

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ
СОЮЗ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СВЯЗИ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

СТНО-2024

**VII МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ ФОРУМ**

Сборник трудов

Том 6

Рязань
2024

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5
С 568

Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2024 [текст]: сб. тр. VII международ. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.6./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2024.

ISBN 978-5-7722-0402-3

Т.6: – 256 с.,: ил.

ISBN 978-5-7722-0407-8

Сборник включает труды участников VII Международного научно-технического форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2024.

В сборнике освещаются вопросы математического моделирования, новых технологий в радиотехнике, телекоммуникациях, электротехнике и радиоэлектронике, вопросы полупроводниковой наноэлектроники, приборостроения, лазерной, микроволновой техники, силовой промышленной электроники, новые технологии в измерительной технике и системах, биомедицинских системах, алгоритмическое и программное обеспечение вычислительной техники, вычислительных сетей и комплексов, вопросы систем автоматизированного проектирования, обработки изображений и управления в технических системах, перспективные технологии в машиностроительном и нефтехимическом производствах, новые технологии и методики в высшем образовании, в т.ч. вопросы гуманитарной и физико-математической подготовки студентов, обучения их иностранным языкам, перспективные технологии электронного обучения, в том числе, дистанционного, вопросы экономики, управления предприятиями и персоналом, менеджмента, а также вопросы гуманитарной сферы.

Авторская позиция и стилистические особенности сохранены.

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5

ISBN 978-5-7722-0402-3

ISBN 978-5-7722-0407-8

© Рязанский государственный
радиотехнический университет, 2024

ИНФОРМАЦИЯ О VII МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2024

VII Международный научно-технический форум «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2024 состоялся 04.03.2024-06.03.2024 в г. Рязань в Рязанском государственном радиотехническом университете имени В.Ф. Уткина.

В рамках форума «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2024 состоялась работа четырех Международных научно-технических конференций:

«Современные технологии в науке и образовании. Радиотехника и электроника», секции

- Радиотехнические системы и устройства;
- Телекоммуникационные системы и устройства;
- Цифровые информационные технологии реального времени;
- Промышленная силовая электроника, электроэнергетика и электроснабжение;
- Физика полупроводников, микро- и наноэлектроника;
- Микроволновая, оптическая и квантовая электроника;
- Актуальные задачи химических технологий;

«Современные технологии в науке и образовании. Вычислительная техника и автоматизированные системы», секции

- Алгоритмическое и программное обеспечение вычислительных систем и сетей;
- ЭВМ и системы;
- Информационные технологии в конструировании электронных средств;
- Модели искусственного интеллекта в САПР;
- Информационные системы и защита информации;
- Математические методы в научных исследованиях;
- Обработка данных, изображений и управление в технических системах;
- Геоинформационные и космические технологии;
- Автоматизация производственно-технологических процессов в приборо- и машиностроении;

- Информационно-измерительные устройства и системы в технике и медицине;
- Стандартизация и управление качеством;
- Информационные системы и технологии;

«Современные технологии в науке и образовании. Экономика и управление», секции;

- Современные технологии государственного и муниципального управления;
- Экономика, менеджмент и организация производства;
- Бухгалтерский учет, анализ и аудит;
- Экономическая безопасность;
- Внешнеэкономическая деятельность;

«Современные технологии в науке и образовании. Новые технологии и методы в высшем образовании», секции

- Современные технологии электронного обучения;
- Иностранный язык в техническом вузе;
- Лингвистика и межкультурная коммуникация;
- Направления и формы гуманитаризации высшего образования и гуманитарная подготовка студентов;
- Методы преподавания и организация учебного процесса в вузе;
- Физико-математическая подготовка студентов;
- Вопросы воспитательной работы в высшей школе;
- Особенности военного образования на современном этапе.

Организационный комитет Форума:

Чиркин М.В., ректор, д.ф.-м.н., проф. – председатель

Гусев С.И., проректор по научной работе и инновациям, д.т.н., проф. – зам. председателя;

Корячко А.В., проректор по учебной работе, к.т.н., доц. – зам. председателя;

Миловзоров О.В., зам. начальника управления организации научных исследований, к.т.н, доц. – координатор, главный редактор сборника трудов Форума;

Мионов В.В., ответственный редактор сборника трудов Форума;

Устинова Л.С., начальник отдела информационного обеспечения – отв. за информационную поддержку;

члены оргкомитета:

Бабаян П.В., зав. кафедрой автоматике и информационных технологий в управлении, к.т.н., доц.;

Бухенский К.В., зав. кафедрой высшей математики, к.ф.-м.н., доц.;

Витязев В.В., зав. кафедрой телекоммуникаций и основ радиотехники, д.т.н., проф.;

Волченков В.А., доцент кафедры телекоммуникаций и основ радиотехники, к.т.н.;

Горлин О.А., доцент кафедры электронных приборов, к.т.н., доц.;

Губарев А.В., доцент кафедры информационно-измерительной и биомедицинской техники, к.т.н., доц.;

Дмитриев В.Т., зав. кафедрой радиоуправления и связи, д.т.н., доц.;

Дмитриева Т.А., доцент кафедры вычислительной и прикладной математики, к.т.н., доц.;

Евдокимова Е.Н., зав. кафедрой экономики, менеджмента и организации производства, д.э.н., проф.;

Еремеев В.В., директор НИИ «Фотон», д.т.н., проф.;

Есенина Н.Е., зав. кафедрой иностранных языков, к.п.н., доц.;

Жулев В.И., зав. кафедрой информационно-измерительной и биомедицинской техники, д.т.н., проф.;

Карпунина Е.В., доцент кафедры экономической безопасности, анализа и учета, к.э.н., доц.;

Кислицына Т.С., старший преподаватель кафедры радиотехнических систем;

Клейносова Н.П., директор центра дистанционного обучения, к.п.н., доц.;

Клочко В.К., профессор кафедры автоматике и информационных технологий в управлении, д.т.н., проф.;

Коваленко В.В., зав. кафедрой химической технологии, к.т.н., доц.;

Корячко В.П., зав. кафедрой систем автоматизированного проектирования вычислительных средств, д.т.н., проф.;

Костров Б.В., зав. кафедрой электронных вычислительных машин, д.т.н., проф.;

Кошелев В.И., зав. кафедрой радиотехнических систем, д.т.н., проф.;

Крошилина С.В., доцент кафедры вычислительной и прикладной математики, к.т.н., доц.;

Круглов С.А., зав. кафедрой промышленной электроники, д.т.н., доц.;

Кузьмин Ю.М., доцент кафедры информационной безопасности, к.т.н., доц.;

Куприна О.Г., доцент кафедры иностранных языков, к.филол.н., доц.;

Ленков М.В., декан факультета автоматике и информационных технологий в управлении, зав. кафедрой автоматизации информационных и технологических процессов, к.т.н., доц.

Литвинов В.Г., зав. кафедрой микро- и нанoeлектроники, д.ф.-м.н., доц.;

Лукьянова Г.С., доцент кафедры высшей математики, к.ф.-м.н., доц.;

Маметова Ю.Ф., доцент кафедры иностранных языков, к.п.н., доц.;

Мельник О.В., профессор кафедры информационно-измерительной и биомедицинской техники, д.т.н., доц.;

Меркулов Ю.А., старший преподаватель кафедры автоматизации информационных и технологических процессов;

Миронов В.В., старший преподаватель кафедры Воздушно-космических сил;

Митрошин А.А., доцент кафедры систем автоматизированного проектирования вычислительных средств, к.т.н., доц.;

Мишустин В.Г., доцент кафедры микро- и нанoeлектроники, к.ф.-м.н., доц.;

Никифоров М.Б., доцент кафедры электронных вычислительных машин, к.т.н., доц.;

Овечкин Г.В., зав. кафедрой вычислительной и прикладной математики, д.т.н., проф.;

Паршин А.Ю., доцент кафедры радиотехнических устройств, к.т.н., доц.;

Паршин Ю.Н., зав. кафедрой радиотехнических устройств, д.т.н., проф.;

Перфильев С.В., зав. кафедрой государственного, муниципального и корпоративного управления, д.э.н., проф.;

Подгорнова Н.А., доцент кафедры государственного, муниципального и корпоративного управления, к.э.н., доц.;

Пржегорлинский В.Н., зав. кафедрой информационной безопасности, к.т.н., доц.;

Пылькин А.Н., профессор кафедры вычислительной и прикладной математики, д.т.н., проф.;

Сапрыкин А.Н., доцент кафедры систем автоматизированного проектирования вычислительных средств, к.т.н., доц.;

Семенов А.Р., ст.преподаватель кафедры химической технологии, к.ф.-м.н.;

Серебряков А.Е., зам. зав. кафедрой электронных приборов, к.т.н.;

Скрипкина О.В. доцент кафедры экономической безопасности, анализа и учета, к.э.н., доц.;

Соколов А.С., зав. кафедрой истории, философии и права, д.и.н.;

Таганов А.И., профессор кафедры космических технологий, д.т.н., проф.;

Тарасова В.Ю., ассистент кафедры электронных вычислительных машин, магистр;

Харитонов А.Ю., нач. военного учебного центра, полковник, к.т.н., доц.;

Холопов С.И., зав. кафедрой автоматизированных систем управления, к.т.н., доц.;

Цыцына М.И., ассистент кафедры космических технологий, магистр;

Цветков А.А., проректор по молодежной политике;

Чеглакова С.Г., зав. кафедрой экономической безопасности, анализа и учета, д.э.н., проф.;

Челебаев С.В., доцент кафедры автоматизированных систем управления, к.т.н., доц.;

Щевьев А.И., доцент кафедры истории, философии и права, к.п.н., доц..

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ»

СЕКЦИЯ «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

УДК.621.372.8.049.75

АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ МИКРОВОЛНОВЫХ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ МЕТОДОМ ПАУЭЛЛА

Е.П. Васильев, Д.Х. Нгуен

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, evasiliev48@mail.ru*

Аннотация. Статья посвящена алгоритму оптимизации микроволновых переключателей с использованием метода Пауэлла. В ней описывается применение современных алгоритмических подходов для эффективного поиска оптимальных параметров в сложных радиотехнических системах. Основное внимание уделено методу Пауэлла, дополненному процедурой поиска линейного минимума через квадратичную аппроксимацию, что позволяет существенно сократить число итераций и улучшить качество оптимизации. Результаты исследования подтверждаются машинными экспериментами, демонстрируя высокую эффективность предложенного подхода.

Ключевые слова: алгоритм Пауэлла, оптимизация микроволновых переключателей, квадратичная аппроксимация, эффективность оптимизации.

MICROWAVE SWITCH OPTIMIZATION ALGORITHM USING THE POWELL METHOD

E.P. Vasiliev, D.H. Nguyen

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, evasiliev48@mail.ru*

The summary. The article is dedicated to the Powell optimization algorithm for microwave switches, emphasizing the application of modern algorithmic approaches for efficiently finding optimal parameters in complex radio-engineering systems. It focuses on the Powell method, enhanced by a linear minimum search procedure through quadratic approximation, significantly reducing iteration numbers and improving optimization quality. The research outcomes, confirmed by computational experiments, demonstrate the high efficiency of this approach.

Keywords: Powell algorithm, microwave switches optimization, quadratic approximation, optimization efficiency.

В современной радиотехнике актуальной задачей является повышение эффективности микроволновых устройств, в том числе переключателей [1-3]. Одним из перспективных методов оптимизации является метод Пауэлла, позволяющий находить оптимальные параметры системы с высокой точностью и в короткие сроки. Рассмотрим алгоритмическую реализацию блока оптимизации (рис. 1). Использование метода Пауэлла совместно с процедурой поиска линейного минимума методом квадратичной аппроксимации позволяет наиболее эффективно оптимизировать микроволновые переключатели, причем метод квадратичной аппроксимации значительно сокращает число итераций.

Метод среднеквадратической аппроксимации

В разработанных программах метод среднеквадратической аппроксимации реализован в виде процедуры *search*. Блок-схема метода с учетом его программной реализации представлена на рисунке 1.

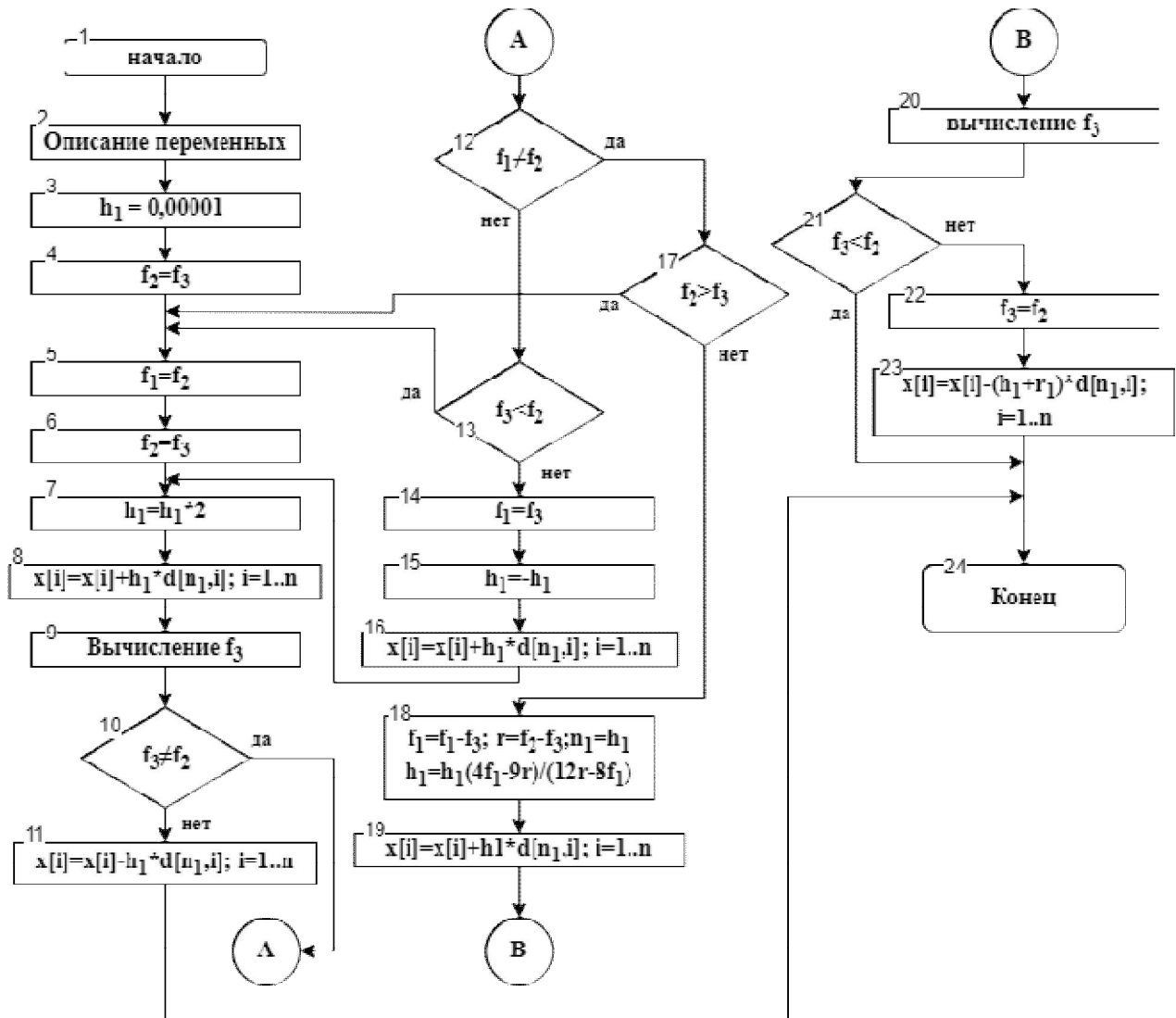


Рис. 1. Блок-схема алгоритма метода среднеквадратической аппроксимации

На блок-схеме:

h_1 – величина шага;

f_3 – текущее значение целевой функции;

$x[i]$ – массив, содержащий оптимизируемые переменные;

i, n – порядковый номер и количество оптимизируемых переменных соответственно;

$d[n_1, i]$ – двумерный массив, который представляет собой систему направлений поиска (он необходим для того, чтобы оптимизация шла строго в заданных направлениях, данный массив формируется в блоке Пауэлла).

