} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_X & y_{X1}, & y_{X2}, & \dots, & y_{Xl}, & \dots, & y_{XL} \end{array}, \quad (2)$$

элемент которой

$$y_{xl} = \begin{cases} 1 - \text{если переход } \pi_l,\ l \in \{L\} \text{ может быть} \\ \text{выполнен на } a_x\text{-м оборудовании}, \\ x \in \{X\} \text{ АСС}; \\ 0 - \text{в противном случае}. \end{cases}$$

Согласно выражению (1) для детали $d \in \{D_\text{г}\}$ очевидно

$$d = \underset{N'}{\wedge} p_i \, [\underset{L}{\wedge} \pi_l^i], \quad (3)$$

для группы $\{D_\text{г}\}$

$$\{D_\text{г}\} = \underset{M}{\wedge} d_j \, \{\underset{N'}{\wedge} p_i [\underset{L}{\wedge} \pi_l^i]\}, \quad (4)$$

а для номенклатуры деталей $\{D^H\}$

$$\{D^H\} = \overset{M}{\underset{\text{г}=1}{\forall}} D_\text{г} [\underset{M'}{\wedge} d_j \{\underset{N'}{\wedge} p_i \, [\underset{L}{\wedge} \pi_l^i]\}]. \quad (5)$$

Исходя из матрицы (2) для каждого перехода π_l, $l \in \{L\}$ построим вектор $y_l = (y_{1l}, y_{2l}, \dots, y_{xl}, y_{Xl})$, ненулевые элементы которого определяют оборудование АСС, выражение a_x, $x \in \{X\}$, на котором данный переход может быть реализован:

$$\begin{array}{l} \pi_1 = (y_{11}, y_{21}, \dots, y_{x1}, \dots, y_{X1}); \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \pi_L = (y_{1L}, y_{2L}, \dots, y_{xL}, \dots, y_{XL}). \end{array} \quad (6)$$

Подставляя векторы (6) в выражение (1) для p_i, $i \in \{N'\}$, получим:

$$\begin{array}{l} p_i = \pi_1^i (y_{11}, y_{21}, \dots, y_{x1}, \dots, y_{X1}) \wedge \\ \wedge\ \pi_2^i (y_{12}, y_{22}, \dots, y_{x2}, \dots, y_{X2}) \wedge \\ \wedge\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \pi_l^i (y_{1l}, y_{2l}, \dots, y_{xl}, \dots, y_{XL}) \wedge \\ \wedge\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \wedge\ \pi_L^i (y_{1L}, y_{2L}, \dots, y_{xL}, \dots, y_{XL}). \end{array}$$

После преобразований

$p_i = \Delta \pi_l^i (y_{1l}, y_{2l}, \dots, y_{xl}, \dots, y_{Xl})$ или

$p_i = \wedge \pi_l^i (\underset{X}{\forall} y_{xl})$,

а для детали

$$d_j = \underset{N'}{\wedge} p_i \left\lfloor \underset{L}{\wedge} \pi_l^i (\underset{X}{\forall} y_{xl}) \right\rfloor.$$

Для группы деталей:

$$\{D_\text{г}\} = \underset{M'}{\wedge} d_j \, \{\underset{N'}{\wedge} p_i \left\lfloor \underset{L}{\wedge} \pi_l^i (\underset{X}{\forall} y_{xl}) \right\rfloor\}, \quad (7)$$

а для номенклатуры деталей:

$$\{D^H\} = \overset{M}{\underset{\text{г}=1}{\forall}} \{D_\text{г}\} [\underset{M'}{\wedge} d_j \, \{\underset{N'}{\wedge} p_i [\underset{L}{\wedge} \pi_l^i (\underset{X}{\forall} y_{xl})]\}]. \quad (8)$$

Из выражения (8) очевидно, что если дизъюнкция векторов $y_{xl} = 0$, т. е. если $\underset{X}{\forall} y_{xl} = 0$, то заданная номенклатура деталей $\{D^H\}$ не может быть получена в данной АСС.

Образуем предикат:

$$\psi \{D^H\} = \underset{M}{\forall} d_j = \{\underset{N'}{\wedge} p_i \left\lfloor \underset{L}{\wedge} \pi_l^i (\underset{X}{\forall} y_{xl}) \right\rfloor\}, \quad (9)$$

где $\forall d_j$ – квантор общности с областью определения M.

Предикат $\psi \{D^H\} = 1$, если и только если для каждой детали $d_j \in \{D^H\}$ $\underset{X}{\forall} y_{xl}^i \neq 0$, т. е. существует такое множество переходов π_l, $l \in \{L\}$, отражённое на оборудовании АСС a_x, $x \in \{X\}$, которое обеспечивает обработку любой детали d_j, $j = \overline{1, M}$.

Анализ модели (9) показывает, что количество вариантов структур АСС достаточно велико, поэтому для минимизации вариантов необходимо использовать целевую функцию проектирования АСС МНП стоимостного характера.

В результате анализа технологической и функциональной структуры станочной системы многономенклатурного производства определены отношения между её элементами, выделена технологи-

ческая среда, являющаяся предметом системных исследований.

Сформулированы отношения эквивалентности, совместности, следования и взаимодействия, позволяющие формализовать основные технологические взаимосвязи станочной системы.

Построены математические модели связи между характеристиками номенклатуры обрабатываемых деталей и технологическими свойствами элементов АСС. На основе моделей обоснованы методологические принципы синтеза технологической структуры АСС.

Разработаны теоретические и методологические основы технологического проектирования АСС, позволяющие с позиций системного подхода построить функциональную структуру САПР АСС.

Исследование выполнялось в рамках федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009–2013 гг.

Библиографические ссылки

1. **Схиртладзе А.Г., Вороненко В.П., Борискин В.П.** Проектирование производственных систем в машиностроении. М.: Изд-во ТНТ, 2011. 425 с.

2. **Митрофанов В.Г., Утешев Г.В.** Исследование задачи автоматизации проектирования обрабатывающих систем // Технология машиностроения. 2010. № 3. С. 42–44.

УДК 658.527.011

А.А. Иванов, д-р техн. наук, проф.
(Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева)
ivanov_aa@nntu.nnov.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА СТАТИСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Рассмотрены примеры моделирования систем массового обслуживания с помощью метода статистических испытаний: пункта технического обслуживания транспортных роботов и других технологических устройств.

Ключевые слова: система массового обслуживания, время ожидания, время простоев, канал обслуживания.

Modeling examples of the mass service systems by means of the statistical tests method are considered: maintenance post of the transport robots and other technological devices.

Key words: mass service system, waiting time, idle time, service channel.

Метод статистических испытаний (МСИ) – численный метод решения задач систем массового обслуживания (СМО) с помощью моделирования случайных величин. К таким задачам относятся: определение времени ожидания $t_{ож}$ обслуживания технологического оборудования (ТО) и времени простоев $t_{пр}$ каналов обслуживания.

Для решения задачи используется модель, в основе которой лежит последовательность случайных чисел. Первый ряд случайных чисел применён для моделирования времени $t_{п}$ поступления ТО на обслуживание, а второй ряд – для моделирования времени обслуживания $t_{об}$ [1–4].

Рассмотрим первый пример моделирования СМО с помощью МСИ. Пусть на пункт технического обслуживания поступают транспортные роботы (ТР) в случайной последовательности и обслуживаются в порядке поступления. Известно, что интервалы времени между моментами поступления ТР на обслуживание в 40 % случаев составляют 20 мин, а в 60 % – 40 мин. Длительность обслуживания является случайной величиной, причём 20 мин требуется для обслуживания 80 % ТР и 60 мин – для остальных 20 % ТР [1].

Для решения задачи с помощью генератора случайных чисел (например ЭВМ) сформируем две последовательности чисел по 10 цифр в каждой. Пусть в первой последовательности первые 4 цифры (0, 1, 2, 3) характеризуют интервал поступления ТР на обслуживание 20 мин, а остальные 6 цифр – интервал 40 мин (6 цифр из 10 – это 60 %).

Во второй последовательности допустим, что 8 цифр (от 0 до 7) характеризуют длительность обслуживания 20 мин (это 80 % ТР), а цифры 8, 9 –

Таблица 1

Поступление ТР на обслуживание

Ряд случайных чисел	6	5	1	5	9	0	7	9	5	6
$t_п$, мин	40	40	20	40	40	20	40	40	40	40
Номера ТР	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Таблица 2

Длительность обслуживания ТР

Ряд случайных чисел	6	9	1	8	6	0	3	3	9	3
$t_{об}$, мин	20	60	20	60	20	20	20	20	60	20
Номера ТР	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

длительность 60 мин. Последовательности случайных чисел сведём в таблицы поступления ТР на обслуживание и длительность обслуживания.

Согласно табл. 1 и 2 составим график обслуживания десяти ТР, приняв за начало момент поступления на обслуживание первого ТР (см. рисунок). В нижней части диаграммы в масштабе отложим моменты поступления ТР и интервалы $t_п$, а в верхней – длительность $t_{об}$.

Из диаграммы находим:

время ожидания обслуживания ТР

$$t_{ож} = 20 + 20 + 40 + 20 + 20 + 20 =$$
$$= 140 \text{ мин } (2 \text{ ч } 20 \text{ мин});$$

время простоя пункта технического обслуживания

$$t_{пр} = 20 + 20 = 40 \text{ мин}.$$

По результатам моделирования принимается решение о коррекции числа каналов обслужива-

Временная диаграмма обслуживания десяти транспортных роботов, построенная методом статистических испытаний

Таблица 3

Результаты моделирования СМО с помощью МСИ

$t_п$	$p_{об}(\tau)$	τ	$t_{ок}$	$t_{ож}$
2	0,41	0,70	2,70	0
4	0,49	0,90	4,90	0
6	0,77	1,90	7,90	0
8	0,13	0,20	8,20	0
10	0,77	1,90	11,90	0
12	0,99	4,30	16,30	0
14	0,91	3,00	19,30	2,30
16	0,65	1,40	20,70	3,30
18	0,17	0,23	20,93	2,70
20	0,59	1,20	22,10	0,93

ния. В данном примере время ожидания обслуживания ТР велико, поэтому следует увеличить количество пунктов технического обслуживания. Для более точного определения $t_{ож}$ и $t_{пр}$ необходимо использовать больший ряд случайных чисел.

Во втором примере моделирования СМО с помощью МСИ выборка случайных чисел – это значения функции вероятностей $p_{об}(\tau) = 1 - e^{-\lambda\tau}$, описывающей экспоненциальный характер распределения времени обслуживания τ [1, 2]. Константа λ в функции $p_{об}(\tau)$ характеризует интенсивность потока заявок, поступающих в систему за время t.

Имитация процесса массового обслуживания может быть представлена таблицей, включающей: момент поступления заявки на обслуживание $t_п$; выборку случайных чисел $p_{об}(\tau)$; время обслуживания τ; момент окончания обслуживания $t_{ок}$; время ожидания обслуживания $t_{ож}$. В табл. 3 представлен регулярный поток заявок с периодом $t_п = 2$ мин, в котором каждому значению $t_п$ соответствует случайное число $p_{об}(\tau)$.

Время окончания обслуживания $t_{ок} = t_п + \tau$. Например, для первой строчки (см. табл. 3) имеем $t_{ок} = 2 + 0{,}7 = 2{,}7$. Для строчки с $t_п = 12$ время $t_{ок} = 12 + 4{,}3 = 16{,}3$. При $t_п = 14$ время ожидания обслуживания оказывается больше нуля. Время окончания обслуживания для $t_п = 14$ без учёта предыдущей заявки $t_{ок} = 14 + 3 = 17$. Однако это время с учётом $t_{ок} = 16{,}3$ предыдущей заявки оказывается больше $t_{ок} = 16{,}3 + 3 = 19{,}3$. Поэтому заявка с $t_п = 14$ будет простаивать в ожидании обслуживания: $t_{ож} = 19{,}3 - 17 = 2{,}3$ ед. времени.

Заключение. МСИ позволяет руководству производственного участка (или мастеру) моделировать технологическую СМО, не прибегая к сложным вычислениям вероятностей состояний системы, и оперативно получить данные о коррекции количества каналов обслуживания (пунктов технического обслуживания).

Библиографические ссылки

1. **Иванов А.А.** Автоматизация технологических процессов и производств: учеб. пособие. М.: ФОРУМ, 2011. 224 с.

2. **Имитационное** моделирование в оперативном управлении производством / Н.А. Саломатин и др.. М.: Машиностроение, 1984. 208 с.

3. **Гмурман В.Е.** Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. М.: Высш. шк., 1975. 333 с.

4. **Зельдович Я.Б., Мышкис А.Д.** Элементы прикладной математики. М.: Наука, 1965. 616 с.

Вниманию авторов!

Требования к оформлению статей, присылаемых для публикации, можно найти на сайте **www.mashin.ru**

УДК 681.3

О.В. Горячев, д-р техн. наук, проф., **В.В. Борисов, А.А. Панарин**
(Тульский государственный университет)
lexxiyn@rambler.ru

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ С ИНЕРЦИАЛЬНЫМИ ДАТЧИКАМИ

Рассмотрено влияние величины телеметрической задержки инерциальных датчиков на характеристики оптико-электронной системы. Разработано и реализовано специальное устройство (экстраполятор состояния), позволяющее скомпенсировать действие телеметрической задержки.

Ключевые слова: телеметрическая задержка, оптико-электронная система, экстраполятор состояния.

The influence of the inertial sensors telemeter delay on the optical-electronic system behavior is considered. Special facility (date-hold device), permitting to compensate telemeter delay, is developed and implemented.

Key words: telemeter delay, optical-electronic system, date-hold device.

В современных оптико-электронных следящих системах (ОЭС) широко применяется электропривод с цифровым управлением. Важнейшей задачей, решаемой при проектировании такого привода, является повышение точности отработки входных воздействий, которая, в свою очередь, существенно зависит от параметров информационно-измерительных устройств (частоты дискретизации, количества разрядов, времени преобразования, телеметрической задержки). В приводах ОЭС в качестве таких устройств используются блоки инерциальных чувствительных элементов (БИЧЭ), включающие гироскопические датчики угловых скоростей и угловых перемещений. Ниже рассмотрено влияние величины телеметрической задержки на характеристики системы стабилизации ОЭС и предложена методика компенсации с помощью специального алгоритма. Структурная схема привода ОЭС с ПИД- алгоритмом управления и БИЧЭ в качестве датчика обратной связи приведена на рис. 1 [1] .