Целевую функцию для микроволновых переключателей можно представить как:

$$F = \sum_{i=1}^p \left\{ a_i Y_1^+(f_i) + b_i [\Delta_Y - Y_1^-(f_i)]^2 + c_i [Y_2^+(f_i) - 1]^2 + d_i [Y_2^-(f_i) - 1]^2 \right\}, \quad (1)$$

где $Y_1^+(f_i), Y_1^-(f_i)$ – функции рабочего затухания в режиме пропускания и запираения соответственно;

$Y_2^+(f_i), Y_2^-(f_i)$ – функции коэффициентов стоячей волны в режиме пропускания и запираения соответственно;

a_i, b_i, c_i, d_i – весовые коэффициенты;

Δ_y – величина заведомо большая $Y_1^-(f_i)$.

Рассмотрим по блок-схеме действие алгоритма. В интерактивном режиме устанавливается величина шага $h_1 = 0,00001$ (блок 3) из компромиссных соображений. После того как переменным присваивается значение функции цели в блоках 5 и 6, происходит удвоение величины шага (блок 7) и значение оптимизируемой переменной увеличивается на величину шага $x[i] = x[i] + h_1 \cdot d[n_1, i]$ (блок 8). Затем вычисляется f_3 , проверяется условие $f_3 \neq f_2$ (блок 10). Если $f_2 = f_3$, т.е. функция не изменяется (рис. 2, а), то делаем шаг назад (блок 11) и переходим в конец программы (блок 24), в противном случае переходим к условию $f_1 \neq f_2$. При первом шаге это условие не будет выполнено, поэтому переходим к следующему условию $f_3 < f_2$ (блок 13).

Если при первом же шаге $f_3 > f_2$, изменяем направление шага (блок 15), возвращаемся в исходную точку (блок 16), переходим к началу программы (блок 7) и далее будем двигаться в противоположном направлении. Если $f_3 < f_2$ – возвращаемся к началу блок-схемы к блоку 5 $f_1 = f_2$ и продолжаем цикл, удваивая шаг (блок 7), пока не окажется $f_3 > f_2$.

После чего мы запоминаем это значение функции цели $f_1 = f_3$, а в блоке 15 меняется направление шага на противоположное $h_1 = -h_1$. Делается шаг в блоке 16, в результате чего возвращаемся к точке, где функция цели равна f_2 . Далее переходим к началу программы к блоку 7, делается шаг (рис. 2а), вычисляется в блоке 9 f_3 . Результат этих действий изображен на рисунке 2б, где приведены графики функции цели (—) и аппроксимирующего полинома (---).

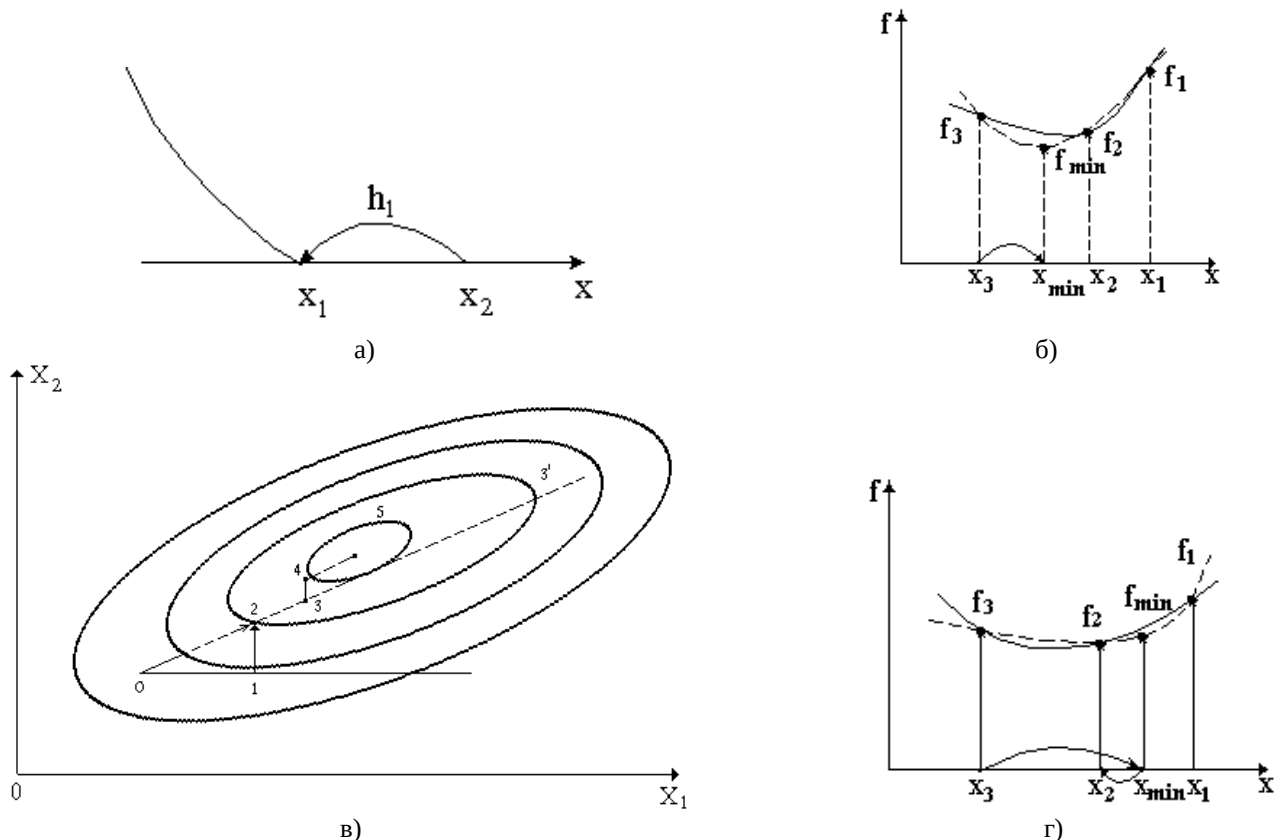


Рис. 2. Реализация метода Пауэлла с встроенной процедурой search

Теперь, когда подойдем к условию $f_1 \neq f_2$ (блок 12), оно будет выполнено, после чего переходим к условию $f_2 > f_3$ (блок 17). Если оно выполняется, то возвращаемся в начало алгоритма к блоку 5 $f_1 = f_2$. Если $f_3 > f_2$ (блок 17), то, используя значения f_1, f_2, f_3 , вычислим величину шага, $h_1 = \frac{h_{1(стар)} \cdot [4(f_1 - f_3) - 9(f_2 - f_3)]}{[12(f_2 - f_3) - 8(f_1 - f_3)]}$ (где $h_{1(стар)}$ – предыдущее значение шага), который из точки x_3 приведет в точку min минимума целевой функции. Далее вычислим функцию цели и проверим условие $f_3 < f_2$ (блок 21). Если оно выполняется, т.е. $f_{\min} > f_2$ (см. рис. 2в,г), то конец. Если не выполняется, т.е. $f_{\min} < f_2$, то функции цели в блоке 22 присвоить значение f_2 ($f_3 = f_2$) и в качестве точки минимума в блоке 23 выберем точку x_2 .

Метод Пауэлла

Метод Пауэлла основан на поиске минимума целевой функции вдоль так называемых сопряженных направлений. Направления поиска \bar{S}_j и \bar{S}_i называются сопряженными, если $(S_j)^T Q S_i = 0, i \neq j; (S_j)^T Q S_i \geq 0, i = j$, где $Q = \nabla^2 f(\bar{x})$ – положительно определенная квадратная матрица; \bar{x} – вектор переменных.

Примером матрицы Q может служить матрица Гессе целевой функции $f(\bar{x})$. Сопряженность – понятие, для частных случаев, аналогичное ортогональности.

Если метод минимизации всегда позволяет определить минимум общей квадратичной функции за определенное ограниченное число операций, и если предельное число операций непосредственно зависит от числа переменных n , то такой метод называют квадратично сходящимся. Если квадратичная функция $f(\bar{x}) = \bar{x}' Q \bar{x} + b' \bar{x} + c$ (где b, c – матрицы коэффициентов) минимизируется последовательно вдоль каждого направления из множества n линейно-независимых Q -сопряженных направлений, то глобальный минимум $f(\bar{x}_{\min})$ находится не более чем за n шагов, отсчитанных от начальной точки.

Рассмотрим действие метода Пауэлла на примере отыскания минимума произвольной двухмерной целевой функции (рис. 2). Сначала минимизация целевой функции идет вдоль системы координат. Из произвольно выбранной начальной точки 0 делаем проходы до точек 1 и 2. Новое направление совпадает со смещением из начальной точки 0 в конечную точку 2. Пауэлл доказал, что это направление будет сопряжено с направлениями 0-1 и 1-2. Делаем проход по новому направлению до точки 3. В точке 3 заканчивается цикл прохода по направлениям и строится новая система направлений. При этом из предыдущей системы исключается то направление, спуск по которому приводит к наибольшему снижению функции цели Δ_{\max} (в примере направление 0-1). В систему вводится новое направление 0-3, причем оно в системе направлений ставится на последнее место. Система направлений представляется в виде матрицы, столбцы или строки которой являются направлениями поиска (в программах это массив d).

Следует отметить, что замена направлений может привести к вырождению системы направлений, т.е. появлению коллинеарных направлений (параллельных). Для проверки вырождения проводится дополнительное вычисление функции цели в конце цикла. Делается дополнительный шаг величиной $(x_n - x_0)$ (в нашем случае (3-0)), соответствующий полному перемещению на данном этапе и приводящий в точку $(2x_n - x_0)$ (в нашем случае это точка 3'). Обозначим f_1 – функция цели в начальной точке итерации (точке 0), f_2 – функция цели в ко-

нечной точке (точке 3), f_3 – функция цели в точке отступления (точке 3'). Замена направлений не производится, на следующей итерации используется та же система направлений, если выполняется одно из условий вырождения:

$$f_3 \geq f_1; 2(f_1 - 2f_2 + f_3) \left[\frac{(f_1 - f_2 - \Delta_{max})}{(f_1 - f_3)} \right]^2 \geq \Delta_{max}, \tag{2}$$

где Δ_{max} – наибольшее снижение функции цели.

В программах блок оптимизации по методу Пауэлла реализован в виде процедуры rowell. Блок-схема алгоритма приведена на рисунке 3.

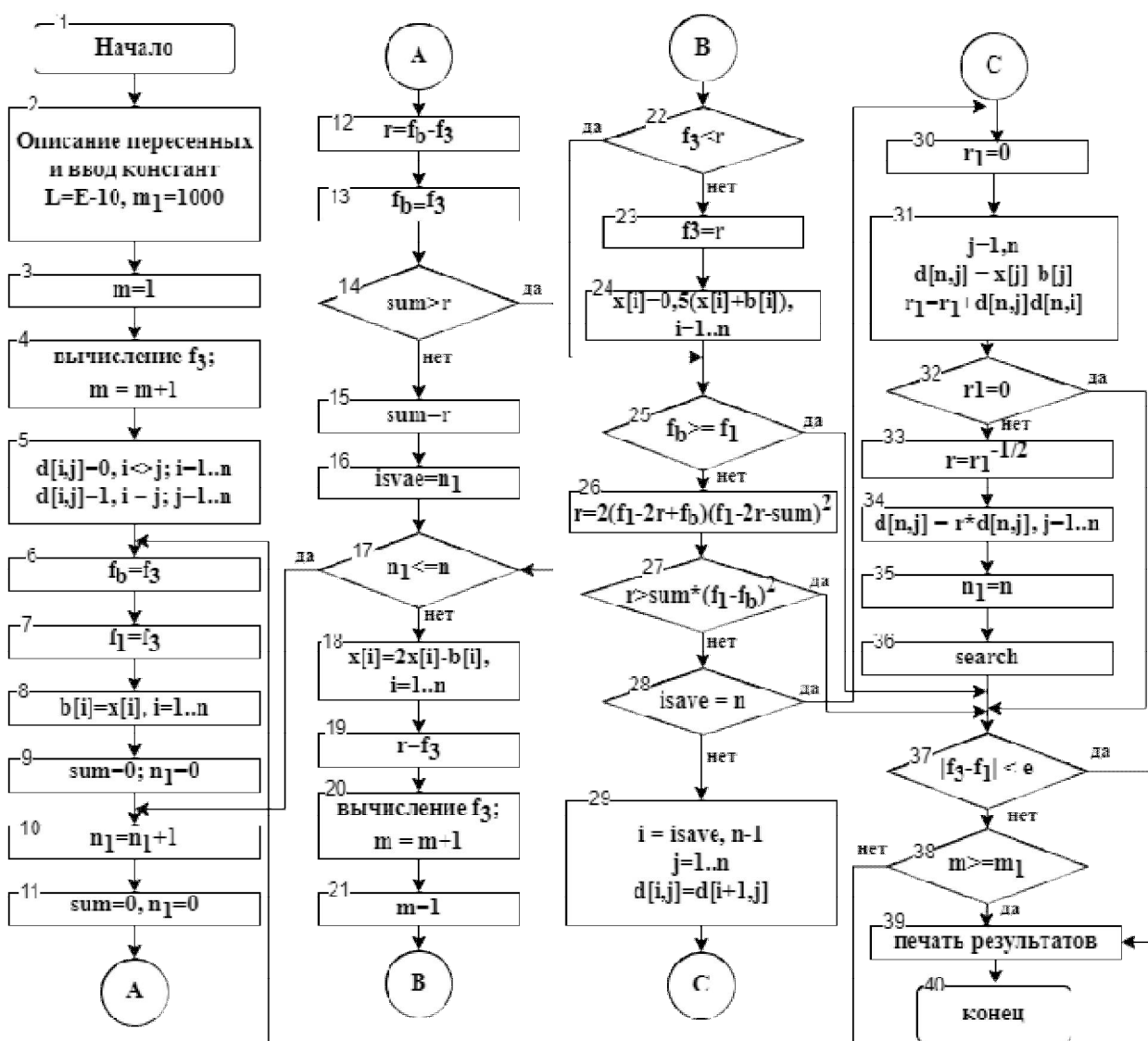


Рис. 3. Блок-схема метода Пауэлла

В алгоритме использованы следующие переменные:

m – количество вычислений функции цели;

m_1 – максимально допустимое количество вычислений функции цели;

ϵ – точность;

$d[i, j]$ – двумерный массив направлений поиска;

n – количество оптимизируемых параметров;

f_3 – текущее значение функции цели;

f_b, f_1 – вспомогательные переменные для запоминания значений функций цели на различных этапах;

$b[i]$ – массив для запоминания значений оптимизируемых переменных;

n_1 – номер в массиве направлений поиска для обеспечения одномерного поиска в заданном направлении;

sum – максимальное из всех направлений изменения функции цели;

$isave$ – номер направления, соответствующий максимальному изменению функции цели;

r, r_1 – вспомогательные переменные, используемые для запоминания различных текущих значений.