В состав информационного канала БИЧЭ входят аналого-цифровой преобразователь и специальные фильтры (антиалиасинговый фильтр Баттерворта и фильтр с конечной импульсной характеристикой (КИХ–фильтр)) [2]. Поэтому блоки инерциальных чувствительных элементов, кроме своих основных функций (измерение фазовых координат системы), фильтруют и преобразовывают сигналы из аналоговой формы в цифровую, что вносит в систему некоторую постоянную задержку. Более того, на сигнал БИЧЭ влияют шумовые помехи, которые необходимо учитывать при формировании модели. Учитывая данные факторы, структурная схема БИЧЭ принимает вид, приведённый на рис. 2.

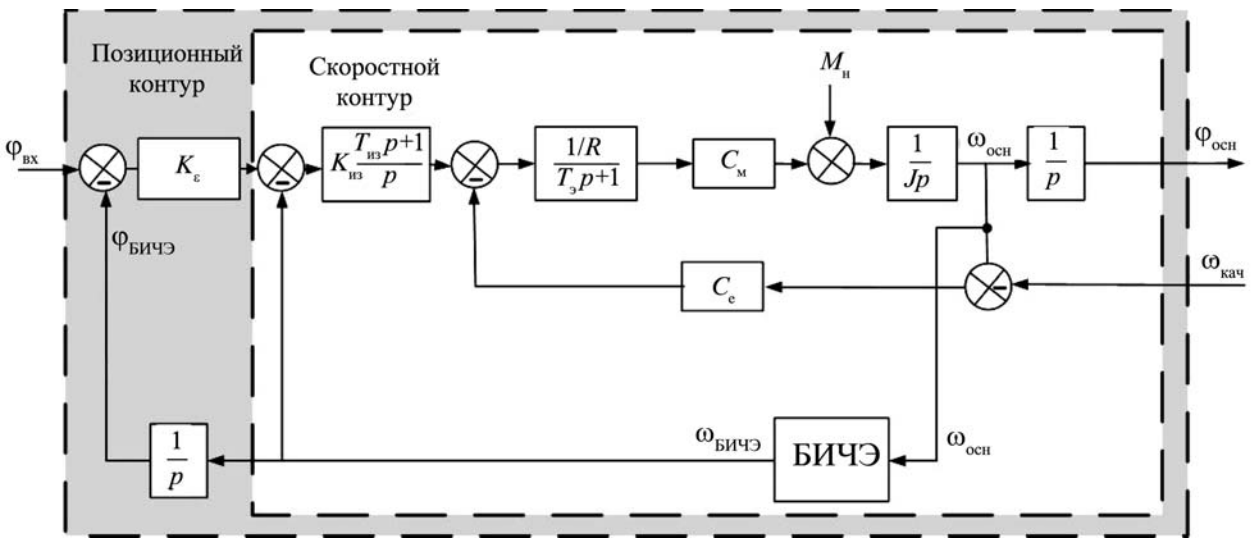


Рис. 1. Схема следящего привода ОЭС с ПИД-алгоритмом управления и БИЧЭ в качестве датчика обратной связи

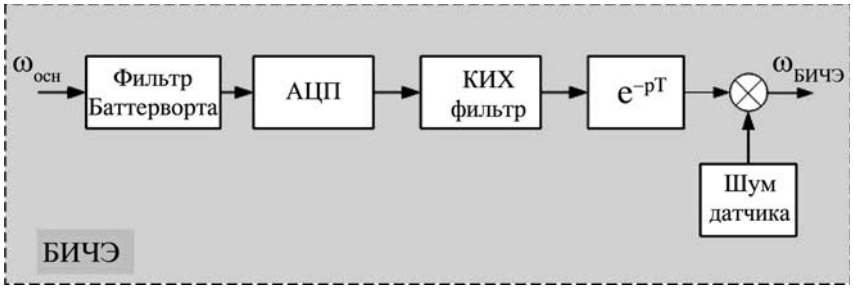


Рис. 2. Схема блока инерциальных чувствительных элементов с учётом телеметрической задержки

Анализ влияния величины телеметрической задержки на характеристики привода наведения и стабилизации позволил получить зависимости амплитуд и частот выходного сигнала от её значения при различных способах дискретизации (рис. 3).

На рис. 3 графики зависимостей амплитуд и частот выходного сигнала от величины телеметрической задержки представлены в относительном масштабе. Относительные величины рассчитывались по формулам:

$$A_{\text{отн}} = \frac{A}{A_{\max}};\ \ \omega_{\text{отн}} = \frac{\omega}{\omega_{\max}}, \qquad (1)$$

где $A_{\max}$, $\omega_{\max}$ – максимальные значения амплитуды и частоты выходного сигнала (соответственно равны 1,15 и 1697 рад/с).

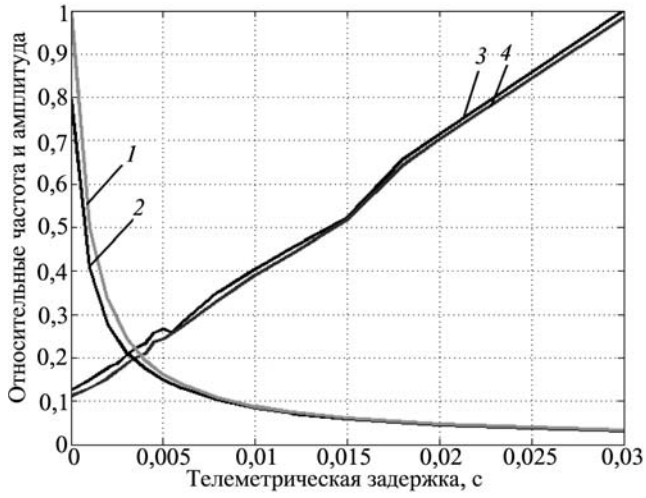


Рис. 3. Графики зависимостей амплитуд и частот выходного сигнала от телеметрической задержки при различных способах дискретизации:

1 – относительная частота выходного сигнала в случае применения экстраполятора первого порядка; *2* – относительная частота выходного сигнала в случае применения экстраполятора нулевого порядка; *3* – относительная амплитуда выходного сигнала в случае применения экстраполятора нулевого порядка; *4* – относительная амплитуда выходного сигнала в случае применения экстраполятора первого порядка

Из зависимостей видно, что телеметрическая задержка существенно влияет на характеристики привода: с её ростом возрастает амплитуда выходного сигнала и уменьшается его частота, причём, как для экстраполятора нулевого порядка, так и для первого порядка.

Для компенсации данного явления разработан блок экстраполятора состояния, принцип работы которого представлен на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что информация о реальной угловой скорости платформы поступает с задержкой в 20 мс. Информацию о скорости системы в момент времени t_0 (т. *A* на кривой *1*) можно проанализировать только в момент времени t_1 (т. *C* на кривой 2), что может сильно отличаться от реального значения скорости в этот момент времени (т. *B*). В связи с этим необходимо определить область возможных значений т. *B* (кривая *3*). Данная область – область расчётной скорости с учётом погрешностей, обусловленных величинами момента нагрузки и изменчивостью параметров исполнительного двигателя.

Поэтому основной задачей, решаемой экстраполятором состояния, является определение значения скорости в т. *B* по известному значению скорости в т. *A*. Для решения данной задачи можно использовать сохранённый в памяти код управления, формируемый с известным тактом квантования. В этом случае угловую скорость можно рассчитать на основе структурной схемы, приведённой на рис. 5.

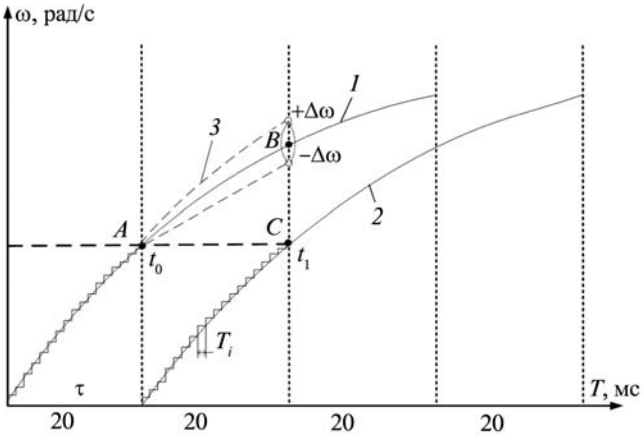


Рис. 4. График, поясняющий принцип работы экстраполятора состояния

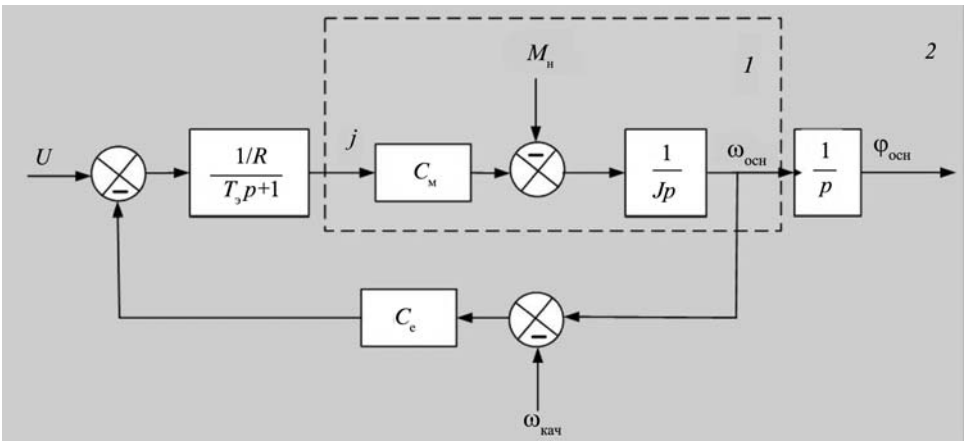


Рис. 5. Схема силовой системы привода с учётом качки основания (*1*) и схема, поясняющая принцип расчёта относительной угловой скорости двигателя на основе информации о токе с учётом качки основания (*2*)

Однако имеется ряд недостатков, наиболее важным из которых является качка основания. Из рис. 5 видно, что противо-ЭДС исполнительного двигателя определяется не абсолютной скоростью, а относительной. Поэтому угловую скорость нельзя непосредственно вычислить на основе анализа управляющих сигналов *U*.

В этом случае задачу можно решить, если использовать дополнительный датчик – датчик тока исполнительного двигателя. В этом случае, угловую скорость можно рассчитать на основе информации о токе в соответствии со схемой, приведённой на рис. 5 под цифрой *2*. При расчёте угловой скорости предполагается, что величины моментов сопротивления и инерции являются постоянными. Принимая во внимание данное допущение, информация об угловой скорости платформы может быть идентифицирована на основе анализа значений тока якоря исполнительного двигателя на интервале телеметрической задержки $[t_0; t_1]$:

$$\hat{\omega}_{\text{В}} = \omega_{\text{А}} + \frac{1}{J}\int_{t_0}^{t_1} (C_{\text{М}}\, i(t) - M_{\text{Н}})\, dt\,, \qquad (2)$$

где $\hat{\omega}_{\text{В}}$ – оцениваемое значение скорости в момент времени t_1; $\omega_{\text{А}}$ – реальное значение скорости в момент времени t_0; $C_{\text{М}}$ – коэффициент передачи двигателя по моменту; J – суммарный момент инерции; $M_{\text{Н}}$ – момент нагрузки.

Зависимости (2) рассчитываются вычислительным устройством с помощью метода прямоугольников [3]:

$$S = \sum_{j=1}^{k} (C_{\text{М}}\, i_j - M_{\text{Н}})\,,$$
$$\omega_{\text{В}} = \omega_{\text{А}} + \frac{S}{J}\,, \qquad (3)$$

где j – номер текущего элемента массива; i_j – значение тока, соответствующее j-му элементу массива.

Эффективность применения указанного алгоритма напрямую зависит от количества дискретных значений подынтегральной функции. В связи с этим необходимо проводить дискретизацию тока с высокой частотой. Для хранения полученных дискретных значений можно использовать оперативную память (RAM), размер которой определяется по формуле:

$$N_{RAM} = \frac{T_{\text{тел}}}{T_I}\, n\,, \qquad (4)$$

где $T_{\text{тел}}$ – телеметрическая задержка; T_I – период дискретизации тока (в данной работе 10^{-4} с); n – количество байт, отводимое для хранения одного значения.

Схема формирования сигнала обратной связи приведена на рис. 6.

При разработке программного обеспечения экстраполятора состояния необходимо учитывать, что данный блок в режиме реального времени должен выполнять ряд важных функций (считывание сигнала с БИЧЭ, датчика тока, расчёт зависимостей и т. д.), которые целесообразно выполнять с соответствующими прерываниями. Алгоритм работы программного обеспечения экстраполятора состояния приведён на рис. 7.

Для реализации данного алгоритма на 32-разрядном микроконтроллере требуется примерно 10^4

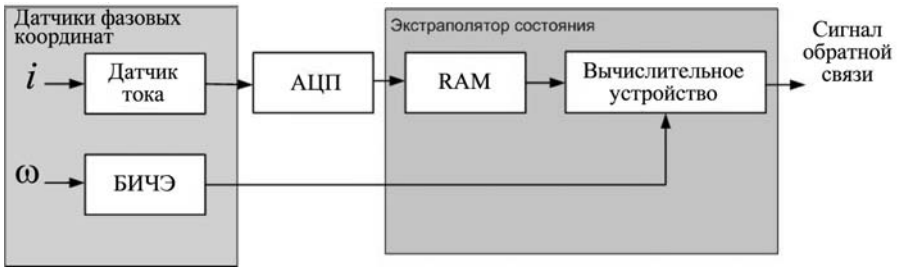


Рис. 6. Схема формирования сигнала обратной связи с применением экстраполятора состояния

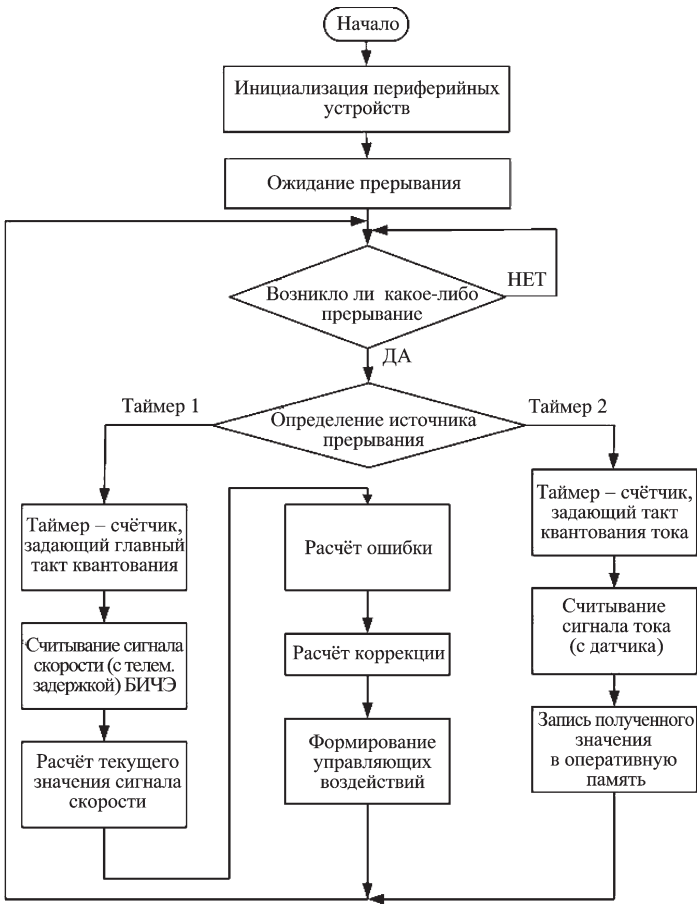


Рис. 7. Алгоритм работы программного обеспечения экстраполятора состояния

тактов. Учитывая данное обстоятельство, в соответствии с выбранными тактами квантования, можно оценить требования к производительности микроконтроллера:

$$N_{\text{ор}} > \frac{10^4}{T_i} = \frac{10^4}{10^{-4}} = 100 \text{ МГц},$$

где $N_{\text{ор}}$ – тактовая частота микроконтроллера (количество операций, выполняемых за 1 с); T_i – частота дискретизации тока.