Рассмотрим работу алгоритма Пауэлла. После описания переменных и определения констант в блоке 3 присвоим $m=1$ и вычислим f_3 (блок 4). Затем в блоке 5 формируется направления поиска. Делается так, чтобы в массиве направлений поиска d элементы вдоль главной диагонали были равны 1, а остальные элементы равны 0. Таким образом направления поиска будут совпадать с координатными осями. В блоках 6 и 7 запоминаются значения функции цели: $f_b = f_3, f_1 = f_3$; запоминаются значения оптимизируемых переменных $b[i]=x[i]$ (блок 8). С помощью ряда блоков, начиная с $sum=0, n_1=0$ (блок 9) и кончая $n_1 \leq n$ (блок 17) выполняются следующие действия: минимизация целевой функции по заданным направлениям, вычисление максимального изменения целевой функции по направлениям (переменная sum), с помощью переменной $isave$ запоминается номер направления, соответствующий максимальному изменению целевой функции. Переменная r здесь используется для вычисления текущего изменения функции по направлению. Направления выбираются в соответствии с переменной n_1 . Массив d построен таким образом, что минимизация функции цели идет строго по заданным направлениям. Далее вычисляются в блоке 18 координаты дополнительной точки (точки отступления) $x[i]=2x[i]-b[i]$ (точка 3' на рис.2.). Запоминается старое значение функции цели $r = f_3$, в блоке 20 вычисляется значение f_3 в точке отступления и запоминается $f_b = f_3$ в блоке 21. Затем сравниваются значения целевой функции в старой точке и точке отступления $f_3 < r$ (блок 22). Если условие не выполняется, то возвращаются в блоке 23 к старой точке $f_3 = r; x[i] = 0.5(x[i] + b[i])$ (блок 24). Если условие выполняется, то дальнейший поиск минимума проводится из точки отступления. Затем проверяем условия замены направлений: $f_b = f_1$ (блок 25); $r = (2f_1 - r + f_e)(f_1 - r - sum)$ (блок 26); $r > sum(f_1 - f_b)$ (блок 27). Если условия выполняются, то замена направлений не производится и переходят в блоке 37 к проверке точности $||f_3 - f_1| < e|$. Если условие не выполняется, то производим замену направлений. Если направление, соответствующее максимальному изменению функции не является последним в системе направлений, т.е. в блоке 28 $isave <> n$, то из системы направлений это направление исключается: $i = isave i, n-1; j = 1, n; d[i, j] = d[i+1, j]$ (блок 29), а уже новое рассчитанное направление ставится на последнее место в системе направлений. Производится расчет нового сопряженного направления: $r_1 = 0$ (блок 30); $d[n, j] = x[j] - b[j]; r_1 = r_1 + d[n, j]d[n, j]$ (блок 31); $r = r_1^{-1/2}$ (блок

33); $d[n, j] = rd[n, j]$ (для $j=1..n$) (блок 34). Таким образом мы получили новое сопряженное направление $d[n, j]$, $j = 1..n$, которое стоит последним в системе направлений. Следует отметить, что если по каким-либо причинам получится $r=0$, то во избежание деления на ноль производится сразу переход к проверке условия точности (в блоке 32). Далее принимая $n_1 = n$ (блок 35), производится в блоке 36 одномерный поиск по новому направлению $-search$. После этого в блоке 37 проверяется условие обеспечения заданной точности $|f_3 - f_1| < e$ и если оно выполняется, то печать результатов. Если условие не выполнено, то переходят в блоке 38 к следующему условию $m \geq m_1$. Это условие введено на случай, если заданной точности достичь невозможно. Когда количество вычислений функции цели m станет равным m_1 , произойдет остановка вычисления. Если точность не достигается и $m < m_1$, то происходит возврат в начало программы и поиск минимума целевой функции продолжается.

Заключение

Предложенный алгоритм оптимизации микроволновых переключателей с использованием метода Пауэлла является определенным шагом в области радиотехники и микроволновой инженерии. Этот метод обеспечивает высокую точность оптимизации, сокращает время на разработку и испытания устройств, а также открывает новые возможности для создания более сложных и эффективных систем [4-6]. В целом, использование алгоритма Пауэлла в процессе оптимизации микроволновых переключателей способствует повышению качества и надежности разрабатываемых устройств, что является ключевым фактором в современном высокотехнологичном производстве.

Библиографический список

1. Васильев Е.П., Кравченко М.А. Автоматизация проектирования микроэлектронных устройств аэрокосмической техники // МНТК К.Э. Циолковский -140 лет со дня рождения. Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика. Тезисы докладов. Рязань 15-18 сентября 1997. С. 114-117._177
2. Vasilev E.P., Sevostjnov V.A. Automation structurally-technological designing of planar managing microwave devises // Proceedings of 8th International Crimean microwave conference CriMiCo'98. 14-17 September 1998, Sevastopol, Crimea, Ukraina. V. 1. P. 400-403._192
3. Гупта К., Гардж Р., Чадха Р. Машинное проектирование СВЧ устройств / Пер. с англ. С.Д. Бородецкой. Под ред. В.Г. Шейнкмана. М.: Радио и связь, 1987. 428 с._42
4. Васильев Е.П. Конструктивные типы, схемотехнические варианты коммутации и функциональное моделирование фильтров на связанных линиях. Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. Информационные технологии. №6. 1999. С. 52-63.
5. Васильев Е.П. Моделирование микроволновых многоканальных переключателей // Вестник Рязан. гос. радиотех. университета. №73. 2020. С. 26-36.
6. Васильев Е.П., Нгуен Данг Хоп, Лыу Тхань Дат. Полосовой фильтр на связанных микрополосковых линиях с двумя секторными резонаторами // Вестник Рязан. гос. радиотех. университета. №75. 2021. С. 15-23.

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

В.А. Овчинников, В.А. Ушенкин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, busingson@yandex.ru*

Аннотация. В работе представлен обзор разработки кроссплатформенной библиотеки выполнения сверточных нейронных сетей. Проанализированы особенности архитектуры разрабатываемой нейронной сети, представлен ряд экспортируемых функций для взаимодействия с пользователем. Рассмотрены реализованные слои, операции и активационные функции. Продемонстрирована интеграция библиотеки в платформу «ErSet» НИИ «Фотон» РГРТУ и результат работы библиотеки на примере сегментации облачности на спутниковом изображении с помощью нейросетевой модели «CloudNet+». В дальнейших работах планируется распараллеливание вычислений и переход на обработку на графическом процессоре с использованием технологии CUDA для ускорения процесса обработки изображений.

Ключевые слова: сверточные нейронные сети, разработка dll-библиотеки, обработка спутниковых изображений.

NEURAL NETWORK COMPUTING SOFTWARE WHEN PROCESSING SATELLITE DATA

V.A. Ovchinnikov, V.A. Ushenkin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, busingson@yandex.ru*

The summary. The paper provides an overview of the development of a cross-platform library for executing convolutional neural networks. The features of the architecture of the neural network being developed are analyzed, and a number of exported functions for user interaction are presented. Implemented layers, operations and activation functions are considered. The integration of the library into the ErSet platform of the RGRTU Photon Research Institute and the result of the library's work are demonstrated using the example of cloud segmentation on a satellite image using the CloudNet+ neural network model. In further work, it is planned to parallelize calculations and switch to processing on a GPU using CUDA technology to speed up the image processing process.

Keywords: convolutional neural networks, dll library development, satellite image processing.

В настоящее время наблюдается стремительный рост научного интереса к применению искусственных нейронных сетей, которые активно внедряются в широкий спектр областей, включая, обработку изображений, распознавание речи, анализ текстов, рекомендательные системы и автономную навигацию и другие. В данном контексте выделяется класс нейронных сетей, известный как сверточные нейронные сети (Convolutional Neural Networks, CNN) [1], специально разработанный для эффективной обработки и анализа данных с пространственной структурой, таких как изображения и видео. CNN представляют собой мощный инструмент для автоматического извлечения признаков из визуальных данных и широко применяются в различных задачах компьютерного зрения, включая обнаружение и классификацию объектов, сегментацию изображений и другие [2].

Исходя из потребности в импортозамещении, возникает необходимость в разработке собственных библиотек выполнения нейронных сетей. Это обусловлено тем, что широко используемые библиотеки, такие как «TensorFlow», «Keras», «PyTorch», «Caffe», «MATLAB» и другие, хотя и предоставляют обширные функциональные возможности, зачастую обладают значительным объёмом зависимостей. В связи с этим актуально создание простой и легкой кроссплатформенной библиотеки выполнения сверточных нейронных сетей.

Разработка формата представления нейронной сети и реализация основных операций

Нейронную сеть предлагается представлять в виде ориентированного вычислительно-го графа, узлами которого являются нейросетевые слои. Каждый слой обладает уникальным идентификатором. Взаимосвязи между слоями представлены ребрами графа: каждый слой сохраняет ссылки на входные для него слои, обеспечивая поток данных в нейронной сети.

Формат бинарного файла (рисунок 1), используемый для записи нейронной сети, описывается следующим образом: в начале указывается количество слоев, составляющих нейронную сеть. Затем для каждого слоя предоставляется информация о его типе, размерах обрабатываемого участка изображения (ширина, высота, число каналов), а также о параметрах и весах слоя. Кроме того, в файле указывается количество входных слоев для каждого слоя и их индексы в сети.

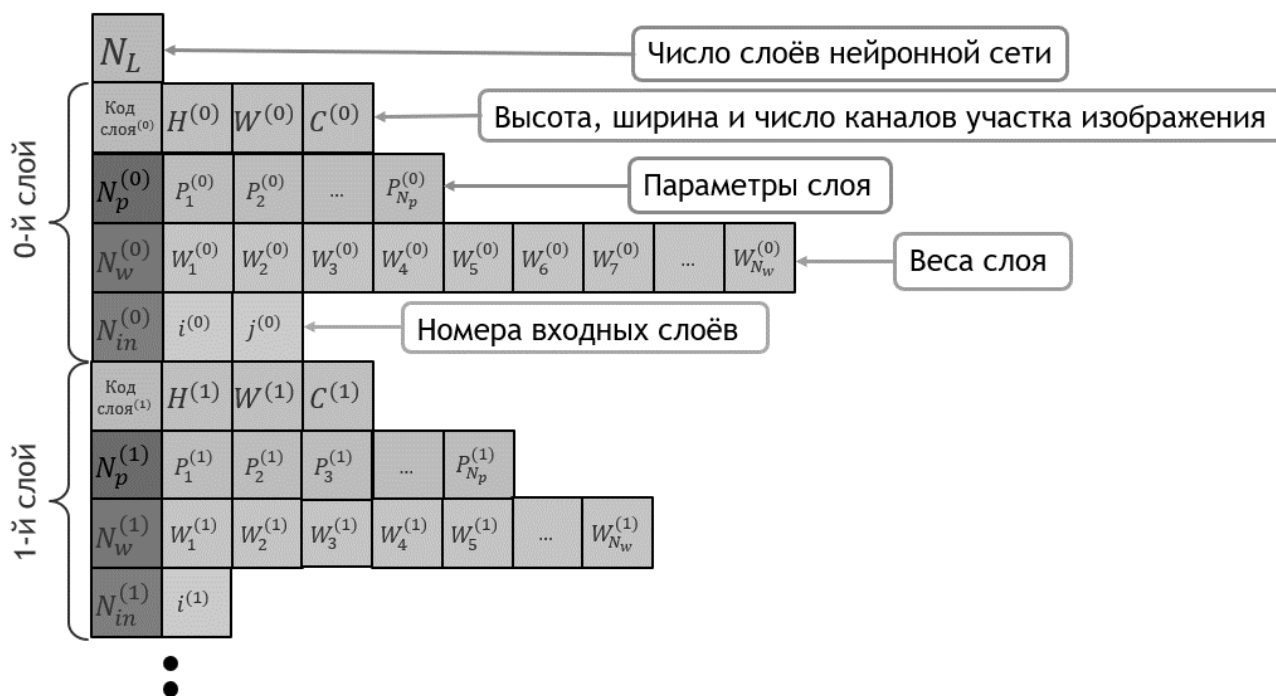


Рис. 1. Архитектура файла нейронной сети

В рамках динамически загружаемой библиотеки выполнения свёрточных нейронных сетей разработан ряд экспортируемых функций:

- функция «OpenModel» – предоставляет интерфейс для открытия и загрузки модели нейронной сети из внешнего файла для использования предварительно обученных моделей;
- функция «GetInput» – предоставляет пользователю указатель на массив входных данных входного слоя нейронной сети для его заполнения перед непосредственным выполнением нейросетевых расчётов;
- функция «Calculate» – выполняет нейросетевые расчёты;
- функция «GetOutput» – возвращает указатель на массив выходных данных, полученных в результате выполнения вычислений нейронной сети;
- функция «Reset» – позволяет сбросить флаги готовности слоев нейронной сети, указывающие на то, что выходные данные слоя были рассчитаны, что может быть полезно в ситуациях, требующих повторного использования сети для обработки новых данных;
- функция «Summary» – предоставляет отладочную информацию о конфигурации нейронной сети, приводит пользователю сводную информацию о структуре и параметрах;

– функция «Deinit» – предоставляет возможность корректно деинициализировать нейронную сеть и освободить выделенную для нее память.

Обход слоёв нейронной сети при вызове функции «Calculate» осуществляется рекурсивно: каждый слой имеет флаг «outputReady», который сигнализирует о том, рассчитан ли вывод данного слоя. Если значение данного флага отрицательно, то опрашивается предыдущий слой, и так далее до входного или рассчитанного слоя нейронной сети. Такая конфигурация позволяет обходить нейросетевые модели любой сложности и связности, не рассчитывать уже вычисленные слои повторно, что сокращает время работы, а также производить отладку отдельных сегментов сети, без вычисления всей нейронной сети целиком.

В рамках разработки были реализованы более 20 типов слоев, операций и активационных функций, активно применяемых в нейросетевых вычислениях при обработке спутниковых изображений, среди которых свёрточные слои – «Conv2D» и «Conv2DTranspose» – реализующие операции свёртки входных данных с использованием фильтров и обратной свёртки, увеличивающей размерность входных данных, соответственно; слои пулинга – «MaxPooling2D» и «AveragePooling2D», выполняющие операции субдискретизации; слои пакетной нормализации, масштабирования и интерполяции.

Операция свёртки в слое «Conv2D» выполняется следующим образом:

$$Y_{n,k,p,q} = \sum_c \sum_r \sum_s X_{n,c,p+r,q+s} \cdot W_{k,c,r,s} + B_k,$$

где:

X и Y – четырёхмерные тензоры входных и выходных данных;

W – тензор весов свёртки;

B – тензор свободных членов;

n – размер обрабатываемого пакета;

p, q – высота, ширина и число каналов входного изображения;

r, s – высота и ширина фильтра;

c, k – число входных и выходных каналов.

Операция «MaxPooling2D» выполняется следующим образом:

$$Y_{n,p,q,k} = \max_{i=0}^r \max_{j=0}^s X_{n,p+i,q+j,k},$$

где:

X и Y – тензоры входных и выходных данных;

n – размер пакета;

p, q и k – высота, ширина и число каналов изображения;

r, s – размеры скользящего окна пулинга.

Обработка спутниковых изображений

Разработанная dll-библиотека успешно интегрирована в универсальную платформу быстрой разработки приложений для обработки данных дистанционного зондирования Земли «ER-Set», применяемую в НИИ «Фотон» РГРТУ, путём вызова в модуле нейросетевой обработки аналогично библиотеке «TensorFlow». На рисунке 2 приведён результат сегментации облачности на фрагменте спутникового изображения с помощью нейросетевой модели «CloudNet+» [3].

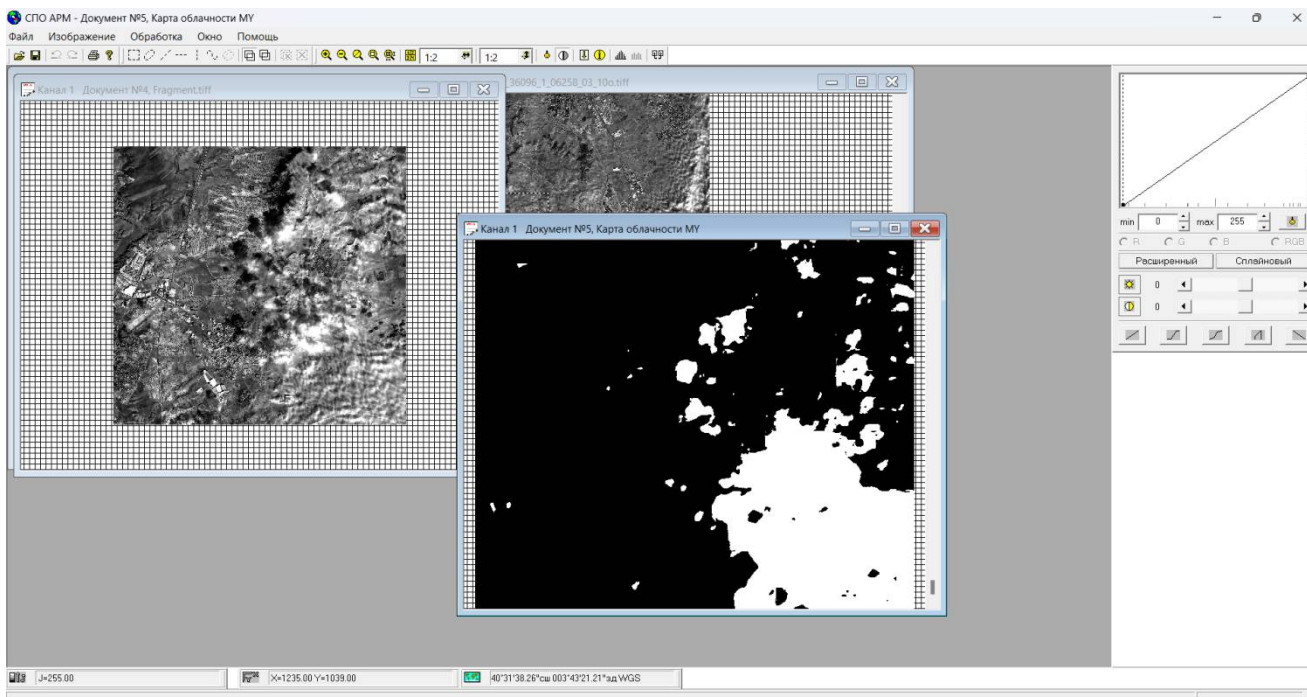


Рис. 2. Результат нейросетевой обработки спутникового изображения

В настоящий момент библиотека производит вычисления на центральном процессоре. Дальнейшие направления разработки предполагают распараллеливание вычислений и переход на обработку на графическом процессоре с использованием технологии CUDA, что многократно ускорит вычисления.

Библиографический список

1. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение / пер. с англ. А.А. Слинкина. – 2-е изд., испр. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с.: цв. ил.
2. Геоинформатика. Обработка аэрокосмических изображений Земли: учебное пособие / под ред. В.В. Еремеева. - Москва: КУРС, 2021. – 312 с.
3. Москвитин А.Э., Ушенкин В.А., Ларюков С.А. Алгоритм и программный комплекс высокоскоростной нейросетевой сегментации облачности на панхроматических изображениях от космических аппаратов «Ресурс-П» // Цифровая обработка сигналов, 2023. №3. С. 8-17.

УДК 004.94; ГРНТИ 50.53

ОПТИМИЗАЦИЯ НАДЕЖНОСТИ АЛГОРИТМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А.А. Кокунов, А.И. Таганов

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, kaab2r@gmail.com

Аннотация. В работе рассматриваются методологические вопросы анализа методов оптимизации надежности и моделей алгоритмических процессов на этапе системного проектирования информационных систем. Формализована задача многокритериальной оптимизации надежности алгоритмического процесса. Анализируются методы условной оптимизации и целевого программирования для скаляризации многокритериальной оптимизации информационных и иных систем представленных в виде алгоритмических процессов.

Ключевые слова: информационная система, алгоритмический процесс, модели алгоритмических процессов, типовая структура, оператор алгоритмического процесса, оптимизация надежности алгоритмического процесса.

OPTIMIZING THE RELIABILITY OF ALGORITHMIC PROCESSES

A.A. Kokunov, A.I. Taganov

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, kaab62r@gmail.com

The summary. The paper discusses methodological issues in the analysis of reliability optimization methods and models of algorithmic processes at the stage of system design of information systems. The problem of multicriteria optimization of the reliability of an algorithmic process is formalized. Methods of conditional optimization and goal programming for scalarization of multicriteria optimization of information and other systems presented in the form of algorithmic processes are analyzed.

Keywords: information system, algorithmic process, models of algorithmic processes, standard structure, operator of an algorithmic process, optimization of the reliability of an algorithmic process.

Одной из важных задач современного производства является анализ проектируемых информационных систем, технологических процессов производства, этапов и процессов выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в части их надежности. В актуальных на сегодня работах функционирование систем такого рода, т.е. систем с дискретным поведением рассматривается с помощью представления их структуры и поведения в виде алгоритмического процесса (АП) [1-6]. Переход от теоретического описания системы к ее математической модели сформированной для оптимизации надежности осуществляется путем решения следующих важных задач [1, 2, 4]:

- переход от алгоритмического к вероятностному описанию АП, в частности переход от описания оператора к его модели надежности;
- представление наиболее часто встречающихся комбинаций операторов в виде типовых структур и получение эквивалентных характеристик для них.

Реализация решения данных задач рассмотрена в работах [1-4]. Результатом их решения будет являться матрица надежности АП, что открывает возможность оптимизации АП по показателям надежности [1, 4, 6, 7].

Критерии в задачах оптимизации надежности АП

Оптимизация надежности АП включает в себя приведение в оптимальные рамки всех его основных характеристик [4, 6]:

- матрицы модели надежности P (т.е. p^1 – вероятности безошибочного выполнения АП и $p^0, i = \overline{1, m}$ – вероятности ошибки i -го вида в результате выполнения АП);
- времени выполнения АП – T ;
- стоимости выполнения АП – C .

Если в АП имеется возможность прерываний, то может вводиться показатель I – вероятность прерывания АП. Примером таких условий могут быть восстанавливаемые системы, которые могут быть восстановлены после сбоя или в системах с жестким ограничением ресурсов.

При проектировании и анализе масштабных систем возникает проблема нецелесообразности или даже невозможности проверки каждой операции в виду их большого количества. В таком случае вводится параметр S – количество контрольных (контрольно-доработочных) процедур, который в общем случае должен стремиться к минимуму при сохранении остальных характеристик в требуемых рамках.

Многокритериальная оптимизация АП

Оптимизацию надежности АП по рассмотренным выше критериям можно сформулировать как задачу векторной оптимизации. В общем виде она будет представлять подбор некоторого вектора управляемых переменных X , для которого:

$$\left\{ \begin{array}{l} p^1(X) \rightarrow \max; \\ p^{0_i}(X) \rightarrow \min, i = \overline{1, m}; \\ T(X) \rightarrow \min; \\ C(X) \rightarrow \min; \\ I(X) \rightarrow \min; \\ S(X) \rightarrow \min. \end{array} \right.$$

Решения данной системы образуют множество Парето большой мощности, поэтому чтобы не анализировать каждую альтернативу будет целесообразно свести эту задачу к скалярному виду и использовать хорошо проработанные методы поиска экстремумов. Примером может служить оптимизация на основе минимизации средних стоимостных или временных затрат на основе функции риска.

Использование функции риска

В общем случае задачу оптимизации АП можно свести к минимизации суммы затрат на выполнение АП и будущих эксплуатационных затрат, которые зависят от выполнения АП:

$$C(X) + C_e(X) \rightarrow \min,$$

где $C_e(X)$ – будущие эксплуатационные затраты (риски), которые зависят от результата выполнения АП X .

Эксплуатационные затраты по завершению работы системы связаны с вероятностями ошибок на выходе алгоритмического процесса. Так как мы рассматриваем наличие ошибок разных типов на выходе АП, то расчет эксплуатационных затрат будет иметь следующий вид:

$$C_e(X) = \sum_{i=1}^n p^{0_i} \cdot C_i,$$

где C_i – будущие эксплуатационные затраты, при условии наличия на выходе АП ошибки i -го типа ($i = \overline{1, n}$).

Аналогичный подход можем использовать для минимизации суммарных временных затрат, тогда выражение примет вид:

$$T(X) + \sum_{i=1}^n p^{0_i} \cdot T_i \rightarrow \min,$$

где T_i – будущие временные затраты, при условии наличия на выходе АП ошибки i -го типа ($i = \overline{1, n}$).

Применение данного подхода имеет недостатки:

- учет либо только стоимостных затрат либо только временных;
- не учтены показатели I и S .

Следовательно практическое использование данного подхода для скаляризации при оптимизации надежности АП является очень ситуативным.

Применение целевого программирования

В нашем случае целью оптимизации будет являться приведение основных показателей $(p^1, p^{0_i}, T, C, I, S)$ к некоторому эталонному виду $(\dot{p}^1, \dot{p}^{0_i}, \dot{T}, \dot{C}, \dot{I}, \dot{S})$. Далее обозначим через d_K^-, d_K^+ штраф за отклонение на единицу текущего значения параметра $K \in \{p^1, p^{0_i}, T, C, I, S\}$ от эталонного $\dot{K} \in \{\dot{p}^1, \dot{p}^{0_i}, \dot{T}, \dot{C}, \dot{I}, \dot{S}\}$ в меньшую или большую сторону соответственно. Непосредственно значения отклонения обозначим как Δ_K^-, Δ_K^+ аналогично штрафу за него в меньшую и большую сторону соответственно. Значение $\Delta_K^- = \dot{K} - K(X)$ при $\dot{K} - K(X) > 0$ и равно нулю в ином случае. Значение $\Delta_K^+ = K(X) - \dot{K}$ при $K(X) - \dot{K} > 0$ и равно нулю в ином случае.

Тогда можем выразить отклонение от некоторой поставленной цели текущего вектора управляемых переменных X :

$$\Delta(X) = \sum_K d_K^- \cdot \Delta_K^- + \sum_K d_K^+ \cdot \Delta_K^+ \rightarrow \min$$

Таким образом, для критериев, которые необходимо максимизировать значения штрафов будут иметь следующий вид $d_K^- > 0, d_K^+ \leq 0$, при этом $|d_K^+|$ можно рассматривать как премию за превышение текущего эталонного значения. Для минимизации критерия – $d_K^- \leq 0, d_K^+ > 0$, а премией за недобор до текущего эталона будет $|d_K^-|$.

Учитывая количество рассматриваемых критериев, существует $2^6 = 64$ варианта постановки задачи. Но так как для оптимизации АП необходимо учесть как минимум один из вероятностных критериев (p^1, p^{0_i}) и один из ресурсных (T, C, S) , то возникают 22 некорректные комбинации (см. таблица 1) и количество допустимых комбинаций – 42.

Таблица 1. Некорректные варианты учета критериев оптимизации АП

Критерии						Всего комбинаций
p^1	p^{0_i}	T	C	I	S	
-	-	\pm	\pm	\pm	\pm	16
+	+	-	-	\pm	-	2
+	-	-	-	\pm	-	2
-	+	-	-	\pm	-	2

Применение условной оптимизации

В основе условной оптимизации будет выбор одного из критериев p^1, p^{0_i}, T, C, I, S как основного, и установка ограничения (условия) по остальным критериям. Примером условной оптимизации с одним критерием могут служить известные задачи максимизации вероятности безотказной работы при жестком ограничении стоимости или времени:

$$\begin{cases} p^1(X) \rightarrow \max \\ T(X) \leq \dot{T} (C(X) \leq \dot{C}) \end{cases}$$

где \dot{T}, \dot{C} – предельное время и стоимость соответственно.

При оптимизации многомерных АП с учетом всех рассмотренных ранее критериев задача оптимизации примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} p^1(X) \rightarrow \max \\ p^{0_i}(X) \leq \dot{p}^{0_i} \\ T(X) \leq \dot{T} \\ C(X) \leq \dot{C} \\ I(X) \leq \dot{I} \\ S(X) \leq \dot{S} \end{array} \right.$$

где $\dot{p}^1, \dot{p}^{0_i}, \dot{T}, \dot{C}, \dot{I}, \dot{S}$ - предельно допустимые значения соответствующих параметров.

По аналогии с целевым программированием рассчитаем количество корректных вариантов постановки задачи. Для 5 критериев, по которым установлены ограничения, существуют $2^5 = 32$ варианта постановки задачи. Так как задача оптимизации должна включать хотя бы одно ограничение, поэтому количество допустимых комбинаций уменьшается на 1. И как ранее упоминалось, в задаче оптимизации должно быть хотя бы одно ресурсное ограничение по C, T или S – поэтому убираем еще 3 варианта с ограничениями по p^{0_i} и I . При выборе основным критерием C, T или S следуют учитывать, что необходимо ограничение по параметру p^1 или p^{0_i} , соответственно количество вариантов будет $2^5 - 2^3 = 24$. При выборе основным критерием параметра I убираем дополнительно 3 варианта, где не используется ограничение по C, T или S , итого получаем 21 комбинацию. Таким образом, существует 149 корректных вариантов постановки задачи условной оптимизации АП, они представлены в таблице 2.