Схема следящей системы при включении экстраполятора состояния в контур управления приведена на рис. 8

Для оценки влияния экстраполятора состояния на выходные характеристики привода получены зависимости, приведённые на рис. 9.

Графики, представленные на рис. 9, показывают, что система с экстраполятором состояния в контуре управления имеет существенно меньшую ошибку отработки входного сигнала при фиксированной величине телеметрической задержки. Но данная величина может изменяться в процессе работы системы. Однако из анализа графиков *3* и *4* (см. рис. 9) можно сделать вывод, что отличие расчётной телеметрической задержки от реальной в пределах ± 25 % не влечёт существенного изменения амплитуды выходного сигнала.

Таким образом, предложена и реализована методика синтеза специального блока – экстраполятора состояния, компенсирующего телеметрическую задержку инерциальных датчиков. Включение данного устройства в контур управления позволило уменьшить амплитуду выходного сиг-

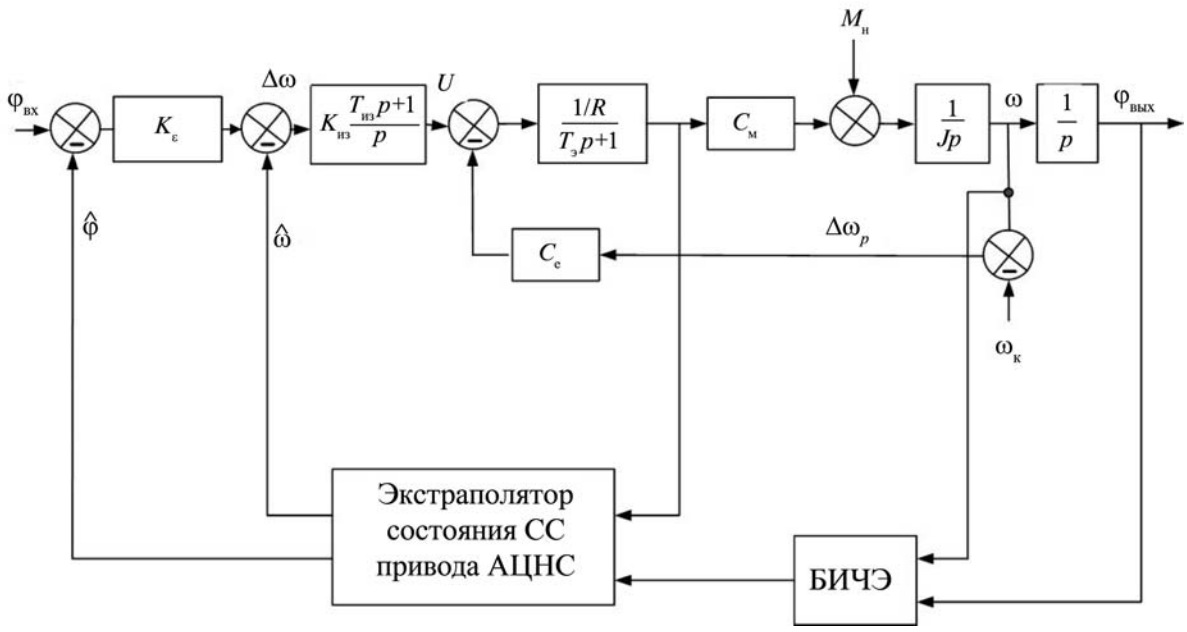


Рис 8. Схема привода с экстраполятором состояния

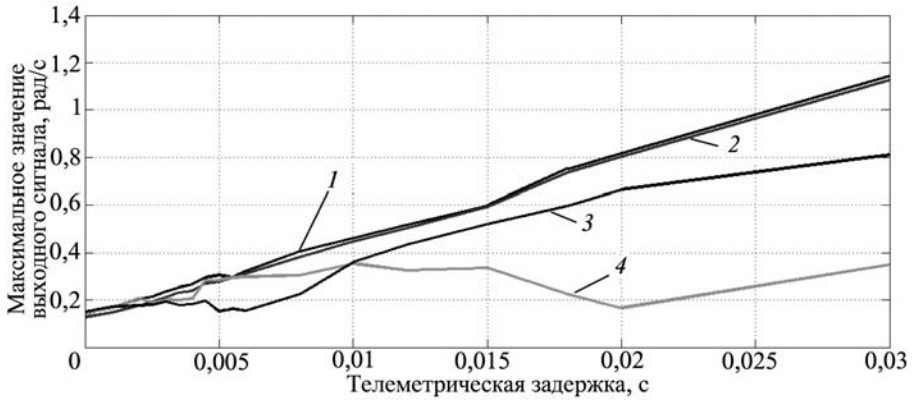


Рис. 9. Графики зависимости максимальной амплитуды выходного сигнала от телеметрической задержки при использовании различных устройств:

1 – экстраполятор нулевого порядка; *2* – экстраполятор первого порядка; *3* – экстраполятор состояния, рассчитанный на $T_{тел}$ = 5 мс; *4* – экстраполятор состояния, рассчитанный на $T_{тел}$ = 20 мс

нала и осуществлять синтез следящей системы классическими методами теории управления.

Библиографические ссылки

1. **Основы** расчёта и проектирования мехатронных модулей систем наведения и стабилизации / О.В. Горячев, В.И. Жемеров, А.П. Панков, В.С. Фимушкин. Тула: изд-во ТулГУ, 2010. 233 с.

2. **Техническое** описание микроэлектромеханической системы инерциального измерительного блока АИСТ-350. Системные требованиия: Adobe Acrobat Reader. URL: http://isense.ru/u/imu_aist_350_ds_rus_v8_1.pdf (дата обращения: 19.09.2013).

3. **Вержбицкий В.М.** Численные методы (математический анализ и обыкновенные дифференциальные уравнения): учеб. пособие для вуз. 2-е изд., испр. М.: ООО "ИД "ОНИКС 21 век", 2005. 400 с.

УДК 004.4, 681.5

А.Ф. Антипин, канд. техн. наук
(Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета)
andrejantipin@ya.ru

ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ С ПЕРЕМЕННЫМИ В ВИДЕ СОВОКУПНОСТИ АРГУМЕНТОВ ДВУЗНАЧНОЙ ЛОГИКИ

Рассмотрены особенности программной реализации функциональных блоков многомерных логических регуляторов с переменными в виде совокупности аргументов двузначной логики в среде разработки TRACE MODE 6 и SIMATIC STEP 7.

Ключевые слова: нечёткие регуляторы, многомерный логический регулятор, алгоритм фаззификации, SIMATIC STEP 7, IEC 61131-3.

The software implementation features of the multidimensional logic regulators functional units with variables as a set of binary logic arguments in a development environment TRACE MODE 6 and SIMATIC STEP 7 are considered.

Key words: fuzzy regulators, a multidimensional logic regulator, fuzzification algorithm, SIMATIC STEP 7, IEC 61131-3.

Введение. Принцип работы нечётких и дискретно-логических регуляторов с чёткими термами лингвистических переменных [1–3] позволяет использовать их для решения задач регулирования, где в настоящее время невозможно или затруднено использование ПИ- и ПИД-регуляторов, а быстродействия существующих аппаратных и программных решений в ряде случаев бывает недоста-

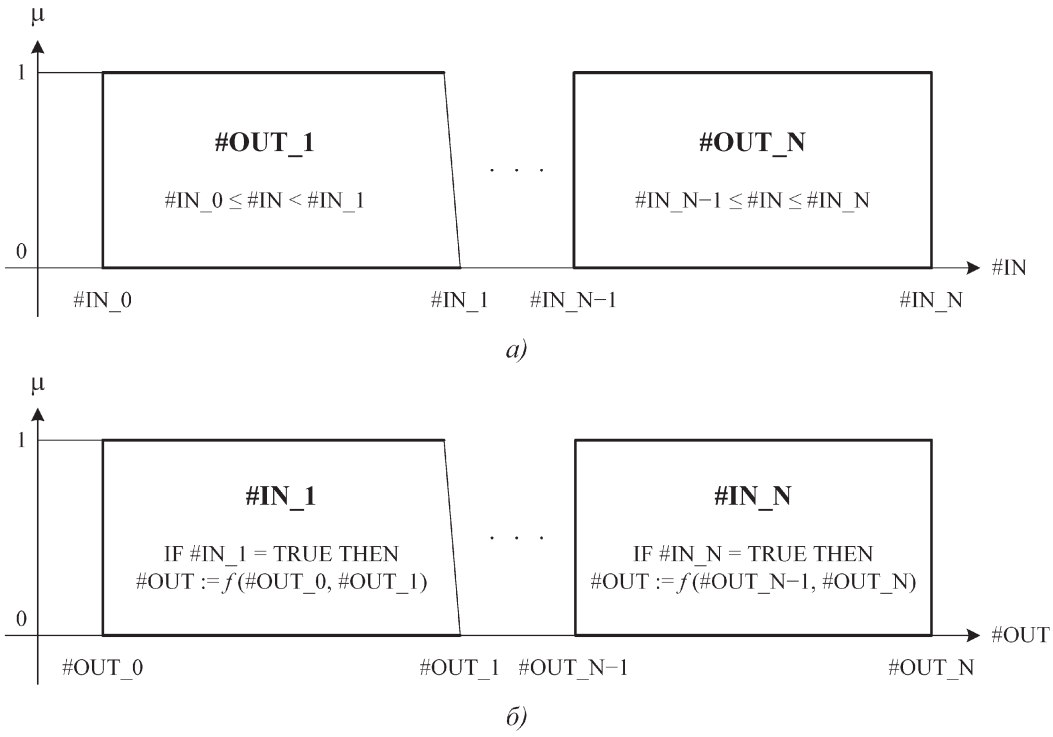


Рис. 1. Интерпретация непрерывной величины в виде совокупности термов с прямым характером и порядком их распределения: *а* – фаззификатор; *б* – дефаззификатор

точно. Уникальность ситуации, в которой управление аналоговыми и дискретными сигналами сведено к логическому управлению на базе правил Булевой логики, позволяет увеличить быстродействие регуляторов, т. е. уменьшить время регулирования и установления, перерегулирование и т. д. [4].

Многомерные логические регуляторы (МЛР) с переменными в виде совокупности аргументов двузначной логики являются альтернативной ступенью развития нечётких и дискретно-логических регуляторов в плане повышения быстродействия системы автоматического регулирования и компенсации взаимного влияния контуров регулирования [5, 6]. В настоящее время практическое применение МЛР сдерживается, что связано с отсутствием надёжных алгоритмов их работы и, как следствие, испытаний в различных областях науки и техники.

Особенности реализации фаззификаторов и дефаззификаторов МЛР. Рассмотрим особенности программной реализации функциональных блоков (фаззификаторов и дефаззификаторов) МЛР на языках программирования промышленных и ПК-основанных контроллеров, описанных в международном стандарте IEC 61131-3.

На рис. 1, *а* и *б* изображена числовая ось переменных #IN, #OUT с расположенными на ней термами #OUT_1 – #OUT_N, #IN_1 – #IN_N фаззификатора и дефаззификатора МЛР.

Для реализации алгоритма фаззификации МЛР на языках программирования международного стандарта IEC 61131-3 необходимо использовать элементы сравнения (компараторы) для установления принадлежности входной переменной МЛР тому или иному интервалу значений. При этом необязательно устанавливать степень принадлежности переменной, так как данное значение будет всегда постоянно и равно единице, что следует из концепции построения МЛР, а также из рис. 1.

Для реализации алгоритма дефаззификации МЛР на языках программирования международного стандарта IEC 61131-3 необходимо выполнить проверку условия "IF #IN_N = TRUE", при истинном значении которого выходной переменной #OUT МЛР будет присвоено значение функции f (#OUT_N–1, #OUT_N).

Язык программирования FBD (Function Block Diagram – диаграмма функциональных блоков) представляет собой графический язык программирования схем, состоящих из совокупности функциональных блоков, связанных между собой через входы и выходы.

Пример реализации алгоритма фаззификации непрерывной физической величины IN в числовом диапазоне значений [IN_0; IN_N] на языке программирования FBD в среде разработки TRACE MODE 6 представлен на рис. 2.

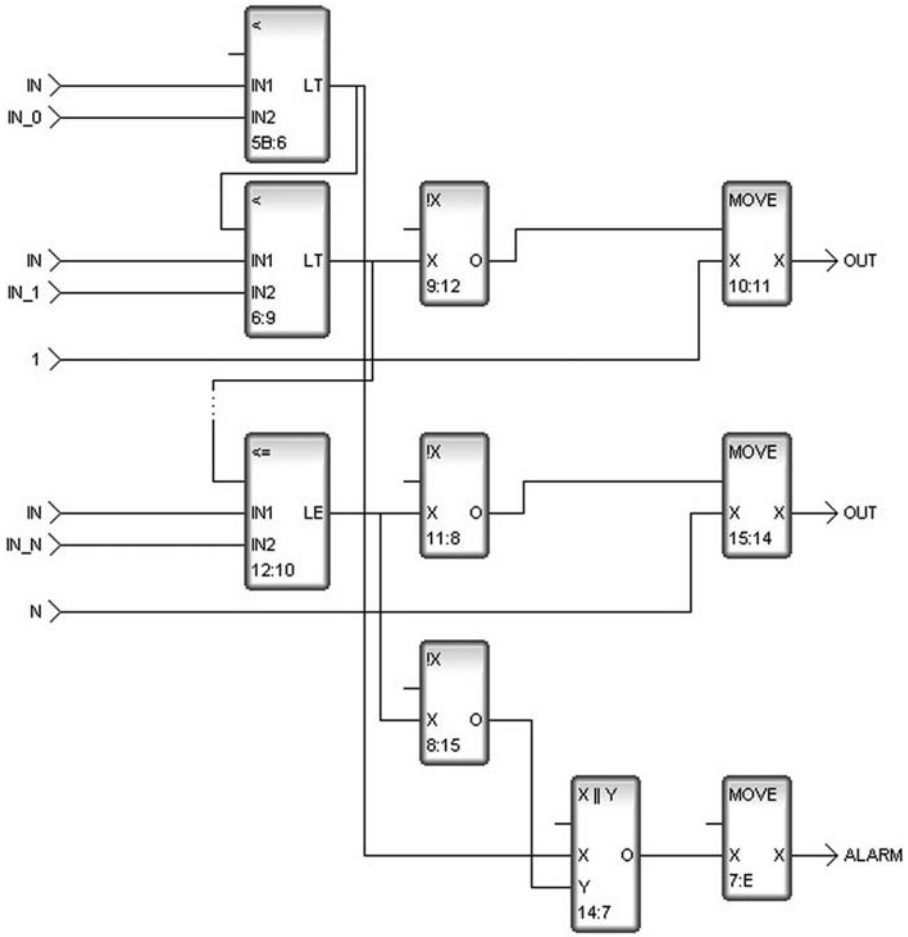


Рис. 2. Пример реализации алгоритма фаззификации многомерного логического регулятора на языке программирования FBD в среде разработки TRACE MODE 6

Как видно из рис. 2, FBD-программа – это цепочка последовательно выполняемых функциональных блоков, представляющих собой графическое отображение вызова встроенных функций, обозначение которых выводится в верхней части блока ("<" – сравнение; "!X" – логическое "НЕ"; "X‖Y" – логическое "ИЛИ"; "MOVE" – пересылка значения). Из рис. 2 следует, что с увеличением числа термов физической величины IN в структуре фаззификатора происходит пропорциональное увеличение числа стандартных функциональных блоков (сравнения, инверсии и т.п.). Подобная структура программы затрудняет дальнейшее корректирование фаззификатора МЛР при увеличении максимального числа термов и повышает её громоздкость.

Язык программирования LAD (LAdder Diagram – ступенчатая диаграмма) – это графический язык программирования релейно-контактных схем, в котором логические выражения описываются в виде реле, и в контексте реализации алгоритмов фаззификации и дефаззификации практически идентичен языку программирования FBD.

Пример реализации алгоритма дефаззификации непрерывной величины OUT в числовом диапазоне значений [OUT_0; OUT_N] на языке программирования LAD в инструментальной среде разработки SIMATIC STEP 7 в процессе имитации и мониторинга переменных МЛР показан на рис. 3.

В качестве функции дефаззификации выбрана функция определения среднего арифметического двух аргументов (функциональный блок "DIV_R"). В блоке "ADD_R" осуществляется суммирование крайних значений интервалов термов.

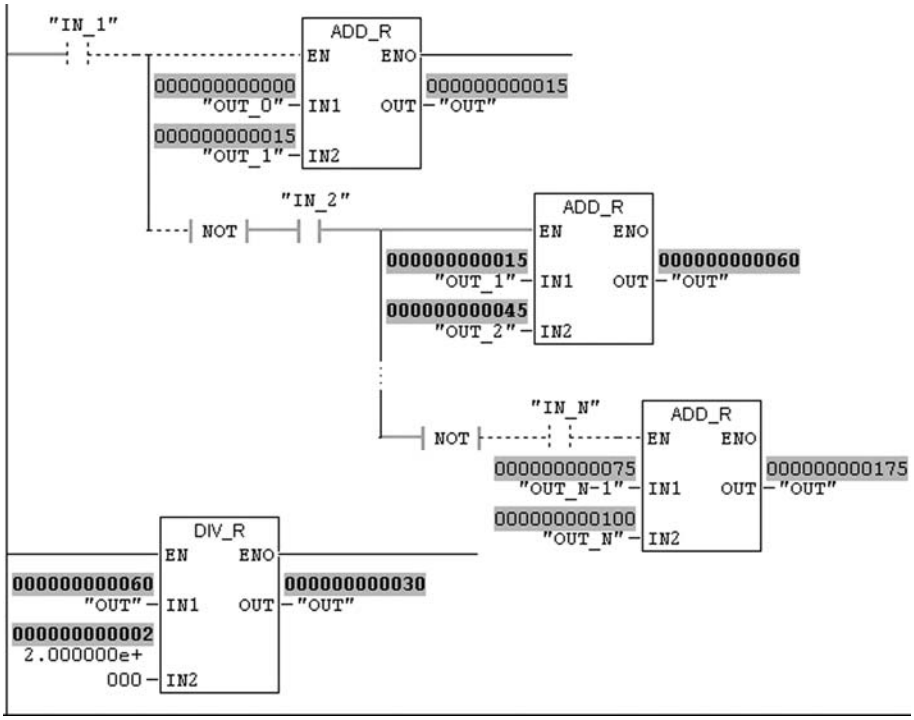


Рис. 3. Пример реализации алгоритма дефаззификации на языке программирования LAD в среде разработки SIMATIC STEP 7

```
SET
SAVE            A7d0: CLR          A7d4: L #IN     A7d6: CLR
=   L   0.1     =   #ALARM         L   #IN_N-1     =   #OUT_01
L   #IN         L   #IN            <=R             =   #OUT_02
L   #IN_0       L   #IN_1          JCN A7d6        …
<R              <=R                CLR             …
L   #IN         JCN A7d2           =   #OUT_1      =   #OUT_N-1
L   #IN_N       SET                =   #OUT_2      SET
=   L   0.2     =   #OUT_1    …    …               =   #OUT_N
>R              CLR                …
O   L   0.2     =   #OUT_2         =   #OUT_N-2
JCN A7d0        …                  =   #OUT_N      A7d1: CLR
SET             …                  SET             A   L   0.1
=   #ALARM      =   #OUT_N         =   #OUT_N-1    SAVE
JU  A7d1        JU  A7d1           JU  A7d1        BE
```

Рис. 4. Пример реализации алгоритма фаззификации многомерного логического регулятора на языке программирования STL в среде разработки SIMATIC STEP 7

Язык программирования IL (Instruction List – список инструкций) – текстовый язык программирования мнемонических инструкций, внешне похожий на язык Assembler. Язык IL предоставляет больший набор инструкций, чем графические языки программирования. На рис. 4 приведён пример реализации алгоритма фаззификации непрерывной величины IN в диапазоне значений [IN_0; IN_N] на языке IL в среде разработки SIMATIC STEP 7.

Модификация языка программирования IL в среде разработки STEP 7 имеет наименование STL (STatement List – лист операторов), а в среде TRACE MODE 6 – Техно IL.

Текстовый язык программирования высокого уровня ST (Structured Text – структурированный текст) (Техно ST – в TRACE MODE, SCL (Structured Control Language – язык структурированного управления) – в STEP 7) объединяет элементы языка Pascal и элементы, которые являются типичными для программируемого логического контроллера, такие как "вход (input)" и "выход (output)". Кроме того, в нём поддерживаются массивы (в том числе и многомерные), присутствуют конструкции IF-THEN-ELSE, CASE-OF и др.

Пример реализации алгоритма фаззификации непрерывной величины IN на языке SCL в инструментальной среде разработки SIMATIC STEP 7 представлен на рис. 5.

Программы, написанные на текстовых языках IL (Техно IL или STL), ST (Техно ST или SCL), сложно транслировать на графические языки (FBD, LAD), определённые стандартом IEC 61131-3, однако программы, написанные на графических языках, свободно транслируются на текстовые языки программирования. Это связано с расширенным набором инструкций для текстовых языков, а также с их универсальностью.

Базовым языком программирования TRACE MODE 6 является модификация языка программирования ST – "Техно ST". Программы, разработанные на языках программирования "Техно LD" и "Техно FBD" (модификации языков программирования международного стандарта IEC 61131-3 – LAD и FBD), перед компиляцией полностью транслируются в "Техно ST". "Техно IL" – программы перед компиляцией частично транслируются в ST, а частично – в язык ассемблера.

Основным языком программирования SIMATIC STEP 7, наоборот, является модификация языка IL – STL. Программы, разработанные на всех остальных языках программирования сис-

```
FUNCTION_BLOCK FB15

VAR_INPUT
    IN:     REAL;
    IN_0:   REAL;
    IN_1:   REAL;
    IN_2:   REAL;
    ...
    IN_N-1: REAL;
    IN_N:   REAL;
END_VAR

VAR_OUTPUT
    OUT:    INT;
    ALARM:  BOOL;
END_VAR

BEGIN

IF IN < IN_0 OR IN > IN_N
    THEN ALARM := TRUE;
    ELSE ALARM := FALSE;
         IF IN < IN_1
             THEN OUT := 1;
             ELSE IF IN < IN_2
                      THEN OUT := 2;
                      ELSE ...
                               ELSE IF IN < IN_N-1
                                        THEN OUT := N-1;
                                        ELSE OUT := N;
                                    END_IF;
                           ...
                  END_IF;
        END_IF;
END_IF;

END_FUNCTION_BLOCK
```

Рис. 5. Пример реализации алгоритма фаззификации многомерного логического регулятора на языке программирования SCL в среде разработки SIMATIC STEP 7

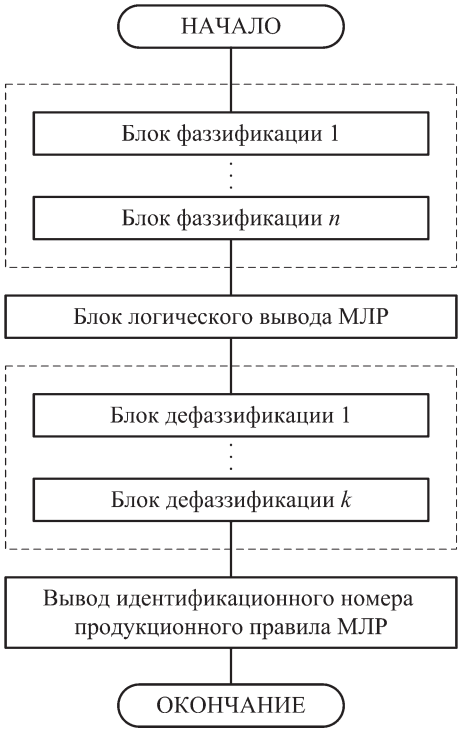


Рис. 6. Упрощённая схема алгоритма работы многомерного логического регулятора с *n* блоками фаззификации, блоком логического вывода и *k* блоками дефаззификации

темы, полностью "конвертируемы" на данный язык.

Таким образом, для полноценной реализации алгоритма работы МЛР наиболее оптимальным будет выбор текстовых языков программирования стандарта IEC 61131-3 – ST или IL.

Особенности программной реализации МЛР с минимизированным временем отклика. МЛР, как и нечёткий регулятор, состоит из следующих основных элементов: системы фаззификаторов и дефаззификаторов непрерывных величин и блока логического вывода (БЛВ). Упрощённая схема алгоритма работы МЛР приведена на рис. 6.

Система фаззификаторов МЛР включает всю совокупность блоков фаззификации МЛР, каждый из которых имеет два основных параметра: количество термов непрерывной величины, которая подлежит фаззификации; порядок и характер распределения термов непрерывной величины (прямой или обратный в зависимости от типа идентификации совокупности термов).

Блоки фаззификации МЛР внутри системы фаззификаторов не связаны между собой, что позволяет создавать новые и удалять имеющиеся блоки, изменять основные параметры и значения интервалов термов. Таким образом, реализацию алгоритма работы системы фаззификаторов МЛР можно условно разбить на реализацию совокупности алгоритмов отдельных составляющих системы (блоков фаззификации).

Пример реализации алгоритма работы системы фаззификаторов непрерывных величин IN_1 – IN_N МЛР на языке программирования SCL в инструментальной среде разработки SIMATIC STEP 7 приведён на рис. 7, где операции присваивания F_OUT[1] : = 0 – F_OUT[N] : = 0 – предназначены для отработки "нулевого" (аварийного) продукционного правила в БЛВ; K(IN_1) – K(IN_N) – количество термов переменных IN_1 – IN_N МЛР.

Система дефаззификаторов МЛР включает совокупность блоков дефаззификации МЛР по аналогии с блоками фаззификации. Таким образом,

```
VAR_INPUT
    IN_1: REAL;
    ...
    IN_N: REAL;
END_VAR

VAR_OUTPUT
    F_OUT: ARRAY[1..N] OF INT;
END_VAR

VAR
    IN_M1: ARRAY[0..K(IN_1)] OF REAL := ...;
    ...
    IN_MN: ARRAY[0..K(IN_N)] OF REAL := ...;
END_VAR

//ФАЗЗИФИКАТОР 1

IF IN_1 < IN_M1[0] OR IN_1 > IN_M1[K(IN_1)]
    THEN F_OUT[1] := 0;
    ELSE IF IN_1 < IN_M1[1]
            THEN F_OUT[1] := 1;
            ELSE ...
                    ELSE F_OUT[1] := K(IN_1);
                END_IF;
            ...
        END_IF;
END_IF;
...
//ФАЗЗИФИКАТОР N

IF IN_N < IN_MN[0] OR IN_N > IN_MN[K(IN_N)]
    THEN F_OUT[N] := 0;
    ELSE IF IN_N < IN_MN[1]
            THEN F_OUT[N] := 1;
            ELSE ...
                    ELSE F_OUT[N] := K(IN_N);
                END_IF;
            ...
        END_IF;
END_IF;
```

Рис. 7. Пример реализации алгоритма работы системы фаззификаторов многомерного логического регулятора на языке программирования SCL в инструментальной среде разработки SIMATIC STEP 7

```
VAR_INPUT
    NUM: INT;
    OUT_R1: ARRAY [0..R-1] OF BYTE;
    ...
    OUT_RM: ARRAY [0..R-1] OF BYTE;
END_VAR

VAR_OUTPUT
    OUT_1: REAL;
    ...
    OUT_M: REAL;
END_VAR

VAR
    OUT_M1: ARRAY [0..K(OUT_1)] OF REAL;
    ...
    OUT_MM: ARRAY [0..K(OUT_M)] OF REAL;
END_VAR

//ДЕФАЗЗИФИКАТОР 1

IF BYTE_TO_INT(OUT_R1[NUM]) > 0
    THEN OUT_1 := (OUT_M1[BYTE_TO_INT(OUT_R1[NUM]) - 1]
                + OUT_M1[BYTE_TO_INT(OUT_R1[NUM])]) / 2;
END_IF;

...

//ДЕФАЗЗИФИКАТОР M

IF BYTE_TO_INT(OUT_RM[NUM]) > 0
    THEN OUT_M := (OUT_MM[BYTE_TO_INT(OUT_RM[NUM]) - 1]
                + OUT_MM[BYTE_TO_INT(OUT_RM[NUM])]) / 2;
END_IF;
```

Рис. 8. Пример реализации алгоритма работы системы дефаззификаторов многомерного логического регулятора на языке программирования SCL в инструментальной среде разработки SIMATIC STEP 7

реализацию алгоритма работы системы дефаззификаторов МЛР также можно условно разбить на реализацию совокупности алгоритмов отдельных составляющих системы, т. е. блоков дефаззификации. Пример реализации алгоритма работы системы дефаззификаторов непрерывных величин OUT_1 –OUT_M МЛР на языке программирования SCL в инструментальной среде разработки SIMATIC STEP 7 приведён на рис. 8, где OUT_R1 – OUT_RM – массивы 8-битовых чисел типа BYTE, которые составляют систему управляющих воздействий МЛР и содержат порядковые номера термов выходных величин OUT_1 – OUT_M для каждой комбинации значений переменных МЛР; OUT_M 1 – OUT_MM – массивы 32-битовых чисел с плавающей точкой типа REAL, предназначенные для хранения значений интервалов термов дефаззификаторов; K(OUT_1) – K(OUT_M) – количество термов переменных OUT _1 – OUT _M МЛР. Остальные переменные будут рассмотрены далее при описании БЛВ МЛР.