Таблица 2. Варианты постановки задачи условной оптимизации АП.

Критерии						Всего комбинаций
p^1	p^{0_i}	T	C	I	S	
●	±	±	±	±	±	28
±	●	±	±	±	±	28
±	±	●	±	±	±	24
±	±	±	●	±	±	24
±	±	±	±	●	±	21
±	±	±	±	±	●	24

Применения целевого программирования совместно с условной оптимизацией

В рассмотренный ранее вариант оптимизации с применением целевого программирования добавим ряд ограничений по параметрам аналогично условной оптимизации. Таким образом, данная задача в общем случае примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta(X) = \sum_K d_K^- \cdot \Delta_K^- + \sum_K d_K^+ \cdot \Delta_K^+ \rightarrow \min \\ p^1(X) \geq \dot{p}^1 \\ p^{0_i}(X) \leq \dot{p}^{0_i} \\ T(X) \leq \dot{T} \\ C(X) \leq \dot{C} \\ I(X) \leq \dot{I} \\ S(X) \leq \dot{S} \end{array} \right.$$

В данном подходе добавляется вариативность выбора от 1 до 6 ограничений, что добавляет $2^6 - 1 = 63$ комбинации выбора ограничений, что в совокупности с комбинациями целевого программирования дает огромное количество вариантов частных постановок задач оптимизации АП.

Данные варианты постановки задачи оптимизации АП по показателям надежности могут применяться в различных сферах благодаря гибкости и многообразию частных постановок. В частности данные подходы будут актуальны при анализе и оптимизации надежности системы на этапе ее проектирования.

Библиографический список

1. Кокунов А.А., Таганов А.И. Модельное представление типовых структур алгоритмических процессов информационных систем для задач оценки надежности и оптимизации. В сборнике: Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2023. Сборник трудов VI международного научно-технического форума: в 10 т. Рязань, 2023. С. 24 – 29.
2. Кокунов А.А. Принципы оценки надежности алгоритмических процессов информационных систем. В сборнике: Материалы VIII научно-технической конференции магистрантов Рязанского государственного радиотехнического университета. – Рязань, 2022. С. 228 – 229.
3. Кокунов А.А., Таганов А.И. Модельное представление операторов алгоритмических процессов информационных систем для задач оценки надежности и оптимизации. В сборнике: Материалы VII Всероссийской научно-технической конференции. – Рязань, 2022. С. 210 – 218.
4. Ротштейн А.П., Штовба С.Д., Козачко А.Н. Моделирование и оптимизация надежности многомерных алгоритмических процессов. – Винница: «УНИВЕРСУМ-Вінниця», 2007. – 215 с.
5. Таганов А.И., Гильман Д.В. Методологические основы анализа и аттестации уровней зрелости процессов программных проектов в условиях не-четкости. М.: Горячая линия – Телеком, 2013. - 168 с.
6. Ротштейн А. П., Штовба С. Д. Нечеткая надежность алгоритмических процессов. – Винница: Континент – ПРИМ, 1997.– 142 с.
7. Таганов А.И. Методика анализа и сокращения рисков проектов сложных программных систем по характеристикам качества // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2010. № 31. - С. 77-82.

УДК 004.94; ГРНТИ 50.53

АНАЛИЗ СИСТЕМНОЙ КОНЦЕПЦИИ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЯ В СООТВЕТСТВИИ С МОДЕЛЬЮ СММИ

А.И. Таганов, А.А. Кокунов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, alxtag@yandex.ru*

Аннотация. Рассматриваются системная концепция, современные требования и методологические вопросы усовершенствования процессов современного предприятия, в том числе аэрокосмической отрасли, при переходе на организацию своей деятельности в соответствии с моделью СММИ «Интеграция моделей зрелости возможностей». СММИ представлена на концептуальном уровне для представления прочной согласованной платформы, обеспечивающей возможность адаптации новых инициатив и, в отличие от модели зрелости возможностей для проектирования программных средств (SW-СММ), или модели зрелости возможностей для проектирования систем (SE-СММ) СММИ концентрирует в центре внимания общесистемные проблемы, что способствует эффективному усовершенствованию процессов в рамках развивающегося предприятия.

Ключевые слова: системная концепция усовершенствования процессов, модель СММИ, интеграция моделей зрелости возможностей, стандарты и руководства.

ANALYSIS OF THE SYSTEM CONCEPT OF IMPROVING ENTERPRISE PROCESSES IN ACCORDANCE WITH THE CMMI MODEL

A.I. Taganov, A.A. Kokunov

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, alxtag@yandex.ru

The summary. The article considers the system concept, modern requirements and methodological issues of improving the processes of a modern enterprise, including the aerospace industry, when switching to organizing its activities in accordance with the CMMI model "Integration of models of maturity of capabilities". CMMI is presented at the conceptual level to represent a solid, consistent platform that provides the ability to adapt new initiatives and, unlike the Software Engineering Capability Maturity Model (SW-CMM) or the Systems Engineering Capability Maturity Model (SE-CMM), CMMI focuses on system-wide problems, which contributes to effective process improvement within the developing enterprises.

Keywords: system concept of process improvement, CMMI model, integration of capability maturity models, standards and guide-lines.

Модель CMMI – «Интеграция моделей зрелости возможностей» (CMMI – Capability Maturity Model Integration) – это модель усовершенствования процессов, представляющая совокупность лучших практик, обеспечивающих повышение продуктивности и эффективности, снижение стоимости и удовлетворение участников проектов [1, 2]. Анализ концептуальных и методологических основ CMMI показал, что эта модель хорошо согласуется с задачами и принципами CALS(ИПИ)-технологий и предназначена в основном для проектов или организаций, стремящихся к следующим целям:

- улучшение показателей эффективности, стоимости, времени выполнения по взятым обязательствам;
- сотрудничество с внешними участниками и управление их ожиданиями;
- обеспечение конкурентоспособных изделий и услуг мирового класса;
- реализация перспектив интегрированного бизнеса и инженерии предприятия;
- овладение комплексностью эволюционной разработки ведущей «системы систем»;
- применение общих, интегрированных и совершенствуемых процессов для систем и программных средств;
- реализация упреждающих методов управления программами;
- воспитание лидеров (руководителей) проекта, которые будут смотреть вперед, а не оглядываться назад;
- воспитание персонала, который будет использовать лучшие практики, чтобы овладеть изменениями в разработке, технологии и среде заказчиков;
- создание возможностей для перехода персонала из одного проекта в другой при использовании тех же процессов;
- создание и совершенствование процессов, адаптируемых к меняющейся бизнес среде.

Анализ концепции практик CMMI для поддержки руководителей проекта

Усовершенствование процессов при использовании «Комплекта продуктов CMMI» обеспечивает повышение предсказуемости критических показателей стоимости, времени выполнения и удовлетворения заказчиков. Каковы ключевые и критические процессы, необходимые для усовершенствования процесса, и кто отвечает за их выполнение? Этот комплект содержит описания лучших практик, которые помогают руководителям «расшифровать код» предсказуемости стоимости, времени выполнения, эффективности и удовлетворения заказчиков. В соответствии с CMMI пять участков процесса связаны с управлением процессом и шесть участков процесса связаны с административным контролем. Информация, содержа-

щаяся в описании этих одиннадцати участков процесса, обеспечивает помощь руководителям по следующим аспектам:

- 1) концентрация внимания не на краткосрочных проблемах и спорных вопросах по проекту и контракту, а на долгосрочной жизнеспособности;
- 2) создание стратегического бизнес-плана;
- 3) обеспечение и защита ресурсов для долгосрочного усовершенствования процессов организации;
- 4) в центре внимания и СММИ – роль лидера и критические индикаторы скорости и предсказуемости усилий организации, направленных на усовершенствование процессов:
 - а) лидеры способны увидеть бизнес-потребности и выразить их наиболее убедительным образом, чтобы за ними последовали действия;
 - б) лидеры выражают готовность лично руководить работой;
 - в) лидеры способны изменить собственное поведение, если это необходимо для выполнения новых процессов и для поддержки других сотрудников, по мере их обучения выполнению этих процессов.

Позиция лидеров должна быть упреждающей, поскольку элемент лидерства является наиболее критическим элементом любой реализации. Изменение процесса снизу вверх слишком непредсказуемо. Организационное изменение должно быть спроектировано и реализовано как проект, критически важный для миссии организации; кроме того, необходимо руководство сверху по следующим причинам:

- для выполнения работ, связанных с усовершенствованием процессов, ресурсы должны быть финансированы и защищены;
- лидеры должны создать среду наставничества для усовершенствования процессов, для поощрения работ, связанных с усовершенствованием процессов, для порицания сопротивления усовершенствованию процессов;
- поведение лидера является предметом наблюдения и подражания;
- лидеры должны создать и поддерживать общее видение.

Если учесть, что тактический подход к реализации подразумевает централизованную основную группу, то роль лидерства имеет критическое значение. Для лидера высокого ранга важно быть «чемпионом» по данной работе. Это чемпионство включает следующие элементы:

1. Создание и поддержка общего видения. Недостаточно поставить долгосрочные организационные цели. Если общее видение не будет включать дополнительную информацию для ограничения реализаций совместимым подмножеством, то в результате возможны потери и крах. Возьмите личные обязательства по реализации и сделайте позитивное заявление, что используемым подходом будет реализация процессов на базе СММИ.

2. Определение задач. Для дальнейшего снижения потерь в результате неправильного понимания общего видения и потенциально несовместимых реализаций необходим обмен информацией о критически важных и конкретных элементах на пути из настоящего в будущее. Этот обмен информацией должен включать как критически важные оперативные задачи, связанные с миссией организации, так и критически важные задачи, связанные с организационным изменением и усовершенствованием. Возьмите на себя лидерство и используйте личный инструктаж лидеров (руководителей) по преимуществам усовершенствования процессов на базе СММИ.

3. Выбор приоритетов. Важным фактором является определение работ, на которые будут направлены ваши наиболее квалифицированные сотрудники и которым будет предоставлен первоочередный выбор ресурсов. Необходимо четко разделить необходимые задачи и задачи, которые не являются решающими. Создайте административные процедуры для текущего контроля за привлечением лидеров в работы, связанные с усовершенствованием процессов.

4. Пропорциональное распределение активов. Пропорциональное распределение активов – это обратная сторона определения приоритетов. Многие активы не являются взаимозаменяемыми. Оптимальное распределение активов может со временем измениться даже в том случае, если распределение приоритетов остается без изменений. Пропорциональное распределение ресурсов при отсутствии руководства (лидерства) приводит к удару по проводимой политике и неразберихе. Возьмите обязательства по ресурсам для работ, связанных с усовершенствованием процессов.

5. Измерение эффективности. Цель – однозначное понимание ситуации. По правильно ли пути идет данная работа? Каким может быть воздействие некоторого изменения? Каждый лидер имеет свою точку зрения (перспективу) и показатели, которые являются значимыми и достоверными, могут быть уникальными. Большое значение имеет модель поиска (разные показатели должны оцениваться по разным оценкам). Переход от принятия решений на базе мнений к принятию решений на базе данных не так прост; может потребоваться некоторая тренировка. Определите критерии оценки для усовершенствования процессов.

6. Делегирование полномочий и сохранение ответственности. «Не мешайте» – в том смысле, что нужно обеспечить фактическое выполнение критической работы в соответствии с общим видением. Существует еще множество аспектов работы, которые выигрывают от того, что лидер берет ответственность на себя. Если выбрать вариант с полной передачей полномочий, то зачем вообще нужен лидер? Включайте усовершенствование процессов в ежедневную работу, связанную с руководством.

7. Воспитание и развитие подчиненных и организации. Никто из нас не вечен. Что мы делаем сейчас для того, чтобы хорошая работа сотрудников могла служить фундаментом для будущих работ? Как мы учим наших сотрудников «стоять на плечах гигантов»? Как мы обеспечиваем для наших преемников возможность эффективного применения фундаментальной работы, которую мы заложили, не ограничивая их закрытым пространством, когда они не способны отстаивать свое право на вклад в общее дело и на тот след, который они должны оставить, чтобы выжить?

8. Лидеры могут делегировать свои полномочия, но никогда не могут полностью снять с себя ответственность. Лидеры организации должны отдать приоритет усовершенствованию процессов на базе СММІ и обеспечить видимое (прозрачное) лидерство, необходимое для сохранения высокого приоритета усовершенствования процессов в рамках организации.

Адаптация модели СММІ для конкретной организации

В отличие от многих предыдущих моделей усовершенствования процессов, модель СММІ предназначена для адаптации к целям, поставленным конкретной деловой средой. Встроенная гибкость СММІ обеспечивает следующие возможности:

- приведение усовершенствования процессов в полное соответствие с конкретными бизнес-целями;
- выбор участков, обеспечивающих «максимум за вложенные деньги»;
- отталкивание от существующих работ;
- развитие специальных участков для удовлетворения особых бизнес-потребностей;
- надстройка ранее изолированных работ в проектировании программных средств, проектировании систем, приобретении, интегрированной разработке продуктов и процессов;
- обеспечение максимальной гибкости и эффективности в подходе к усовершенствованию процессов;

- поддержка перспектив предприятия по всем бизнес-функциям.

Анализ концепции совместимости СММІ с существующими моделями усовершенствования возможностей и процессов

Как показано в следующей таблице 1, модель СММІ совместима с широким спектром моделей усовершенствования возможностей и процессов:

Таблица 1. Совместимость СММІ с другими моделями

Старая модель	Совместимость с СММІ	Свойства, усиливаемые СММІ	Дополнительные свойства, обеспечиваемые СММІ
SW-CMM	ДА	Интеграция базовых процессов	Проектирование систем и управление проектами
EIA-731	ДА	Интеграция базовых процессов	Разработка систем программного обеспечения и управление проектами
ISO 9000:2000	ДА	Организационная институционализация	Прогрессивные уровни
SE-CMM	ДА	Интеграция базовых процессов	Разработка систем программного обеспечения и управление проектами
PMBOK	ДА	Интеграция базовых процессов	Проектирование систем, разработка систем программного обеспечения и интегрированное управление проектами
Собственная модель	Возможно	Подлежит определению (TBD)	Подлежит определению (TBD)
Отсутствие модели	ДА	Добавление базы процессов	Обеспечение интегрированных процессов проекта

Совместимость СММІ с международными стандартами

Назначением приведенной ниже таблицы 2 не является проведение очередного эксперимента по сравнению типовых стандартов. Существует ряд детальных сравнений некоторых подмножеств документов для проведения анализа, опубликованных на разных уровнях. Как правило, они используются инженерами-технологами, отвечающими за обеспечение соответствия проводимой организацией политики, процессов и процедур относящимся к ним руководящим документам. Эти типы детального анализа используются также в качестве поддержки для проведения данного анализа. Однако, данный анализ предназначен для обеспечения синтезированного представления для руководителей, которое позволяет понять следующее:

- какие типы вопросов рассматриваются/не рассматриваются в различных документах, относящихся к пользователям СММІ;
- какие документы в большей или меньшей степени обеспечивают руководство по вопросам СММІ по сравнению с моделью СММІ.