Выходные переменные дефаззификаторов OUT_1 – OUT_M представлены в виде совокупности 32-битовых чисел с плавающей точкой, соответствующих типу REAL. В качестве функции для определения их чётких значений можно использовать функцию нахождения среднего арифметического двух аргументов, которые обозначают диапазон значений терма. Для выходных непрерывных величин, не входящих в контур обратной связи МЛР, не обязательно использование какой-либо функции дефаззификации. Достаточно сопоставить термы непрерывных величин конкретным числовым значениям.

БЛВ МЛР занимает промежуточное звено между системой фаззификаторов и системой дефаззификаторов. Однако именно в этом блоке формируется значение управляющего воздействия на объект регулирования многомерной системы.

БЛВ МЛР функционально можно разделить на систему управляющих воздействий (консеквентов продукционных правил) и механизм (подпрограмму) формирования идентификационного номера продукционного правила, антецедент которого в момент времени t равен логической единице.

Максимальное число продукционных правил R МЛР с n входными и k выходными параметрами X и Z рассчитывается согласно выражению

$$R = R_X R_Z + 1.$$

Максимальный номер продукционного правила МЛР в зависимости от максимального числа входных параметров может значительно превышать значение переменной R.

В связи с этим очевидно, что при организации таких структур данных, как массивы, требуется, чтобы максимальный номер продукционного правила МЛР соответствовал максимальному числу продукционных правил, т. е. значению переменной R. Для этого необходимо произвести соответствующее преобразование идентификационного номера продукционного правила.

Минимизированный идентификационный номер (ID-номер) продукционного правила N_m МЛР рассчитывается согласно выражению

$$N_m = (K_t(P_1)-1)\,K(P_2)\ldots K(P_N) + \ldots$$
$$\ldots + (K_t(P_{N-1})-1)\,K(P_N) + K_t(P_N),$$

где вектор P описывает совокупность n входных и k выходных переменных X и Z МЛР; $K_t(P_N)$ – порядковый номер терма переменной P_N МЛР, значение которого в момент времени t равно логической единице; $K(P_N)$ – количество термов переменной P_N МЛР.

Максимальный минимизированный ID-номер продукционного правила $N_m^{\max}$ МЛР рассчитывается согласно выражению

$$N_m^{\max} = R - 1.$$

Рассмотрим следующий пример МЛР, у которого максимальный номер продукционного правила равен 4254; номер продукционного правила, антецедент которого в текущий момент времени t соответствует логической единице, равен 2213:

$$N_m = (2-1)\cdot 2\cdot 5\cdot 4 + (2-1)\cdot 5\cdot 4 + (1-1)\cdot 4 + 3 = 63;$$

$$N_m^{\max} = 4\cdot 2\cdot 5\cdot 4 + 1 - 1 = 160.$$

В рассматриваемом примере для выходной переменной МЛР требуется организовать массив 8-битовых чисел типа BYTE с диапазоном от 0 до 160. Размер массива, составляющий 161 байт, есть постоянное число, равное количеству продукционных правил R МЛР.

Максимальный размер системы правил S_{RD} МЛР с n входными и k выходными параметрами рассчитывается согласно выражению

$$S_{RD} = kR.$$

Пример реализации упрощённого алгоритма работы БЛВ МЛР в формате языка программирования SCL в инструментальной среде разработки SIMATIC STEP 7 представлен на рис. 9.

```
VAR_INPUT
   F_OUT: ARRAY [1..N] OF INT;
END_VAR

VAR_OUTPUT
   NUM: INT;
   ALARM: BOOL;
END_VAR

//механизм формирования идентификационного номера

IF (F_OUT[1] = 0) OR
   (F_OUT[2] = 0) OR
   ...
   (F_OUT[N] = 0)
      THEN ALARM := TRUE;
           NUM := 0;
      ELSE ALARM := FALSE;
           NUM := A[1]*F_OUT[1] + ... + A[N-1]*F_OUT[N-1] + F_OUT[N] - A[N];
END_IF;
```

Рис. 9. Пример реализации упрощённого алгоритма работы блока логического вывода многомерного логического регулятора на языке программирования SCL в инструментальной среде разработки SIMATIC STEP 7:
F_OUT – целочисленный массив порядковых номеров термов переменных X и Z МЛР; NUM – переменная, предназначенная для хранения минимизированного идентификационного номера продукционного правила, антецедент которого в момент времени t равен логической единице

Так как значения $K(P_N)$ известны на момент разработки программы МЛР, то

$$\mathrm{NUM} = \mathrm{A[1]}\cdot \mathrm{F_OUT\,[1]} + \ldots$$
$$\ldots + \mathrm{A[N-1]}\cdot \mathrm{F_OUT\,[N-1]} + \mathrm{F_OUT\,[N]} - \mathrm{A[N]}.$$

Значения A[1] – A[N] рассчитываются исходя из выражения

$$\begin{cases} \mathrm{A[1]} = K(P_2)\ K(P_3)\ldots K(P_N); \\ \mathrm{A[2]} = K(P_3)\,K(P_4)\ldots K(P_N); \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \mathrm{A[N-2]} = K(P_{N-1})K(P_N); \\ \mathrm{A[N-1]} = K(P_N); \\ \mathrm{A[N]} = \mathrm{A[1]} + \mathrm{A[2]} + \ldots + \mathrm{A[N-1]}. \end{cases}$$

Заключение. Рассмотрены особенности программной реализации функциональных блоков (фаззификаторов, дефаззификаторов, БЛВ) МЛР в среде разработки TRACE MODE 6 и SIMATIC STEP 7 на языках программирования промышленных и ПК-основанных логических контроллеров, описанных в международном стандарте IEC 61131-3.

Разработан алгоритм работы МЛР с механизмом формирования идентификационных номеров продукционных правил. Получены выражения для расчёта минимизированных идентификационных номеров продукционных правил МЛР.

Результаты работы могут быть использованы для создания программного обеспечения для автоматизированной разработки МЛР, что позволит реализовать и анализировать готовый программный код МЛР в формате языков программирования, определённых международным стандартом IEC 61131-3 [6].

Библиографические ссылки

1. **Усков А.А., Круглов В.В.** Интеллектуальные системы управления на основе методов нечёткой логики. Смоленск: Смоленск. город. типография, 2003. 177 с.

2. **Деменков Н.П.** Нечёткое управление в технических системах: учеб. пособие. М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 200 с.

3. **Муравьёва Е.А., Каяшева Г.А.** Дискретно-логические регуляторы с ANY-TIME алгоритмом минимизации времени фаззификации параметров технологических процессов в совокупность чётких термов // Вестник УГАТУ. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2008. Т. 10. № 2. С. 53–57.

4. **Антипин А.Ф.** Сравнительный анализ быстродействия дискретно-логического регулятора // Программные продукты и системы. 2010. № 1. С. 75–77.

5. **Антипин А.Ф., Каяшев А.И., Муравьёва Е.А.** Система автоматического управления элементами дистилляции на базе многомерного логического регулятора // Вестник УГАТУ. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2010. Т. 14. № 4. С. 126–131.

6. **Антипин А.Ф.** Система автоматизированной разработки многомерных логических регуляторов с переменными в виде совокупности аргументов двузначной логики // Автоматизация в промышленности. 2011. № 3. С. 12–16.

УДК 621.77

И.Ф. Дьяков, д-р техн. наук, проф.
(Ульяновский государственный технический университет),
М.В. Кокорин (ОАО "Авиостар", г. Ульяновск)
i.dyakov @ulstu. ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИТЬЯ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Приведены результаты использования вакуума в литейных опоках для получения отливок из алюминиевых сплавов. Показана необходимость применения жидкостных песко- и пылеотделителей для увеличения срока службы насосов и эффективности очистки газов. На основе опыта работы по газифицируемым моделям предложено использовать в вакуумной системе вместо одного водяного насоса требуемой производительности – два насоса меньшей производительности, подключенных параллельно для экономии производственных средств.

Ключевые слова: газифицируемые модели, литьё методом вакуумно-плёночной формовки, диффузионные и тепловые процессы, формовочный материал, деструкция пенополистироловой модели.

The vacuum utilization results in the moulding boxes for foundry goods receipt from aluminum alloys are adduced. Necessity of the liquid sand and dust separators application for increase of the pump life and gas cleaning efficiency is shown. On the basis of experience on gasified models it is proposed to use for production means economy in the vacuum system two smaller capacity pumps, connected in parallel, instead of a single water pump with required capacity.

Key words: gasified models, moulding by vacuum film forming, diffusion and thermal processes, forming material, foamy polystyrene model degradation.

Введение. Появление вакуумируемых форм из сухого кварцевого песка способствовало развитию технологии формовки без связующего материала (СМ). Освоение литья методом вакуумно-плёночной формовки (ВПФ) началось с Японии (1971 г.) и распространилось по всему миру. Формовка со склеиванием частиц формовочной смеси за счёт создания связей между зёрнами песка, когда прочность связывания зависит от сил когезии и адгезии, уступила место уплотняющему ком песка перепаду атмосферного и пониженного внутриформенного давления воздуха в порах песка. Перепад вместо химической связи резко увеличил силы трения частиц песка и создал упругие сжимающие напряжения, удерживающие песок формы в неподвижном состоянии при действии какой-либо технологической нагрузки, включая давление залитого металла. С одной стороны, исключение СМ из формы значительно уменьшило выбросы вредных газов в атмосферу цеха и повысило культуру производства, а также способствовало ресурсосбережению за счёт многократного рециклинга песка без экологически вредных отходов (формы с СМ дают до 80 % загрязнений литейного производства), повысило точность отливок за счёт исключения прилипания к моделям смеси (снижены или устранены уклоны и припуски на моделях) и её уплотнения без значительных силовых нагрузок. Но, с другой стороны, вакуумирование потребовало от литейщиков понимания сущности баланса давлений на поверхности полости формы и методов её поддерживания в статичном состоянии, что часто связано с регулированием газопроницаемости поверхностных слоёв формы, а также со степенью и методом вакуумирования (особенно важных в момент заливки и затвердевания отливки).

Использование технологии литья по газифицированным моделям. Медленное внедрение вакуумируемых форм в отечественное производство (и страны СНГ) объясняется низкой осведомлённостью литейщиков о несложных принципах регулирования газового давления на границе "металл–вакуумируемая форма" при использовании преимущественно простого отечественного оборудования. Из-за неуверенности и опасения использовать непроверенные на собственном опыте новые технические принципы отечественные литейщики при выборе технологических процессов для своего цеха пока отдают предпочтение традиционной формовке с СМ (сказывается также воздействие обильной рекламы и другое стимулирование импортёров оборудования для холодно-твердеющих смесей (ХТС)).

Расширение применения ХТС, сопровождаемое усугублением неблагоприятной экологии литейного цеха, приводит к тенденции вытеснения литейного производства из Западной в Восточную Европу, если производство не переводить на качественно новый экологический уровень.

Применению вакуума в форме при литейно-газовой модели (ЛГМ) предшествовало то, что газы от деструкции пенополистироловой (ППС) модели отводились через перфорации опок и проколы в песчаном наполнителе в атмосферу цеха, что по сегодняшним требованиям просто недопустимо. Дальнейшие исследования физико-химического процесса ЛГМ и применение вакуума дали новые положительные результаты для получения качественных отливок и улучшения экологии производства. Проведённые научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы определили параметры необходимого вакуума в опоках, что позволило создать ряд новых способов литья и соответствующего технологического оборудования, обеспечивающего целостность литейной формы при заливке, стабильное получение точных и качественных отливок.

Принципы исследования параметров вакуумирования форм. Степень разрежения (вакуума) в литейной опоке (контейнере) зависит от вида заливаемого металла и обычно колеблется от 0,06 до 0,025 МПа. Одним из главных факторов, определяющих объём газов деструкции при одной и той же марке ППС модели, является температура заливаемого металла (от 650 °С для алюминиевых сплавов и до 1800 °С для жаростойких железоуглеродистых сплавов).

Изучение физико-химических процессов взаимодействия жидкой фазы и паров ППС модели с затвердевающим и жидким металлом отливки в песчаной форме привело к выяснению требований к плотности, газопроницаемости и теплофизическим свойствам формовочных материалов. Адсорбентами продуктов разложения твёрдого ППС при ЛГМ потенциально является как металл отливки, так и формовочный материал. Один из главных результатов применения вакуума при ЛГМ – практически полное исключение жидкого металла из числа адсорбентов при заливке и сопутствующих ей физико-химических процессах, а также достижение устойчивого механизма получения прочной песчаной формы.

При этом были исследованы смачиваемость различных формовочных материалов продуктами деструкции ППС (адгезионные процессы), прямые и обратные химические реакции между материалом и формой, диффузионные и тепловые процессы переноса, зависимость прочности формы и скорости откачки газов от гранулометрического состава формовочных материалов и их теплостойкости. Наиболее экономически приемлемыми и технически пригодными оказались кварцевые пески с размером зерна в пределах 0,2–0,3 мм и содержанием пылевидных частиц размером менее 0,05 мм (не более 6–8 %), плотностью в пределах 1,45–1,65 г/см^3 и влажностью не выше 0,5–0,6 %. Поскольку основным стабилизирующим прочность формы фактором является вакуум, уплотняющий её перепадом газового давления вне и внутри песка формы, то надёжность работы и грамотная эксплуатация всей вакуумной системы являются определяющими в процессе формовки и заливки.

При расчёте вакуумной системы участка (цеха) ЛГМ прежде всего исходят из её функционального назначения: будет ли она использоваться для формовки и заливки, пневмотранспортирования формовочного материала (песка), обеспечения работы модельных полуавтоматов, т. е. раздельной для всех технологических площадок или общей. Обычно это зависит от годовой производительности участка ЛГМ и организации производственного процесса. Порядок и правила расчёта пневмотранспорта всасывающего типа (вакуум-транспортная система) приведены в работе [1], а предварительные и приближённые расчёты вакуумных систем формовочно-заливочного участка (ФЗУ) ЛГМ можно осуществлять по данным, приведённым в работах [2–4].

Некоторая сложность расчётов вызвана отсутствием единых справочных численных характеристик, протекающих физико-химических, термо- и газогидродинамических процессов, необходимых для определения скорости деструкции ППС модели, образуемого объёма газов с учётом газового взаимодействия этих продуктов деструкции с формовочным материалом, подвергаемым вакуумированию. Многофакторность принимаемых во внимание изменяемых параметров, усложняющих процесс расчётов, можно показать на следующем примере. Если пористость уплотнённого формовочного кварцевого песка составляет 35–38 % [4], то неясно, как будет изменяться площадь межзёренного сечения (как газового канала) при конденсации паров газа на поверхности песчинок. Модели из одной марки ППС при литье сплавов с разными температурами газифицируются по-разному, создавая различные давление и объём газов деструкции за единицу времени.

Кроме того, уменьшаются поры за счёт термического расширения зёрен песка, что также изменяет

общую площадь проходного сечения формовочного материала. Одновременно по мере перемещения газов в толще песка происходит его охлаждение, вызывающее соответствующее уменьшение объёма газов, исходящих преимущественно из зазора между зеркалом заливаемого жидкого металла и твёрдой частью ППС модели при её термодеструкции. По законам гидродинамики при обтекании тела скорость текущей жидкости или газа на поверхности тела равна нулю. В межзёренном пространстве с порами, составляющими микрометры, сопротивление течению газа также зависит от шероховатости, угловатости и фракционного состава зёрен. Шероховатость газовых каналов при ЛГМ – величина непостоянная, так как вокруг песчинок образуется "рубашка" из сконденсированных продуктов испарения ППС. Кроме того, за счёт вакуума жидкая составляющая деструкции ППС проникает до 60 мм вглубь песка формы, также уменьшая площадь прохода газов. При многократном обороте песка песчинки покрываются углеводородными и сажистыми плёнками, очистку от которых выполняют в разработанных компанией установках терморегенерации песка. Приведённые выше аргументы учитывают при закладывании запаса производительности вакуумных насосов в откачивающих системах формовочно-заливочных участков ЛГМ.

Другой особенностью работы вакуумных систем при ЛГМ и ВПФ является наличие частиц формовочного материала – песка в отсасываемых газах (количество их может составлять 0,1–3,0 % от объёма, что зависит от конструкции опок). Попадая в насос, частицы песка быстро изнашивают его внутренние части. Применение циклонов различных типов не решает полностью эту проблему, так как теоретически степень очистки составляет не более 97 % от их пропускной способности.

Получаемые результаты. Производственная практика специалистов Ульяновского завода ОАО "Авиостар" при эксплуатации вакуумных систем ФЗУ показала необходимость разработки жидкостных песко- и пылеотделителей, использование которых на ряде предприятий показало высокую эффективность очистки газов, что привело к увеличению срока службы насосов. Основным критерием выбора вакуумного насоса является требуемая производительность и величина вакуума на выходе из литейной формы или одновременно вакуумируемых форм.

Если производство проектируется для получения отливок из алюминиевых сплавов, то степень разрежения, создаваемого насосом в опоке-контейнере, должна составлять около 0,40–0,46 МПа, а для отливок из чёрных металлов – 0,15–0,20 МПа. Проведённые исследования показали, что температура газов деструкции в зазоре между зеркалом металла и моделью может достигать до 1/2 температуры заливаемого металла, и далее, перемещаясь на выходе из контейнера, может иметь от 1/5 до 1/4 температуры металла. Объём и температура отсасываемых газов с учётом перечисленных физико-химических процессов (объёма, качества и физико-механических свойств формовочного материала; массы и вида металла отливки; расположения модели в контейнере; температуры окружающей среды; марки применяемого ППС) колеблются в широких пределах.

Для расчёта объёма отсасываемых газов необходимо исходить из законов сохранения массы и энергии, термо- и гидрогазовой динамики, тепло-массопереноса. Взаимосвязь объёма газа V, давления P и температуры T определяется по формуле

$$PV = nRT,$$

где n – число молей в объёме V при температуре T и давлении P; $R = k\,N$; k – постоянная Больцмана; N – число молекул в 1 грамм-молекуле.

Исходя из этого выражения, для выполнения расчётов можно использовать закон Бойля–Мариотта:

$$\frac{PV}{T} = \text{const}.$$

Зная температуру заливаемого металла, массу ППС модели и используя приведённые выше температуры при ЛГМ, определяют объём газов V на выходе из литейной формы. Далее расчёт всей вакуумной системы можно вести по формулам из работ [1, 2, 5].

Выбор насоса и элементов вакуумной системы. Исходя из предназначения вакуумной системы – раздельной по технологическим площадкам или общей на весь производственный цех ЛГМ – рассчитываются показатели необходимого насоса. Наиболее оптимальным по экономическим, пожарно-санитарным и эксплуатационным характеристикам является применение сухих кольцевых или водокольцевых вакуумных отечественных насосов серии ВВН или HRB (Корея, Hwahghae Electric). Применение сухих вакуум-насосов требует меньше площадей без наличия системы водоподготовки и водооборота или питания, но плохо стыкуется с системой утилизации откачиваемых газов с продуктами деструкции ППС. Конструктивные элементы насоса не должны коррозировать в газовой среде. Количество частиц формовочного материала (песка) во входящем в насос газе должно быть предельно минимальным, что требует усложнения элементов пылеулавливания вакуумной системы. Однако менее

затратно применение сухих насосов как при монтаже, так и при эксплуатации.

ВВН для своей работы требуют наличия системы водоподготовки и водоснабжения. Наибольшая эффективность работы ВВН достигается при использовании воды с температурой ниже +30 °С. Другой особенностью является наличие воды в выбрасываемом насосом газе, что усложняет работу стоящих, как правило, за ними установок каталитического дожига газов с продуктами деструкции в процессе доведения выбрасываемых в атмосферу газов до санитарно-экологических норм – предельно-допустимой концентрации вредных веществ. Вода при работе ВВН нагревается, что снижает их производительность, а также при достижении температуры +55 °С минеральные включения начинают выпадать в осадок. Для экономии воды желательно создавать закрытые замкнутые системы водоснабжения, изначально заполненные дистиллированной водой. Водоёмы открытых систем, особенно расположенных вне цеха, летом зеленеют, поэтому требуется их регулярная очистка. Этих проблем можно избежать, используя поршневые, золотниковые, роторно-пластинчатые насосы. Но этого делать нельзя, так как во всех этих насосах содержится масло, а откачиваемые газы при выходе из литейной формы имеют температуру намного выше +100 °С. Масло в таких насосах, если не горит, то коксуется и, кроме того, пары масла, сконденсированные на входном трубопроводе, тоже являются источником возгорания.

Обязательным элементом вакуумной системы ФЗУ является вакуумный аккумулятор (ВА). Разработанные конструкции аккумуляторов ёмкостью от 1 до 3 м^3 имеют защитные элементы в виде предохранительных пластин и обратных клапанов, что позволяет легко их очищать. Определим толщину стенки ВА по формуле [2]

$$h = 0,47 \frac{D}{100} \left(\frac{P_p}{10^{-6} E^t} \frac{l}{D} \right)^{0,4} + C,$$

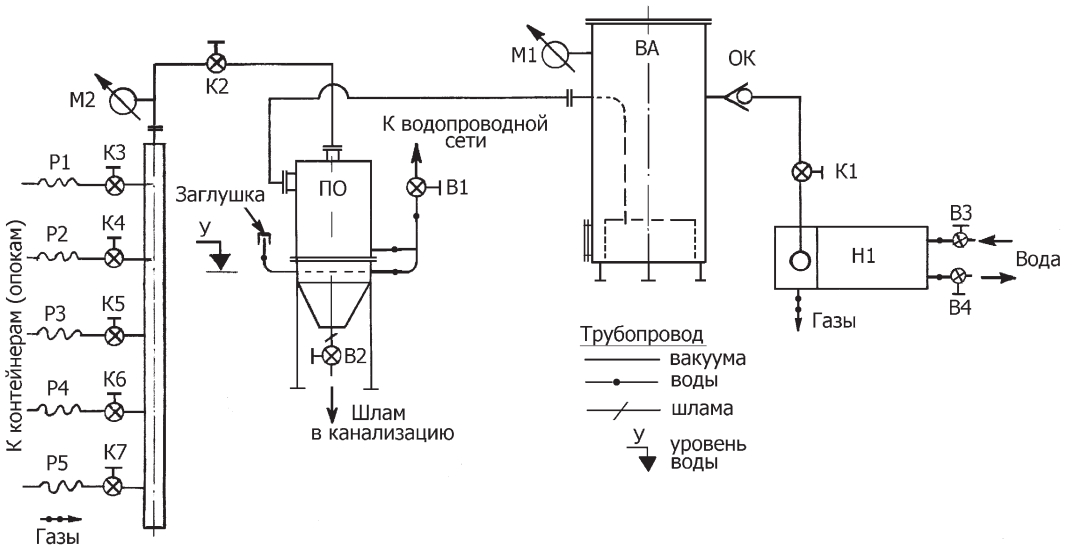
где D – внутренний диаметр обечайки; P_p – давление расчётное; E^t – модуль продольной упругости материала при 20 °С; l – длина обечайки; C – поправочный коэффициент (утоньшение стенки при эксплуатации).

Основное предназначение ВА – обеспечение плавности работы вакуумного насоса. Трубопроводы должны быть по диаметру согласованы с диаметром всасывающего отверстия насоса и изготовлены максимально короткими. Но для ФЗУ соблюдение этого принципа не всегда оправдано, так как отсасываемые газы имеют большую температуру и нагревают как элементы вакуумной системы, так и воду, тем самым снижая производительность ВВН. Пропускную способность трубопровода определяют по эквивалентному сечению:

$$A_T = 12,1 \frac{d^3}{l},$$

где d – диаметр трубопровода; l – длина трубопровода.

Необходимо стремиться, чтобы трубопровод соответствовал заданной производительности насоса и имел меньше изгибов. Опыт эксплуатации запорно-регулирующей арматуры показал, что наиболее надёжны и дёшевы шаровые краны, которые массово выпускаются с проходными диаметрами от 1/4 до 4 дюймов, которые легко мон-



Вакуумная система участков формовки-заливки:

Н1 – насос ВВН; ОК – обратный клапан; ВА – вакуумный аккумулятор; М1, М2 – манометры 0–1; ПО – пылеосадитель; К1–К7 – краны шаровые; В1–В4 – вентили; Р1–Р5 – рукава

тировать. Как упоминалось выше, откачиваемые газы с продуктами деструкции ППС или синтетической плёнки при ВПФ должны перед выбросом в атмосферу очищаться в специальных установках. Для предварительного осаждения частиц формовочного материала рекомендуется использование серийно выпускаемых циклонов разработки ЦАГИ и Союзэлеватор.

Для экономии производственных расходов и надёжности работы вакуумной системы целесообразно вместо одного водяного насоса требуемой производительности установить два насоса меньшей производительности, подключенных параллельно, тем самым обеспечивая надёжность работы системы.

На рисунке приведена схема вакуумной системы участка ЛГМ, предназначенная для формовки и заливки металла. Все соединения должны быть герметичными, падение давления в сети – не более 0,05 МПа (контроль осуществляется по манометру М1).

Заключение. Таким образом, приведены результаты использования передовой технологии вакуумной системы формовочных участков с учётом ряда разнообразных факторов, принятых во внимание при определении производительности насосов, пропускной способности очистных и трубопроводных элементов. Эти системы комплектуются преимущественно отечественным оборудованием, могут применяться при организации современных участков ЛГМ и ВПФ для повышения экологической культуры производства и выпуска высокоточных отливок из различных сплавов.

Библиографические ссылки

1. **Овсянников К.М.** Основы расчёта вакуумных систем, применяемых в литейном производстве. М.: Машиностроение, 1971. 142 с.

2. **Минаев А.А.** Вакуумная формовка. М.: Машиностроение, 1984. 205 с.

3. **Васильев В.А.** Физико-химические основы литейного производства. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1994. 45 с.

4. **Вакуумная** техника / Е.С. Фролов, В.Е. Минайчев, А.Т. Александрова и др.: справочник. М.: Машиностроение, 1992. 234 с.

5. **Дорошенко В.С., Бердыев К.Х., Шинский И.О.** Структура цеха литья по газифицируемым моделям и особенности его проектирования // Металл и литьё Украины. 2010. № 4. С. 8–16.

УДК 681.5.08; 681.5.015.24

С.В. Кривошеев, Д.Р. Орманов
(Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики)
krivosheev.sergey89@mail.com; daniar-ormanov@yandex.ru

УПРАВЛЕНИЕ МОДЕЛЬЮ МНОГОЗВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА С ПОМОЩЬЮ ЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ, СНЯТЫХ С ПОВЕРХНОСТИ РУКИ

Рассмотрена проблема управления многозвенными манипуляторами с помощью альтернативных способов, в данном случае с помощью сигналов, полученных с электронейромиографа. Предложена система условных знаков, методика снятия показаний, алгоритм обработки полученного сигнала. Проведено моделирование движения многозвенного манипулятора с помощью алгоритмов оптимизации движения и алгоритмов управления с помощью полученных сигналов.

Ключевые слова: оптимизация движения, многозвенный манипулятор, моделирование сложных систем, "умное" протезирование, человеко-машинный интерфейс, обработка сигналов, ЭМГ.