Кроме того, выделяются аспекты, по которым определенный документ противоречит практике СММІ.

Таблица 2. Совместимость СММІ с международными стандартами

Концепция СММІ	ISO 9001/2000	ISO 10006	IEEE 1220
В центре внимания - организационный процесс	Меньше руководства/ другой центр внимания	Не рассматривается	Не рассматривается
Определение организационного процесса	Меньше руководства/ другой центр внимания	Не рассматривается	Не рассматривается

Продолжение таблицы 2

Организационное обучение	Меньше руководства	Не рассматривается	Не рассматривается
Эффективность организационного процесса	Меньше руководства	Не рассматривается	Не рассматривается
Организационные инновации и развертывание	Не рассматривается	Не рассматривается	Не рассматривается
Планирование проекта	Другой центр внимания - планирование системы управления качеством (QMS) и планирование продукта	Больше руководства/ другой центр внимания - качество	Меньше руководства - для общего проекта Больше руководства - для конкретных участков проектирования систем
Мониторинг и контроль проекта	Другой центр внимания	Другой центр внимания - не ориентирован на системы	Меньше руководства - для общего проекта Больше руководства - для конкретных участков проектирования систем
Управление соглашениями с поставщиками	Больше руководства по некоторым вспомогательным вопросам; другой центр внимания	Другой центр внимания	Не рассматривается
Интегрированное управление проектом для интегрированной разработки продуктов и процессов (IPPD)	Минимум руководства	Меньше руководства (но больше, чем в большинстве документов, не связанных с СММ!)	Меньше руководства
Управление рисками	Не рассматривается	Меньше руководства, но основная часть вопросов рассматривается	Меньше руководства
Создание интегрированной проектной группы	Не рассматривается	Меньше руководства	Меньше руководства
Управление проектом на основе количественных показателей	Меньше руководства	Не рассматривается	Не рассматривается
Разработка требований	Минимум руководства	Не рассматривается	Больше руководства
Управление требованиями	Меньше руководства	Меньше руководства	Меньше руководства
Техническое решение	Минимум руководства	Не рассматривается	Больше руководства
Интеграция продуктов	Минимум руководства	Не рассматривается	Меньше руководства
Верификация	Меньше руководства	Не рассматривается	Меньше руководства
Валидация	Минимум руководства	Не рассматривается	Меньше руководства
Управление конфигурацией	Меньше руководства	Не рассматривается	Меньше руководства
Обеспечение качества процессов и продуктов	Больше руководства	Меньше руководства	Не рассматривается
Измерение и анализ	Меньше руководства	Меньше руководства	Меньше руководства
Организационная среда для интеграции	Не рассматривается	Не рассматривается	Не рассматривается
Анализ решений и решение проблем	Не рассматривается	Не рассматривается	Подобно
Причинно-следственный анализ и решение проблем	Другой центр внимания	Не рассматривается	Не рассматривается
Общие практики - уровень возможностей 2	Меньше руководства	Меньше руководства	Меньше руководства
Общие практики - уровень возможностей 3	Меньше руководства	Меньше руководства	Не рассматривается
Общие практики - уровень возможностей 4	Меньше руководства	Не рассматривается	Не рассматривается
Общие практики - уровень возможностей 5	Меньше руководства	Не рассматривается	Не рассматривается

Пояснения к таблице 2:

Подобно – данный вопрос рассматривается так же глубоко, как в СММИ.

Не рассматривается – концепция исключена из рассмотрения.

Больше руководства – в данном документе по данному вопросу больше руководства/предписаний, чем в СММИ.

Меньше руководства – в данном документе по данному вопросу меньше руководства/предписаний, чем в СММИ.

Минимум руководства – вопрос упоминается, но руководство по реализации минимально.

Другой центр внимания – вопрос рассматривается, но с другой точки зрения по сравнению с СММИ.

Противоречие – вопрос рассматривается, но противоречит руководству по СММИ.

IEEE 1220 – это стандарт, определяющий жизненный цикл проектирования систем.

ISO 10006 – Quality Management: Guidelines to Quality in Project Management, 1997 (Управление качеством: Рекомендации по обеспечению качества в управлении проектом).

ISO 9001:2000 – в центре внимания данного документа – инфраструктура на организационном уровне, необходимая для поддержки реализации общей системы управления качеством, при этом рассматриваются требования, связанные с проектом и проектированием.

Анализ и описание участков процесса «Управление процессом»

Участки этого процесса в соответствии с СММИ включают практики, связанные с реализацией успешной и зрелой программы усовершенствования процессов, а также обеспечивают расширенные возможности для достижения целей по качеству и эффективности процессов, определяемых количественными показателями. Краткое описание участков процесса представлено в таблице 3.

Таблица 3. СММИ описание участков «Управление процессом»

Участок процесса	Описание
В центре внимания - организационный процесс	Помогает организации обеспечить достижение и поддержку понимания используемых процессов, а также идентификацию, планирование, координацию и реализацию усовершенствования
Определение организационного процесса	Обеспечивает создание и сопровождение набора стандартных процессов и активов поддержки организации
Организационное обучение	Обеспечивает идентификацию стратегических потребностей организации в обучении, а также тактических потребностей в обучении, общих для проектов и групп поддержки
Эффективность организационного процесса	Обеспечивает определение общих целей по качеству и эффективности процессов на основе количественных показателей на базе бизнес-целей организации
Организационные инновации и развертывание	Обеспечивает выбор и развертывание предлагаемых пошаговых и новаторских усовершенствований для повышения способности организации выполнить поставленные цели по качеству и эффективности процессов

Анализ и описание участков процесса «Управление проектом»

Участки этого процесса в соответствии с СММИ:

- включают работы по управлению проектом, связанные с планированием, мониторингом и контролем проекта;
- обеспечивают механизмы для определения, поддержки и мониторинга обязательств для заказчиков и от поставщиков;
- обеспечивают механизмы для создания и поддержки среды сотрудничества для совместной работы;

– обеспечивают общий метод упреждающего (проактивного) управления проектом на основе количественных показателей.

Краткое описание участков процесса представлено в таблице 4.

Таблица 4. СММІ «Управление проектом»

Участок процесса	Описание
Планирование проекта	Обеспечивает разработку и сопровождение плана проекта, вовлечение соответствующих участников, получение обязательств по плану
Мониторинг и контроль проекта	Обеспечивает текущий контроль работ и выполнение корректировочных действий, включая перепланирование
Интегрированное управление проектом	Обеспечивает адаптацию процессов организации к проекту и создание общего видения проекта
Создание интегрированной проектной группы	Обеспечивает идентификацию и организацию участников в проектные группы, работающие в режиме сотрудничества, а также создание общего видения, приведенного в соответствие с общим видением проекта и организации
Управление рисками	Обеспечивает разработку и реализацию упреждающей (проактивной) стратегии для постоянной идентификации, оценки, расстановки по приоритетам и урегулирования связанных с программой рисков
Управление проектом на основе количественных показателей	Обеспечивает сбор метрик по процессам и продуктам проекта, а также анализ полученных результатов для определения возможностей усовершенствования процессов
Управление соглашениями с поставщиками	Обеспечивает управление приобретением продуктов у поставщиков, с которыми заключено формальное соглашение

Анализ и описание участков процесса «Проектирование»

Участки этого процесса в соответствии с СММІ обеспечивают поддержку работ жизненного цикла разработки продуктов, от начальной разработки требований до перехода на применение в эксплуатационной среде.

Краткое описание участков процесса представлено в таблице 5.

Таблица 5. СММІ «Проектирование»

Участок процесса	Описание
Разработка требований	Обеспечивает сбор и гармонизацию потребностей участников, связанных с планированием, разработкой, интеграцией, эксплуатацией и поддержкой продуктов, а также преобразование потребностей в требования по продуктам
Управление требованиями	Обеспечивает достижение понимания и управление согласованными требованиями
Техническое решение	Обеспечивает преобразование требований в архитектуру, проект и разработку продукта
Интеграция продукта	Обеспечивает сборку компонентов продукта и интерфейсы
Верификация	Обеспечивает соответствие продукта спецификациям («продукт сделан правильно»), прослеживание дефектов, выполнение переделок и повторное тестирование
Валидация	Обеспечивает годность продукта для целевого применения при использовании в целевой среде («сделан правильный продукт»)

Анализ и описание участка процесса «Поддержка»

Участки этого процесса в соответствии с СММІ:

– обеспечивают основные процессы для поддержки разработки и сопровождения продукта;

– обеспечивают поддержку создания и сопровождения рабочей среды, облегчающей и стимулирующей интеграцию сотрудников и управление сотрудниками для активизации и поощрения согласованного поведения;

– обеспечивают функции поддержки, используемые на всех участках процесса в течение разработки продукта.

Краткое описание участков процесса представлено в таблице 6.

Таблица 6. СММИ «Поддержка»

Участок процесса	Описание
Измерение и анализ	Обеспечивает создание метрической программы для получения объективных результатов, которые можно использовать для принятия неформальных решений и выполнения соответствующих корректировочных действий
Управление конфигурацией	Обеспечивает целостность рабочих продуктов и поддержку целостности рабочих продуктов
Обеспечение качества процессов и продуктов	Обеспечивает практики для объективной оценки процессов, продуктов и услуг
Анализ решений и решение проблем	Обеспечивает структурированный процесс принятия решений, обеспечивающий сравнение альтернатив по установленным критериям, а также выбор оптимальной альтернативы
Причинно-следственный анализ и решение проблем	Обеспечивает идентификацию дефектов и других проблем, а также выполнение действий для их исключения в будущем
Организационная среда для интеграции	Обеспечивает определение подхода и среды для реализации интегрированных проектных групп

Также в зависимости от бизнес-требований, может потребоваться заказной участок процесса, такой как обеспечение информации, интеграция предприятия или безопасность [1-4].

Анализ концептуальных подходов к принятию СММИ

Модели СММИ имеют два представления: непрерывное и поэтапное. Эти модели отражают альтернативные подходы к усовершенствованию процессов, в которых эффективно используется знакомство пользователя с конкретным подходом. Рекомендации по выбору представления приводятся в учебных материалах по СММИ [2-5].

В основе непрерывного представления лежат возможности процесса – множество ожидаемых результатов, которые могут быть получены при выполнении процесса. Усовершенствование процесса измеряется уровнями возможностей, которые связаны с достижением частных и общих целей на каждом участке процесса.

Непрерывное представление обеспечивает для организаций гибкость при выборе процессов для эффективного усовершенствования, а также при определении, в какой степени необходимо усовершенствовать каждый процесс. Непрерывное представление дает возможность выбрать порядок усовершенствования процессов, в наибольшей степени отвечающий бизнес-целям организации и обеспечивающий смягчение рисков.

В основе поэтапного представления лежит организационная зрелость – объединенные возможности набора связанных процессов. Организационное совершенствование измеряется уровнями зрелости. Это представление определяет рекомендуемый порядок подхода к усовершенствованию процессов, начиная с базовых практик управления, при осуществлении постепенного перехода по проверенному пути.

Иногда возникает необходимость в преобразовании достижений по уровням возможностей организации в уровень зрелости. Для этого преобразования используется «эквивалентное деление на этапы». В модель СММИ входят правила определения уровней возможностей, которые должны быть достигнуты на каждом участке процесса для достижения каждого уровня зрелости.

Выводы

Ключевым элементом управления проектом перехода на СММИ является создание календарного плана. График выполнения работ может быть разным, в зависимости от стартовой точки, с которой начинается усовершенствование процессов организации. Хотя старто-

вые точки могут быть разными, следует воспользоваться приведенными ниже рекомендациями [1-7]:

1. Переход на СММИ должен производиться так же, как реализация любого другого изменения культуры данной организации; чем дальше стартовая точка, тем дольше переход.

2. На базе измерений, связанных с реализацией модели зрелости возможностей для проектирования программных средств, проведенных SEI, определено, что организациям, имеющим слабо развитые инфраструктуры или небольшой опыт выполнения проектов усовершенствования процессов, как правило, требуется от 18 до 24 месяцев для достижения уровня зрелости 2. Как правило, для достижения уровня зрелости 3 требуется дополнительно 12 месяцев.

3. Организациям, имеющим более высокие уровни зрелости или возможностей проектирования программных средств и систем, вероятно, потребуется 1 год, в зависимости от текущих программ измерения и количества новых процессов, которые должны быть разработаны и развернуты. Как правило, для развертывания новых процессов в организации требуется как минимум 6 месяцев.

Библиографический список

1. Transitioning to CMMI: A Guide for Executives. Version 0.51, April 2002.
2. Интеграция моделей зрелости возможностей (CMMISM). Версия 1.1, декабрь 2001.
3. Везенов В.И., Светников О.Г., Таганов А.И. Основы процессно-ориентированного управления проектами информационных систем. / Под ред. проф. Корячко В.П. - М.: Энергоатомиздат, 2002. - 320 с.
4. Кокунов А.А., Таганов А.И. Модельное представление типовых структур алгоритмических процессов информационных систем для задач оценки надежности и оптимизации // В сб.: «Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2023». Сборник трудов VI Международного научно-технического форума. В 10-ти томах. Под общей редакцией О.В. Миловзорова. Рязань, 2023. С. 24-29.
5. Везенов В.И., Светников О.Г., Таганов А.И. Системный анализ и исследование базовых принципов CALS-технологий для создания интегрированной информационной среды виртуального предприятия. / В сб. докладов 7-й Всероссийской НТК «Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании». - Рязань: РГРТА, 2002.
6. Корячко В.П., Таганов А.И. Методологические основы процессно-ориентированного управления программными и информационными проектами. // Известия Белорусской инженерной академии. - Минск, 2002. № 1(13)/2.
7. Везенов В.И., Корячко В.П., Светников О.Г., Таганов А.И. Методы и средства концептуального моделирования и системного анализа бизнес-процессов в CALS (ИПИ) и подготовка специалистов в этой области. / В сб. «Материалы научной конференции «Качество и ИПИ-технологии» / Под редакцией проф. В.Н. Азарова. - М.: Фонд «Качество», 2002.

УДК 004.627; ГРНТИ 50.05.03

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВЕЙВЛЕТА ДЛЯ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Д.В. Гришин

*Рязанский государственный университет радиотехнический университет имени
В.Ф. Уткина, Российская Федерация, Рязань, daen.g@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматривается использование преобразования вейвлета как один из способов сжатия изображения. Приводятся основные особенности, достоинства и недостатки данного метода. Проанализировано использование преобразования Хаара в качестве конкретного варианта вейвлет-преобразования. Представлен результат преобразования Хаара над данными. Рассмотрен смысл вейвлет преобразования с точки зрения сжатия изображений и его роль в процессе сжатия. В заключение приведён вывод о целесообразности использования вейвлет преобразования в задачах, связанных со сжатием изображений.