The control problem of the multi-link manipulators by means of the alternative methods, in such a case by means of signals, received from a electroneuromiograph, is considered. Conditional signs system, readout interrogating methodology, the signal processing algorithm is considered. The multi-link manipulator movement modeling by means of the movement optimization algorithms and control algorithms based on the received signals are carried out.

Key words: movement optimization, multi-link manipulator, complex systems modeling, "intelligent" prosthetics, man-machine interface, signals processing, EMG.

Одной из важнейших задач в современной робототехнике является создание адекватной и понятной системы управления для удалённо контролируемых систем. Применение подобных роботов с качественными манипуляторами может быть повсеместным и ограничивается лишь фантазией

разработчиков и условиями работы, которые, в свою очередь, будут влиять на компоненты, входящие в состав устройства. Кроме этого, в течение последних нескольких десятков лет активно развивается направление умного протезирования. Под этим понятием подразумевается создание электромеханического протеза какой либо конечности или органа с развитой системой обратной связи, который будет максимально приближён по своим характеристикам и возможностям к замещаемому органу. И здесь проблемным вопросом является реализация интуитивной системы управления протезами. Данные области пересекаются в вопросах управления сложными электромеханическими устройствами – многозвенными манипуляторами. Ниже будет рассмотрен подход, который может быть реализован как для роботов, так и для умных протезов. Было решено остановить свой выбор на способе, в котором снятие показаний мышечной активности и дальнейшее их распознание позволяет получить некую команду для системы. Проще говоря, управлять манипулятором с помощью нервных импульсов. Конечной целью работы является разработка нейронного интерфейса управления для электромеханического протеза человеческой руки или манипуляторов антропоморфного робота. Управление подобными многозвенными манипуляторами может быть реализовано, как минимум, двумя способами – с помощью электроэнцефалограммы (ЭЭГ) или же с помощью электромиограммы (ЭМГ). Применение ЭЭГ связано со следующими трудностями: во-первых, необходимо обеспечить качественный контакт с головой для получения сигнала, во-вторых, распознание "мыслей" для формирования команды – сложный процесс с точки зрения обработки полученной информации, и, в-третьих, в реальной жизни мы редко задумываемся о том, что именно и как мы будем делать, чаще всего данное действие не требует особой мыслительной работы и происходит "на автомате".

Авторами был выбран вариант со снятием сигналов управления с помощью ЭМГ-регистратора. Данный способ требует только наличия самого устройства, электроды могут быть расположены на любой части руки. В нашем распоряжении был двухканальный электронейромиограф отечественного производства. Электроды для снятия показаний были размещены на кожном покрове, примерно на m. Brachioradialis [1], сигнал возбуждения проходит по Cvi_Vij. N. Medianus.

Кроме этого, был разработан простейший язык условных команд: единичное мышечное сокращение длительностью менее 1,5 с, два единичных мышечных сокращения с интервалом менее 2 с, единичное длительное мышечное сокращение длительностью более 1,5 с., т. е. в нашем случае параметрами, которые бы характеризовали сигнал, стали длительность сигнала и интервал между сигналами. Причём данная система позволяет с высокой точностью определить необходимые нам параметры. Частота снятия показаний составляет порядка 10^4 измерений в секунду. Данные были представлены в виде файлов в формате .xml; для работы в среде MatLab понадобилось конвертировать файлы из формата .xml в формат .txt и только затем уже обрабатывать их.

Полученные результаты измерений после конвертации в читаемый формат были первично открыты в среде MatLab. Как видно из рис. 1, они имеют характерные формы, но для системы обработка информации в таком виде не представляется удобной. Поэтому было принято решение применить фильтр Баттерворта для приведения вида графиков к схожему виду и повышения удобства в дальнейшей работе. Помимо этого были сделаны выводы о том, что подобную систему знаков можно будет применить для создания команд управления.

Следующим этапом после фильтрации данных было написание алгоритма, который бы выделял необходимые нам три типа сигналов по характерным параметрам. Так как в данном варианте работы рассматривается обработка статического сигнала, то алгоритм был достаточно прост. Весь массив данных последовательно просматривался и оценивался программой. В случае, если сигнал превышал пороговое значение (в нашем случае 1 мВ), это означало, что произошло какое-то возмущение и пользователь что-то сообщает системе. Кроме этого, определялось ещё и время окончания возмущения, так как одним из параметров, которые мы оценивали, являлась длительность сигнала. Следующим этапом было выделение одного из трёх типов сигнала. Единичное возмущение отбиралось следующим образом: определялось время начала возмущения и его длительность. Затем из отобранных единичных сигналов отбирались двойные, если таковые имелись. Как было сказано выше, это делалось с помощью параметра, определяемого интервалом между возмущениями, который составлял менее двух секунд. В этом случае отбирались длительные возмущения, характеризовавшиеся временем более 1,5 с. Как видно из рис. 2, с помощью алгоритма корректно находились все три условных сигнала. Для проведения ис-

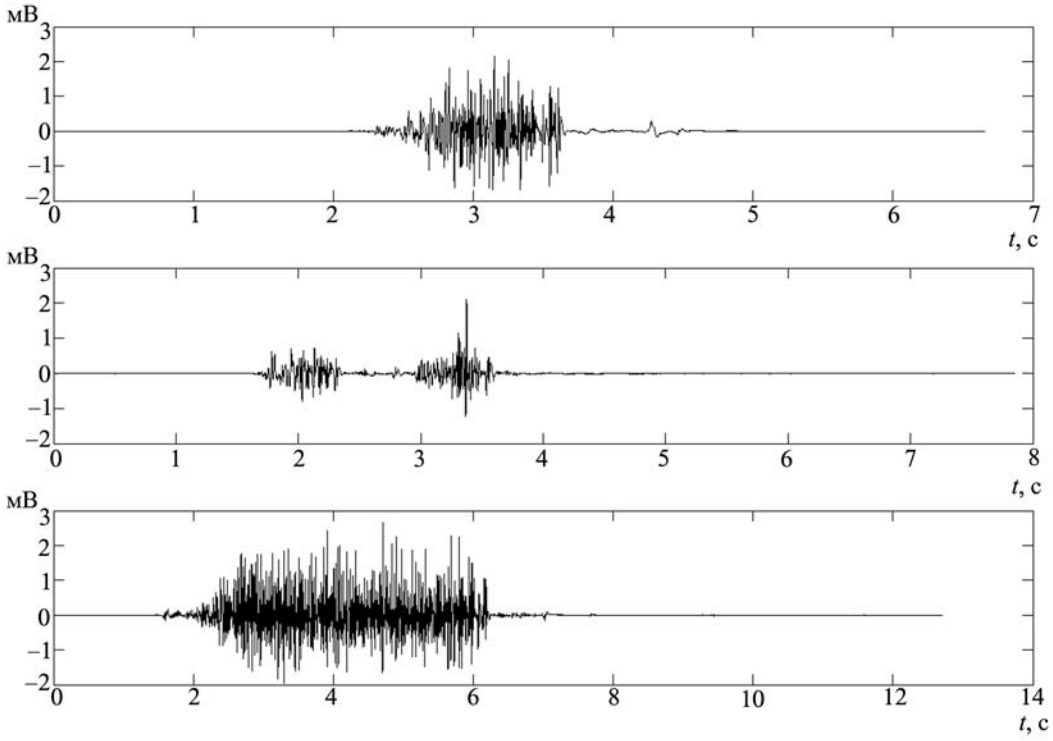


Рис. 1. Результаты первичного открытия получения данных в MatLab

пытаний и нахождения возможных ошибок было составлено несколько сборок вероятных сигналов и проверена корректность работы предложенной программы. В частности, на первом графике представлен 30-секундный отфильтрованный сигнал, при котором через 2,5 с идёт длительное сокращение, через 21,5 с – двойное, а через 15,5 с происходит единичное мышечное сокращение. Из второго графика мы видим, что при условии, когда длительное мышечное сокращение условно приравнено к 2, единичное мышечное сокращение к 1, а двойное мышечное сокращение к 3, алгоритм находит все сокращения со 100 %-й точностью.

Важным результатом проведенных исследований, кроме написания алгоритма, было то, что мы подтвердили свою гипотезу о схожести характерного вида графиков при мышечных сокращениях у разных людей. Для этого были проведены дополнительные измерения ещё у одного человека, и в дальнейшем планируется увеличить группу испытуемых, чтобы уверенно говорить об универсальности разработанного алгоритма поиска.

Последним этапом работы стало соединение найденных результатов сборки, снятие показаний и реализация перемещения многозвенного манипулятора по определённой траектории, так как многозвенный манипулятор в зависимости от реализуемой схемы [2], по сути, наиболее точно копирует человеческую руку. Для решения этой задачи были использованы написанные ранее алгоритмы оптимизации движения [3], с помощью которых по заранее просчитанному рабочему объёму происходит перемещение манипулятора.

Как говорилось выше, имелось три условных сигнала для системы управления. Был реализован для проверки работоспособности модели простейший вариант, в котором в начальный момент времени манипулятор находится в положении покоя в точке с координатами [0, 0, 0]. После начала работы алгоритма начинается перемещение полюса схвата к некоторой, задаваемой нами точке в пространстве. На рис. 3 представлены результаты моделирования движения многозвенного манипулятора для двух разных сборок сигналов. Кроме этого, на графиках слева приведены изменения углов положения звеньев манипулятора во времени при одном варианте сборки, а на графике справа приведено изменение положения полюса схвата манипулятора при реализации второго варианта сборки сигналов.

Подводя итоги, можно сказать, что была выполнена работа по поиску возможного решения задачи интуитивного управления многозвенным манипулятором с помощью применения электромиографии. Кроме этого, разработана система условных сигналов, используемых пациентом для общения с компьютером или электронным устройством. Был также разработан алгоритм, позволяющий находить и корректно определять эти условные сигналы. На-

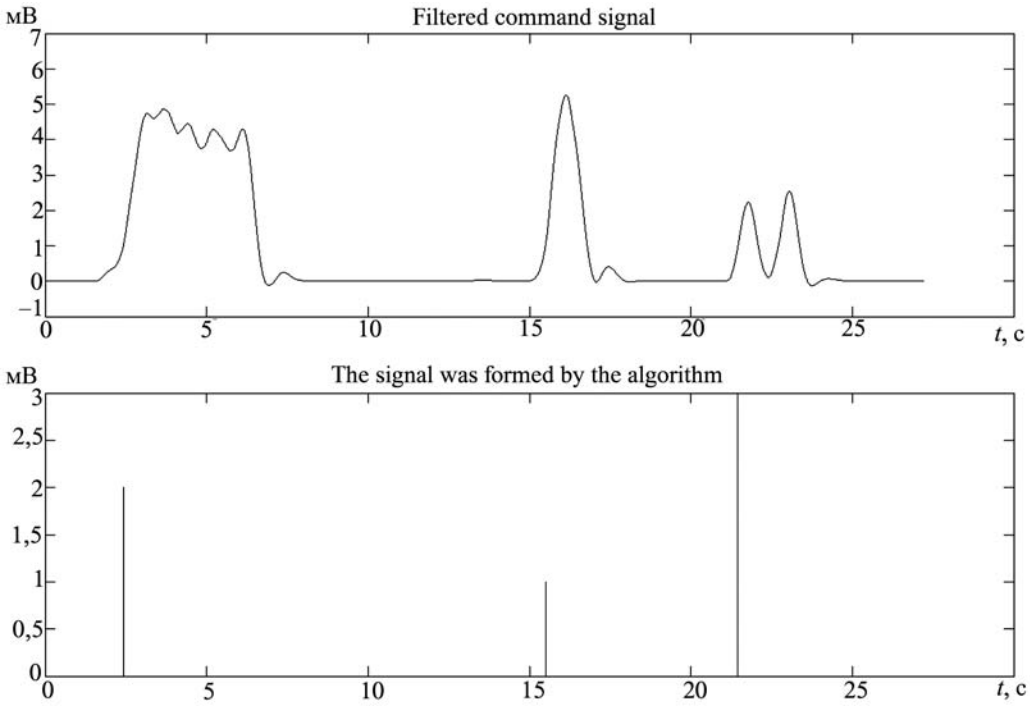


Рис. 2. Результаты работы алгоритма нахождения мышечных сокращений

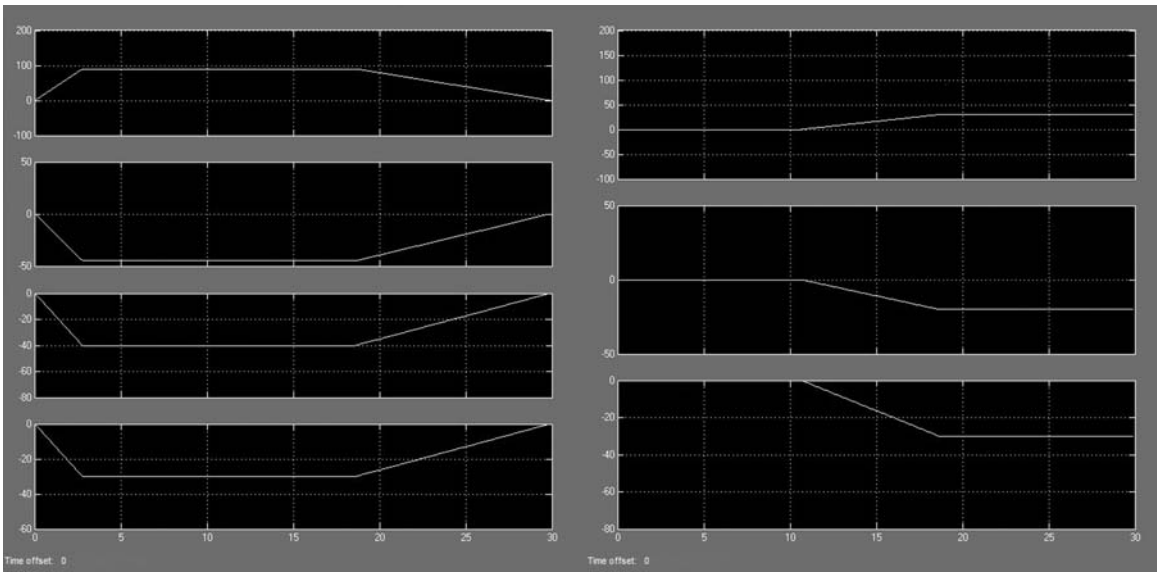


Рис. 3. Результаты моделирования движения многозвенного манипулятора:
слева – изменение положения звеньев манипулятора, справа – изменение положения полюса схвата

конец, были проведены исследования сигналов, поступающих с электронейромиографа у двух испытуемых, что послужило основанием для вывода относительно универсальности разрабатываемых алгоритмов и применимости их к разным людям.

Дальнейшими этапами работы будет сборка реальной модели манипулятора и обработка сигналов, получаемых с электронейромиографа в режиме реального времени. Кроме этого, потребуется отладка обратной связи (сейчас её отсутствие является явным минусом разработанной системы) и учёт влияния внешних факторов воздействия, влияющих на работу устройств.

Библиографические ссылки

1. **Николаев С.Г.** Атлас по электромиографии. Иваново: ИПК "Пресс-Сто", 2010. 468 с.

2. **Юревич Е.И.** Основы робототехники. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: БХВ-Петербург, 2007. 416 с.

3. **Кривошеев С.В., Орманов Д.Р.** Оптимизация движения с помощью решения обратной задачи кинематики для твердотельной модели многозвенного манипулятора в среде MatLab методом перебора // Автоматизация и современные технологии. 2012. № 12. С. 20–22.

INTEL: БОЛЬШИЕ РЕШЕНИЯ

В конце 2013-го года на специальной пресс-конференции "Большие решения" корпорация Intel представила стратегию развития центров обработки данных (ЦОД), облачных сервисов, Больших данных и высокопроизводительных вычислений. В России были анонсированы процессоры семейства Intel Xeon E5 v.2, а также аппаратные решения партнеров Intel. Платиновым спонсором мероприятия выступила HP, а золотыми – Dell и Fujitsu.

В приветственном слове Дмитрий Конаш, региональный директор Intel в России и других странах СНГ, подчеркнул, что в России быстро развивается Интернет: ежемесячное число пользователей составляет 66,1 млн, а среднесуточная аудитория Всемирной сети – 52,2 млн. Благодаря распространению облачных услуг растут аудитории Yandex, Mail.Ru Group, социальной сети ВКонтакте: ежемесячное количество их пользователей (сентябрь 2013 г.) составляет 36,2, 36,1, 31,0 млн соответственно. При этом, однако, проникновение технологий Больших данных в России ещё невелико: лишь 6% организаций внедрили или начали их внедрение. Тем не менее, потребности отечественных ЦОД постоянно растут.

С основным докладом "Большие решения Intel" выступил Андрей Сёмин, директор по технологиям супервычислений в странах Европы, Ближнего Востока и Африки (регион EMEA). Он отметил, что катализаторами роста ЦОД стал, с одной стороны, рост объёмов и разнообразия данных, а с другой – неуклонное понижение стоимости их хранения и обработки. К 2016 г. ожидается 10-кратное увеличение массы данных, причём, в 90 % случаев они останутся неструктурированными. Согласно данным исследования Intel, с 2002 по 2012 гг. стоимость сервера снизилась на 40 %, а затраты на хранение 1 Гбайт информации уменьшились на 90 %.

Андрей Сёмин обратил внимание собравшихся на то, что анализ Больших данных, несмотря на все связанные с ним трудности, может выявить новые закономерности, например, в развитии общества, тенденций рынка, психоэмоционального состояния коллективов, – словом, предоставить результаты высокой ценности. Intel предлагает различные решения для задач обработки Больших данных, начиная с процессоров для ЦОД и суперкомпьютеров, твердотельных накопителей и контроллеров локальных сетей и кончая решениями для безопасности.

Затем технический директор корпорации Intel в регионе EMEA Саймон Холланд (Simon Holland) официально представил в России новые микропроцессоры семейства Intel Xeon E5 v.2. Саймон рассказал, что они представляют собой чипы для ЦОД, созданные по нормам 22-нанометрового технологического процесса. По сравнению с Intel Xeon E5 предыдущего поколения, новинки обладают вдвое меньшим энергопотреблением при том же уровне производительности, а при низком вольтаже питающего напряжения дают 37%-ный выигрыш в производительности, что позволяет создавать серверные компоненты с высокой плотностью монтажа и экономить на системах охлаждения. Intel Xeon E5 v.2 обладают новыми средствами обеспечения безопасности и новыми возможностями виртуализации. У них на 50 % больше ядер/потоков, увеличенный кэш и на 23 % уменьшен расход энергии при простое.

Следующим выступавшим был Кирилл Богачёв, технический директор компании Rock Flow Dynamics, которая создала и успешно реализует tNavigator – полнофункциональный параллельный симулятор динамики нефтегазовых месторождений. На примерах задач для tNavigator Кирилл показал преимущества Intel Xeon E5 v.2. По его словам, новинки устанавливают новые рекорды производительности и масштабируемости в задачах моделирования течений нефти и газа: достигается ускорение более 100 раз при расчётах на кластере из 160 процессорных ядер. Время на обработку реального проекта (500 расчётов) сокращается вдвое.

С анонсом передового интегрированного решения на базе новых процессоров выступил Александр Московский, генеральный директор компании "РСК Технологии". Александр представил RSC PetaStream – уникальное решение на Intel Xeon E5 v.2 и сопроцессорах Intel Xeon Phi с высокой плотностью монтажа, позволяющей уместить вычислительную мощность в один петафлоп в стойке (более 250 тыс. исполняемых потоков). Ис-

пользование жидкостного охлаждения компонентов позволило RSC PetaStream установить и другой мировой рекорд: отвод более 400 кВт тепловой мощности от одной стойки. По словам Александра, новое решение Группы компаний РСК – прорыв на пути к экзафлопной вычислительной мощности.

В рамках доклада с сообщением выступил также Борис Шабанов, заместитель директора Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской Академии наук (МСЦ РАН), который рассказал о суперкомпьютере МСЦ, созданном на основе решений Intel.

Платиновый спонсор – компания HP – представила доклад "Повышение эффективности центров обработки данных с конвергентной структурой HP", который читал Александр Шумилин, менеджер по продуктам компании HP. Он рассказал, что от современной IT-инфраструктуры потребители ждут гибкости, возможности быстрого предоставления новых сервисов, обеспечения высокого уровня безопасности и одновременно низкой стоимости владения. Этим требованиям, по мнению докладчика, удовлетворяют конвергентные решения HP, включающие в себя все элементы инфраструктуры – от автоматизированного управления виртуализированными ресурсами до высокоэффективных систем питания и охлаждения.

Золотой спонсор – компания Fujitsu – представила доклад "Бизнес-ориентированные системы хранения данных Fujitsu: когда Большие данные – в центре бизнеса", который читал Александр Яковлев, менеджер по продукции компании Fujitsu. Он рассказал о том, что в начале ноября 2013 г. компания Fujitsu выпустила революционное обновление семейства дисковых систем ETERNUS DX S3 на базе процессоров Intel Xeon. Эти новые дисковые массивы позволяют оптимально подстраиваться под нужды пользователей, предоставляя повышенный уровень обслуживания и сокращая издержки. Такие преимущества стали результатом ряда достижений, включая 5-кратное повышение быстродействия и интеллектуальное управление данными по приоритетам. По словам Александра Яковлева, вся линейка систем хранения данных от Fujitsu, от масштабируемых моделей начального уровня ETERNUS DX100 S3 и DX200 S3 до моделей среднего класса ETERNUS DX500 S3 и DX600 S3, обеспечивает непревзойденную поддержку консолидации данных благодаря встроенным возможностям подключения к унифицированным сетям NAS и SAN.

Золотой спонсор – компания Dell – представила доклад "Большие данные в корпоративной среде", который читал Павел Борох, менеджер по маркетингу корпоративных решений Dell. По его мнению, никому не нужны просто Большие данные, все хотят Большого результата, Большого эффекта и при этом с минимумом хлопот. Аппаратная платформа Dell позволяет с уверенностью ввести большие данные в корпоративную среду, а программные средства Dell Software и компаний-партнёров позволят проникнуть в суть данных и извлечь из них скрытые закономерности и необходимые компании знания. Павел рассказал об опыте Dell в построении решений, объединяющих в себе лучшие технологии и продукцию в этой области: серверах PowerEdge, системах хранения данных, интеграции данных для Hadoop с помощью Toad или Boomi и их анализе с помощью Kitenga Analytics Suite.

В заключение мероприятия с докладом "Использование технологий Intel в услугах дата-центров" выступил Василий Борисов, руководитель отдела маркетинга и рекламы компании "Селектел". Он обратил внимание аудитории на то, что аппаратной основой услуг, предоставляемых "Селектел", являются процессоры Intel. Компания использует и имеет возможности сравнить три поколения процессоров Intel Xeon на основе архитектур Sandy Bridge, Ivy Bridge и Haswell. Каждое новое поколение опережает предыдущее по производительности и энергоэкономичности, что особенно важно, поскольку в ходе обновления парка серверов "Селектел" постоянно сталкивается с проблемой устаревания конфигураций.

ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛОВ

Снижение уровня вибрации инструмента при фасонном фрезеровании горбыля. *Вестник машиностроения*. 2013. № 1.

Приведены результаты исследования уровня вибрации режущего инструмента при фрезеровании фасонных заготовок с неоднородными свойствами, предложены пути снижения вибрации.

Повышение экономических показателей троллейбусов и трамваев с применением нанотехнологий. *Грузовик*. 2013. № 1.

Проведены испытания наномодификатора УМ-2 при добавлении его к трансмиссионному маслу в центральном и бортовых редукторах троллейбусов и трамваев. Применение наномодификатора позволяет снизить расход электроэнергии на движение в среднем на 12 % и повысить надёжность подвижного состава.

Расчёт коэффициента полезного действия универсального дифференциального механизма – модуля автоматических коробок передач. *Грузовик*. 2013. № 1.

Представлены кинематическая схемы модуля планетарной системы универсального многопоточного дифференциального механизма (ПС УМДМ), дифференциальные механизмы на каждой передаче и методика расчёта коэффициента полезного действия автоматической коробки передач на основе модуля ПС УМДМ.

Разработка научных основ и внедрение современной технологии производства железнодорожных колёс с высокими эксплуатационными характеристиками. *Заготовительные производства в машиностроении*. 2013. № 1.

Рассмотрена новая технология изготовления железнодорожных колёс, качество которых удовлетворяет требованиям отечественных и зарубежных стандартов, что позволило использовать их в условиях повышенной нагрузки на ось до 250 кН с одновременным увеличением долговечности в 1,5 раза. В результате исследования формоизменения металла при штамповке разработаны и внедрены новые калибровки штампов, повышена точность поковок и обеспечено применение заготовок с уменьшенной массой. Выбрана рациональная технология изготовления колёс диаметром 1250 мм для локомотивов.

Улучшение характеристик гранулированных материалов для турбинных дисков перспективных авиационных двигателей. *Заготовительные производства в машиностроении*. 2013. № 1.

Рассмотрены пути создания современных высокотехнологичных гранулируемых жаропрочных никелевых сплавов, а также турбинных дисков для перспективных авиационных двигателей. Показано, что легирование сплавов танталом, рением и рутением может существенно улучшить их служебные характеристики.

Расчётно-методическое обеспечение выбора рациональных конструкторско-технологических решений при производстве радиоэлектронных средств на наноприборах с целью повышения их надёжности. *Наноинженерия*. 2013. № 1.

Разработана математическая модель конструкторско-технологической оптимизации радиоэлектронных средств нового поколения на базе приборов, функционирующих на квантоворазмерных эффектах в их полупроводниковых гетероструктурах. Показано, что выбор рациональных конструкторско-технологических решений позволяет обеспечить заданный уровень надёжности этих современных изделий.

Природный фотопреобразующий фотохромный белковый наноматериал бактериородопсин из пурпурных мембран галобактерии Halobacterium halobium. *Наноинженерия*. 2013. № 1.

Разработан микропрепаративный микробиологический синтез природного фотопреобразующего белка бактериородопсина (выход 8–10 мг), способного преобразовывать световую энергию в электрохимическую энергию генерируемых протонов H+ и АТФ, что важно для наноиндустрии новых современных отечественных фотопреобразующих наноматериалов и биомолекулярной электроники. Белок выделен из пурпурных мембран галобактерий Halobacterium halobium лизисом бактериальной биомассы ультразвуком, спиртовой экстракцией низко- и высокомолекулярных примесей, клеточной РНК, каротиноидов и липидов с последующей солюбилизацией конечного продукта 0,5 %-м ДДС–Na и низкотемпературным фракционированием метанолом. Гомогенность очищенного синтезируемого бактериородопсина доказана комбина-

цией методов выделения и белкового анализа, включая электрофорез в 12,5 %-м ПААГ с 0,1 %-м ДДС–Na и гель-проникающую хроматографию на сефадексе G-200.

Математическая модель динамики сопряжения деталей с применением промышленного робота и вибрационного устройства. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2013. № 1.

Представлена математическая модель динамики роботизированного сопряжения деталей типа "вал–втулка" с применением пассивной адаптации на базе вибрационной опоры.

Опыт построения моделей технологической системы механосборочного оптико-электронного мелкосерийного производства. *Сборка в машиностроении, приборостроении.* 2013. № 1.

Предложены модели для описания производства оптико-электронной аппаратуры, обладающие высокой гибкостью, адаптивностью и возможностью перекомпоновки структуры технологического процесса под соответствующую изменяемую номенклатуру изделий.

Разработка математической модели для оценки производительности насоса-дозатора химически активных растворов с учётом изменения шероховатости его деталей при изнашивании. *Трение и смазка в машинах и механизмах.* 2013. № 1.

Рассмотрены теоретические и практические исследования создания математической модели производительности шестерённого насоса-дозатора для формования арамидных волокон. В результате исследований поверхностей деталей узлов трения насосов после их эксплуатации разработана математическая модель их производительности в зависимости от шероховатости поверхностей пластин насосов.

Структурная модель проектирования упрочняющих технологических процессов, обеспечивающих заданное качество поверхностного слоя. *Упрочняющие технологии и покрытия.* 2013. № 1.

Предложена структурная модель проектирования упрочняющих технологических процессов на основе формирования требуемых программ нагружения. Разработанная модель даёт возможность управлять свойствами и качеством поверхностного слоя.

Современные методы исследования структуры и фазового состава упрочнённых слоев после химико-термической обработки. *Упрочняющие технологии и покрытия.* 2013. № 1.

Рассмотрены методы исследования, которые наиболее широко применяются для анализа структуры и фазового состава упрочнённых слоев после химико-термической обработки, в том числе тонкие методы исследования их наноструктуры. Показана эффективность исследований с точки зрения наглядности изменения строения сплавов в процессе ХТО на конкретных образцах. Предложены новые методы исследования строения упрочнённых слоёв после химико-термической обработки, такие как метод электрографии и метод количественного анализа электрографических изображений.

Уважаемые авторы и читатели журнала!

В соответствии с решением президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России журнал "Автоматизация и современные технологии" включён в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных степеней кандидата и доктора наук.