Ключевые слова: вейвлет преобразование, преобразование Хаара, сжатие изображений.

THE USE OF WAVELET TRANSFORMATION FOR IMAGE COMPRESSION

D.V. Grishin

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, daen.g@yandex.ru

The summary. The paper considers the use of the wavelet transform as one of the ways to compress an image. The main features, advantages and disadvantages of this method are given. The use of the Haar transform as a specific variant of the wavelet transform is analyzed. The result of the Haar transformation on the data is presented. The meaning of the wavelet transform from the point of view of image compression and its role in the compression process are considered. In conclusion, it is concluded that it is advisable to use the wavelet transform in tasks related to image compression.

Keywords: wavelet transform, Haar transform, image compression.

Во время обработки изображений с использованием современных вычислительных систем часто необходимо решить задачу с эффективным сжатием размера изображения с сохранением качества. Существует множество способов решения данной проблемы и различных алгоритмов, которые помогают реализовать эффективное сжатие изображения.

Одним из способов решения данной задачи является использование вейвлет преобразования для эффективного применения алгоритмов сжатия. Этот метод основан на разложении изображения на набор вейвлет-коэффициентов, которые представляют собой информацию о частотных компонентах изображения на разных масштабах. После использования вейвлет преобразования данные изображения представляются в более удобном виде для последующего сжатия.

Преимущество вейвлет преобразования заключается в том, что оно хорошо адаптируется к различным структурам изображения, включая границы, текстуры и детали. Это позволяет эффективно кодировать информацию с использованием меньшего количества бит, что приводит к существенному сжатию размера файла. Кроме того, одним из основных преимуществ вейвлет сжатия изображений является возможность выборочного восстановления изображения. Это значит, что при декодировании можно восстановить только те части изображения, которые являются необходимыми для визуального восприятия, что очень полезно при передаче изображений по сети с низкой пропускной способностью.

Одним из вариантов преобразования вейвлета является преобразование Хаара. В преобразовании Хаара родительская функция задаётся следующим образом:

$$\Psi = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq \frac{1}{2} \\ -1, & \frac{1}{2} \leq x \leq 1 \\ 0, & x \notin [0,1) . \end{cases}$$

При выполнении вейвлет преобразования данной функции с сигналом происходит явное разбиение сигнала на две составляющие с высокими и низкими частотами. При работе с изображениями для преобразования Хаара происходит сопоставление каждой паре соседних элементов два числа: их полусумма и полуразность.

$$a_i = \frac{S_{2i} + S_{2i+1}}{2}; \quad b_i = \frac{S_{2i} - S_{2i+1}}{2}.$$

Здесь a_i – огрубленная информация, а b_i – детализирующая информация, необходимая для восстановления сигнала. При этом преобразование Хаара может быть повторно применено к a_i , в результате чего исходные данные можно сжать ещё сильнее, чем чаще будет применена операция, тем больше будет степень сжатия, а также величина потерь [2]. По-

сколькo изображение является двумерным, для корректной работы необходимо использовать преобразование Хаара для двумерного сигнала. Преобразование Хаара для двумерного сигнала является композицией одномерных преобразований Хаара с последовательным применением преобразования к каждой строке и столбцу матрицы. В результате будет получено 4 матрицы, одна из которых содержит аппроксимирующую информацию, а оставшиеся три содержат детализирующую информацию.

Само сжатие будет происходить за счёт отбрасывания полусумм, поскольку они содержат информацию о высокочастотных компонентах, то есть о быстро изменяющихся деталях изображения, таких как края объектов или текстуры [1]. В большинстве случаев, эти высокочастотные детали могут быть менее значимыми с точки зрения визуального восприятия, поэтому отбрасывание полусумм позволяет уменьшить количество данных, которые нужно хранить или передавать. Таким образом, отбрасывание полусумм приводит к существенному уменьшению размера файла изображения.

Следует отметить, что само по себе вейвлет преобразование не участвует в сжатии. Однако оно позволяет представить информацию об изображении в более удобной форме для применения алгоритмов сжатия [1]. Так, после применения преобразования целесообразно использовать алгоритм сжатия, такой как кодирование Хаффмана или алгоритмы потерь, чтобы дополнительно уменьшить размер файла. Это основано на том, что вейвлет коэффициенты, полученные после преобразования, обычно имеют разные уровни значимости, и некоторые из них можно представить с использованием меньшего количества бит. Таким образом, используя вейвлет преобразование перед сжатием, мы имеем возможность выбирать, какие коэффициенты будут сохранены с высокой точностью, а какие – с меньшей. В результате этого процесса, мы можем значительно уменьшить размер файла без существенных потерь качества изображения. Например, при использовании кодирования Хаффмана, коэффициенты с большой значимостью будут закодированы с использованием меньшего количества бит, тогда как менее значимые коэффициенты будут закодированы более длинными последовательностями бит. Таким образом, мы можем сохранить важную информацию изображения с высокой точностью, одновременно уменьшая количество информации, которую нужно хранить. Кроме определения значимости коэффициентов, вейвлет преобразование также позволяет обнаружить и удалить ненужные детали изображения. Например, шумы или мелкие текстуры могут быть удалены путем простого отбрасывания коэффициентов с низкой амплитудой. Это также помогает уменьшить размер файла без потери основной информации.

В качестве примера рассмотрим результат сжатия изображения с использованием преобразования Хаара и кодирования Хаффмана. В результате сжатия изображения был получен файл, размер которого приблизительно в 10 раз меньше исходного размера изображения. После применения функции восстановления мы получили восстановленное изображение. Как видно из рисунка 1 после восстановления изображение теряет в качестве, однако качество восстановленного изображения остаётся приемлемым для человеческого глаза.



Рис. 1. Изображение до сжатия (слева) и после восстановления (справа)

В случае, если размер сжатого файла или качество изображения являются неудовлетворительными, существует возможность редактирования параметров сжатия для получения подходящих результатов. Также следует отметить, что вейвлет преобразование и сжатие изображения являются итеративными процессами. Это означает, что мы можем применить преобразование и сжатие несколько раз, выбирая различные параметры, чтобы достичь оптимальных результатов.

Однако следует отметить, что применение вейвлет преобразования для сжатия изображений требует вычислительных ресурсов, особенно при работе с большими изображениями высокого разрешения. Это может быть ограничивающим фактором при работе с огромными объемами данных или в режимах реального времени. Все решения, связанные с вейвлет сжатием изображений, также имеют компромисс между размером файла и сохранением качества изображения. Сильное сжатие может привести к видимой потере деталей и ухудшению восприятия изображения, в то время как слабое сжатие может привести к недостаточному уменьшению размера файла. Кроме того, вейвлет преобразование не всегда является наилучшим методом сжатия для всех типов изображений. В некоторых случаях, особенно при работе с изображениями с повторяющимися узорами или пространственной корреляцией, альтернативные методы сжатия являются более оптимальными.

Также следует отметить, что преобразование Хаара имеет свои особенности и ограничения при применении к реальным изображениям. Оно лучше всего работает в случае, когда на изображении присутствуют длинные участки с одинаковой яркостью, например, в случае изображений с плавными переходами или равномерными текстурами [2]. В таких случаях преобразование Хаара может эффективно выделять и описывать различные компоненты изображения. Однако, на реальных изображениях часто встречаются более сложные текстуры, детали и особенности, которые не могут быть полностью описаны или запечатлены преобразованием Хаара. В таких случаях можно использовать другие типы вейвлет-преобразований, такие как вейвлет Добеши, Симлета или Биортогональные вейвлеты, которые лучше подходят для различных типов данных и изображений [1]. Выбор подходящего вейвлета и соответствующих параметров является важным аспектом в применении вейвлет-преобразования в обработке изображений. Различные вейвлеты имеют свои преимущества и недостатки, и выбор должен основываться на требованиях конкретного приложения и характеристиках изображений. Таким образом, вейвлет Хаара является лишь одним из множества доступных вариантов вейвлет-преобразований для обработки изображений. Использование более подходящих вейвлетов может улучшить результаты сжатия и адаптировать преобразование к различным типам данных и условиям изображений. Выбор подходящего вейвлета и соответствующих параметров является важным аспектом в применении вейвлет-преобразования в обработке изображений. Различные вейвлеты имеют свои преимущества и недостатки, и выбор должен основываться на требованиях конкретного приложения и характеристиках изображений.

Как показали практические испытания, сжатие изображений с использованием вейвлет преобразования является достаточно эффективным методом сжатия изображений, позволяющим значительно сократить размер файла при сохранении деталей и качества изображения. Как и другие методы сжатия, применение вейвлет преобразования для сжатия изображений имеет свои преимущества и недостатки. Оно позволяет достичь существенного уменьшения размера файла, сохраняя приемлемое качество изображения, но требует вычислительных ресурсов и может быть сложным для реализации.

Работа выполнена под научным руководством д.т.н. А.Э. Москвитина

Библиографический список

1. Яковлев А.Н. Введение в вейвлет-преобразования: Учебное пособие. - Новосибирск: НГТУ, 2003. - 104 с.
2. Уэлстид С. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии. - Москва: Триумф, 2003. - 320 с.

УДК 621.396.96; ГРНТИ 47.49.27

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ОБЪЕКТОВ НА РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

С.И. Гусев, Л.Л. Кузнецов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, kuznleo@gmail.com*

Аннотация. В данной обзорной работе рассматривается одно из применений поляриметрической обработки радиолокационных изображений – классификация объектов. В статье производится анализ и сравнение основных методов поляриметрической классификации объектов: классификации Камерона, классификации Клода-Потье и классификации на основе классификатора Уишарта.

Ключевые слова: классификация объектов, радиолокационные изображения, поляриметрическая обработка, поляриметрическая классификация, классификация Камерона, классификация Клода-Потье, классификатор Уишарта.

COMPARATIVE ANALYSIS OF POLARIMETRIC OBJECT CLASSIFICATION METHODS ON RADAR IMAGES

S.I. Gusev, L.L. Kuznetsov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, kuznleo@gmail.com*

Abstract. The paper takes into account one of the polarimetric processing applications – object classification. Here main polarimetric object classification methods as Cameron classification, Cloude-Pottier classification and classification based on Wishart classifier are analyzed and compared.

Keywords: objects classification, radar images, polarimetric processing, polarimetric classification, Cameron classification, Cloude-Pottier classification, Wishart classifier.

При радиолокационной съемке можно получить набор из четырех изображений с разными видами поляризации (HH , VV , HV и VH , где H – горизонтальная поляризация, V – вертикальная поляризация на передаче и приеме соответственно). Основными характеристиками пикселей таких изображений являются поляризационная матрица рассеяния (ПМР) и поляриметрические матрицы ковариации (ПМКв) и когерентности (ПМКг).

ПМР вычисляется в линейном поляризационном базисе по формуле

$$S(R_{\perp}, \eta_{\perp}) = \begin{pmatrix} S_{HH}(R_{\perp}, \eta_{\perp}) & S_{HV}(R_{\perp}, \eta_{\perp}) \\ S_{VH}(R_{\perp}, \eta_{\perp}) & S_{VV}(R_{\perp}, \eta_{\perp}) \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где R_{\perp} – наклонная дальность на траверзе, а η_{\perp} – азимутальное время максимального сближения радиолокатора с синтезированной апертурой (РСА) с целью, и позволяет определить типы элементарных отражателей с известными поляризационными характеристиками, на которые может быть разбит любой сложный объект, попавший на радиолокационное изображение. Здесь элементы на главной диагонали соответствуют согласованной поляризации, когда отражение происходит без изменения вида поляризации, а элементы побочной диагонали – ортогональной, когда поляризация при отражении изменяется на ортогональную. Каждый элемент является комплексным числом, амплитуда которого соответствует усилению, а фаза – задержке сигнала при отражении.

ПМКв является векторизацией ПМР, при этом считают, что $S_{HV}(R_{\perp}, \eta_{\perp}) = S_{VH}(R_{\perp}, \eta_{\perp})$. В результате, опустив промежуточные преобразования, получаем, что ПМКв можно вычислить как

$$C(R_{\perp}, \eta_{\perp}) = \begin{pmatrix} E\{|S_{HH}|^2\} & E\{\sqrt{2}S_{HH}S_{HV}^*\} & E\{S_{HH}S_{VV}^*\} \\ E\{\sqrt{2}S_{HV}S_{HH}^*\} & E\{2|S_{HV}|^2\} & E\{\sqrt{2}S_{HV}S_{VV}^*\} \\ E\{S_{VV}S_{HH}^*\} & E\{\sqrt{2}S_{VV}S_{HV}^*\} & E\{|S_{VV}|^2\} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где $E\{s\}$ – операция усреднения в прямоугольном окне, а s^* – операция комплексного сопряжения.

Для расчета ПМКг необходимо ввести понятие декомпозиции. Суть декомпозиции – представление ПМР, ПМКв и ПМКг каждого пикселя в виде комбинации определенных базовых ПМР, ПМКв и ПМКг. В результате получают мультипликативные коэффициенты, которые прибавляются к базовым ПМР, ПМКв и ПМКг. Задача поляриметрической обработки состоит как раз в декомпозиции. Значение полученных коэффициентов можно использовать для классификации объектов на радиолокационном изображении.

Одной из основных декомпозиций является декомпозиция Паули, которая описывается следующим уравнением:

$$\begin{aligned} \sqrt{2}S(R_{\perp}, \eta_{\perp}) &= \sqrt{2} \begin{pmatrix} S_{HH}(R_{\perp}, \eta_{\perp}) & S_{HV}(R_{\perp}, \eta_{\perp}) \\ S_{VH}(R_{\perp}, \eta_{\perp}) & S_{VV}(R_{\perp}, \eta_{\perp}) \end{pmatrix} = \\ &= \alpha_P(R_{\perp}, \eta_{\perp}) \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} + \beta_P(R_{\perp}, \eta_{\perp}) \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} + \gamma_P(R_{\perp}, \eta_{\perp}) \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (3)$$

Коэффициент α_P характеризует однократное рассеяние или нечетное число отражений и умножается на ПМР сферы или трехгранного уголкового отражателя. Коэффициент β_P описывает двукратное рассеяние или четное число отражений и умножается на ПМР двугранного уголкового отражателя, ориентированного под углом 0° . Коэффициент γ_P характеризует отражение от верхушек деревьев и умножается на ПМР двугранного уголкового отражателя, ориентированного под углом 45° [1]. Данные коэффициенты вычисляются для каждого пикселя и равняются:

$$\alpha_P(R_{\perp}, \eta_{\perp}) = \frac{S_{HH}(R_{\perp}, \eta_{\perp}) + S_{VV}(R_{\perp}, \eta_{\perp})}{\sqrt{2}}, \quad (4)$$

$$\beta_P(R_{\perp}, \eta_{\perp}) = \frac{S_{HH}(R_{\perp}, \eta_{\perp}) - S_{VV}(R_{\perp}, \eta_{\perp})}{\sqrt{2}}, \quad (5)$$

$$\gamma_P(R_{\perp}, \eta_{\perp}) = \frac{S_{HV}(R_{\perp}, \eta_{\perp}) + S_{VH}(R_{\perp}, \eta_{\perp})}{\sqrt{2}} \approx \sqrt{2}S_{HV}(R_{\perp}, \eta_{\perp}) \approx \sqrt{2}S_{VH}(R_{\perp}, \eta_{\perp}). \quad (6)$$

На основе данных значений можно создать псевдоцветное изображение (для этого модули коэффициентов возводятся в квадрат). Обычно значения $|\alpha_P|^2$ относят к красному каналу, $|\gamma_P|^2$ – к зеленому, а $|\beta_P|^2$ – к синему. Тогда поляриметрическое изображение в базе Паули в достаточной мере соответствует визуальному восприятию человеком объектов изображения, поскольку вода представляется преимущественно синим цветом, а леса – зеленым.

Вернемся к определению ПМКг. ПМКг вычисляется аналогично ПМКв, но не по результату векторизации ПМР, а по коэффициентам декомпозиции Паули, записанным в виде следующего вектора:

$$P(R_{\perp}, \eta_{\perp}) = (\alpha_P(R_{\perp}, \eta_{\perp}) \beta_P(R_{\perp}, \eta_{\perp}) \gamma_P(R_{\perp}, \eta_{\perp}))^T = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} S_{HH}(R_{\perp}, \eta_{\perp}) + S_{VV}(R_{\perp}, \eta_{\perp}) \\ S_{HH}(R_{\perp}, \eta_{\perp}) - S_{VV}(R_{\perp}, \eta_{\perp}) \\ S_{HV}(R_{\perp}, \eta_{\perp}) + S_{VH}(R_{\perp}, \eta_{\perp}) \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Тогда ПМКГ можно вычислить как:

$$T(R_{\perp}, \eta_{\perp}) = E\{PP^{*T}\} = \begin{pmatrix} E\{|\alpha_P|^2\} & E\{\alpha_P \beta_P^*\} & E\{\alpha_P \gamma_P^*\} \\ E\{\beta_P \alpha_P^*\} & E\{|\beta_P|^2\} & E\{\beta_P \gamma_P^*\} \\ E\{\gamma_P \alpha_P^*\} & E\{\gamma_P \beta_P^*\} & E\{|\gamma_P|^2\} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

В то время как ПМР описывает точечные объекты, ПВКв и ПМКГ описывают площадные объекты с минимизацией влияния спекл-шума (мультипликативного шума, возникающего вследствие интерференции радиолучей и проявляющегося в том, что яркий однородный площадной объект представляется набором близко расположенных светлых пятен на темном фоне).

Следующая декомпозиция – декомпозиция Камерона [2] – позволяет определить свойства взаимности и симметричности отражения. Свойство взаимности означает, что принятый сигнал с ортогональной поляризацией не зависит от типа поляризации на излучении и приеме, т.е. $S_{HV} = S_{VH}$. Свойство симметричности характеризуется наличием угла поворота, при котором ПМР отражателя в базисе Паули имеет нулевой коэффициент γ_P .

Декомпозиция Камерона вычисляется следующим образом:

$$S_C = A_C \left((\cos \tau_C) S_{sym}^{max} + (\sin \tau_C) S_{sym}^{min} \right), \quad (9)$$

где A_C – нормировочный множитель, S_{sym}^{max} – максимальная симметричная компонента ПМР объекта, S_{sym}^{min} – минимальная симметричная компонента ПМР объекта, а угол τ_C характери-

зует степень симметричности ПМР и вычисляется как $\tau_C = \arccos \frac{|S_C S_{sym}^{max}|}{\|S_C\| \|S_{sym}^{max}\|}$.

Основной целью декомпозиции Камерона является классификация объектов по типам элементарных отражателей: двугранных и трехгранных уголкового отражателей, диполей, цилиндров, остроугольных двугранных отражателей, четвертьволновых устройств и правых и левых спиралей [1]. При **классификации Камерона** асимметричным считается отражатель с $\tau_C > \frac{\pi}{8}$. Среди элементарных отражателей только спирали являются асимметричными, поэтому именно с ПМР правой и левой спиралей сравнивается векторизованная ПМР классифицируемого объекта, после чего, если отличие не превышает некоторый порог, отражатель признается правой или левой спиралью. В противном случае он классифицируется как неизвестный асимметричный отражатель.

Основным недостатком классификации Камерона является высокая зашумленность результатов. Один и тот же площадной объект после классификации может представлять собой набор из разных типов элементарных отражателей. В результате сильно затрудняется дешифрирование изображения оператором, поэтому на практике более распространены другие виды классификации, основанные на анализе ПМКв и ПМКг, а не ПМР.

Одной из таких классификаций является **классификация Клода-Потье** [3], основанная на одноименной декомпозиции, которая оценивает ПМКг пикселей. Эта декомпозиция

не зависит от поворота отражателя и включает в себя три параметра: энтропию H , анизотропию A и средний угол рассеяния $\bar{\alpha}$.

Поляриметрическая энтропия по фон Нейману определяется как

$$H = -\sum_{i=1}^3 P_i \log_3 P_i, \quad (10)$$

где P_i – веса ПМР в суммарном отражении.

В случае низкой энтропии (меньше 0,3) отражатель можно рассматривать как эквивалентный точечный объект, а в случае высокой – только как площадной. При энтропии $H = 0$ поляризационная составляющая обнуляется, и отражение рассматривается как случайный шум. Низкая энтропия соответствует океану и умеренно шероховатым поверхностям (например, полям), а высокая – лесам. Для городской застройки характерно смешение объектов с низкой и высокой энтропией.

Поляриметрическая анизотропия учитывается только высокой энтропии, при $H > 0,7$ она позволяет различить типы объектов с одинаковой энтропией. Низкая анизотропия соответствует лесам и океанам. Городская застройка соответствует смеси объектов средней и высокой анизотропии [1].

Средний угол рассеяния близок к нулю для океанов и имеет средние и высокие значения в лесах и городах.

Основным назначением декомпозиции $H/A/\bar{\alpha}$ (Клода-Потье) является неконтролируемая классификация объектов на полнополяризационном наборе радиолокационных изображений. Для этого плоскость $H/\bar{\alpha}$ была разделена на девять зон, каждая из которых соответствует своему поляриметрическому классу объектов.

Первой зоне соответствует множественное отражение от двугранных угловых отражателей с высокой энтропией. Обычно в нее попадает растительность с сильно развитой структурой ветвей и кроны. *Во вторую зону* относят объемное рассеяние сигнала растительностью с высокой энтропией. *Третьей зоне* соответствует отражение от поверхности с высокой энтропией. На практике не существует поверхности, отражающей с высокой энтропией, поэтому ни один объект не может быть отнесен к этой зоне. *В четвертую зону* попадает множественное отражение от двугранных угловых отражателей со средней энтропией, т.е. лесов при двойном отражении сигнала от почвы и стволов деревьев или от городской застройки с плотным размещением рассеивающих центров. *К пятой зоне* относят отражение сигнала растительностью со средней энтропией и преобладанием дипольного типа. *В шестую зону* попадают шероховатые поверхности (вспаханное поле или сильно взволнованная вода), отражающие со средней энтропией. *К седьмой зоне* относится отражение от двугранного углового отражателя, характерное для городских районов и пересеченной местности с резкими обрывами или крутым рельефом. *Восьмая зона* соответствует отражению от диполя либо от растительности с сильно коррелированной угловой ориентацией анизотропных отражающих элементов. *В девятую зону* попадает отражение от гладкой поверхности с низкой энтропией, присущее воде со слабым волнением, морскому льду или очень ровной и гладкой поверхности суши.

На результаты классификации Клода-Потье, по сравнению с классификацией Камерона, намного слабее влияет спекл-шум, однако в выделенные зоны гораздо чаще попадают совершенно разные объекты, как вода и почва. Вследствие этого для более качественной классификации можно увеличить число зон, учесть дополнительные признаки и обучить классификатор, применяя определенные меры сходства.

В случае поляриметрической **классификации с обучением** предполагается, что для $N_{эм}$ типовых классов объектов известны эталонные значения их поляриметрических параметров (ПМКв $C_{эм i}$ или ПМКг $T_{эм i}$, $i = \overline{1, N_{эм}}$) и априорные вероятности $P_{эм i}$ встретить объекты этих классов на изображении. Перечисленные параметры являются результатом обучения.

Таким образом, при классификации для каждого пикселя принимается решение, к эталонным значениям ПМКв или ПМКг какого класса ближе его ПМКв или ПМКг, а степень близости определяется с помощью выбранной меры сходства. Наиболее распространенными являются мера на основе многомерного комплексного распределения Гаусса и мера на основе многомерного комплексного распределения Уишарта, однако предпочтительнее использовать последнюю, так как она не зависит от поляризационного базиса (ее можно применять как в линейном базисе, так и в базисе Паули). Упрощенная мера сходства ПМКв по Уишарту рассчитывается, как:

$$d_w(C, i) = (2W + 1)^2 \left(\ln |C_{\text{эти}}| + \text{tr}(C_{\text{эти}}^{-1} C) \right) - \ln P_{\text{эти}}, \quad (11)$$

где $(2W + 1) \times (2W + 1)$ – размеры окна, в котором усредняется ПМКв, tr – след матрицы. Если априорные вероятности $P_{\text{эти}}$ неизвестны, то классы можно считать равновероятными и опустить член $-\ln P_{\text{эти}}$. Минимальному значению $d_w(C, i)$ соответствует максимальная степень сходства классов.

Кроме меры сходства ПМКв или ПМКг также вводится мера сходства двух классов. Данная мера преимущественно используется при неконтролируемой классификации, когда изначально задается большое число исходных классов, а затем выполняется объединение схожих.

Так, существует комбинированный метод неконтролируемой классификации, в котором классификатор Уишарта обучается по результатам классификации Клода-Потье [4]. Затем с помощью меры сходства ПМКг по Уишарту вида

$$d_w(T, i) = \ln |T_{\text{эти}}| + \text{tr}(T_{\text{эти}}^{-1} T) \quad (12)$$

производится переклассификация объектов. Затем классификатор снова переобучается, объекты снова переклассифицируются, и так до тех пор, пока количество пикселей, изменивших класс в результате переклассификации, не станет меньше определенного порога. Данный метод по своей сути является некой адаптацией алгоритма k -средних для поляриметрической классификации.

Результаты работы данного алгоритма также нельзя назвать идеальными. В нем устранен основной недостаток классификации Клода-Потье, когда вода и почва определяются к одному классу, однако возникает ошибочная классификация пикселей в неподходящие классы (например, когда вода попадает в класс, соответствующий отражению от поверхности).

Таким образом, можно сделать вывод о том, что задача поляриметрической классификации до сих пор до конца не решена. Все рассмотренные алгоритмы устраняли главные недостатки предыдущих, однако имели свои собственные, которые также в определенных ситуациях могут стать критичными. Тем не менее, наиболее предпочтительным для использования вследствие наибольшей универсальности является метод с обучением классификатора Уишарта по результатам классификации Клода-Потье. Стоит отметить, что остальные методы также могут найти применение в частных конкретных задачах.

Библиографический список

1. Егошкин Н.А., Еремеев В.В., Москвитин А.Э., Ушенкин В.А. Обработка информации от современных космических систем радиолокационного наблюдения Земли. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2019. – 320 с. + 32 с. цв. вкл.
2. Cameron W.L., Leung L.K. Feature Motivated Polarization Scattering Matrix Decomposition // Proc. IEEE International Radar Conference. – 1990. – Pp. 549-557.
3. Lee J.S., Pottier E. Polarimetric Radar Imaging: from Basic to Applications. – Boca Raton, London, New York: CRC Press, 2009. – 398 p.
4. Lee J.S., Grunes M.R., Ainsworth T.L., Du L.J., Schuler D.L., Cloude S.R. Unsupervised classification using polarimetric decomposition and the complex Wishart classifier // IEEE Trans. On Geosciences and Remote Sensing. – 1999. – Vol. 37 (5). – Pp. 2249-2258.

УДК 004.7; ГРНТИ 49.38.49

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАФИКА ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

О.А. Бодров, М.С. Поборуева

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, imerm01@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются различные виды трафика промышленного интернета вещей. В ходе исследования были выявлены основные особенности и недостатки каждого трафика, определены вероятностные характеристики распределения, а так же коэффициенты для каждого из исследуемых типов.

Ключевые слова: промышленный интернет вещей, характеристика трафика, коэффициент Херста.

ANALYSIS OF TRAFFIC CHARACTERISTICS OF THE INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS

O.A. Bodrov, M.S. Poborueva

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, imerm01@yandex.ru*

The summary. The work examines various types of industrial Internet of things traffic. During the study, the main features and disadvantages of each traffic were identified, the probabilistic characteristics of the distribution were determined, as well as the coefficients for each of the types studied.

Keywords: industrial Internet of things, traffic characteristics, Hurst coefficient.

В настоящее время наблюдается активное развитие концепции Интернета вещей, которая проникает в различные сферы жизни человека, включая автономное управление транспортом, городскую инфраструктуру, медицинские процедуры, а также автоматизацию жилых и офисных помещений.

Относительно недавно в рамках этой концепции начало формироваться направление, известное как промышленный Интернет вещей (ПИВ), целью которого является создание комплексной интеллектуальной системы для автоматизации производственных процессов на предприятиях.

В рамках ПИВ предусматривается автоматизация не только непосредственно производственного оборудования, но и процессов расчета экономических показателей, обеспечения безопасности сотрудников и других аспектов. Отличительной чертой систем ПИВ является их интеграция с облачными технологиями и технологиями edge computing, а также использование мощных систем искусственного интеллекта для анализа текущего состояния производства и планирования его развития [1].

Одним из ключевых вызовов на пути интеграции ПИВ в промышленную среду является необходимость адаптации сетевой инфраструктуры предприятий к новым условиям. Это предполагает проведение исследований по оценке устойчивости сети к возрастающему трафику, генерируемого устройствами ПИВ. Для таких исследований могут быть использованы методы нагрузочного тестирования, требующие разработки специального алгоритма для генерации ПИВ-трафика.

Этот алгоритм может быть создан на основе аналитических моделей, полученных в ходе изучения характеристик реального трафика от систем промышленной автоматизации. Учитывая, что комплексные системы ПИВ пока не нашли широкого применения, анализ предлагается проводить на основе модельной сети, включающей разнообразные ПИВ-решения, отобранные в соответствии с международными и отраслевыми стандартами.

Для создания такой модельной сети необходимо определить основные источники ПИВ-трафика, среди которых выделяются датчики и актуаторы, используемые для автомати-

зации производственного оборудования и управляемые как напрямую, так и через специализированные системы контроля и управления (например, SCADA, SAP Hana, OPC UA).

В рамках исследования была разработана и апробирована экспериментальная сеть. Эта сеть представляет собой комплексное моделирование инфраструктуры, способной эмулировать различные типы трафика и их воздействие на системы промышленного интернета вещей.

Ключевой задачей является изучение особенностей и параметров трафика, таких как динамика поступления данных, размеры сетевых пакетов, характеристики самоподобия и использование протоколов на разных уровнях, включая меры криптографической безопасности. На рисунке 1 представлена структура разработанной модельной сети [2].

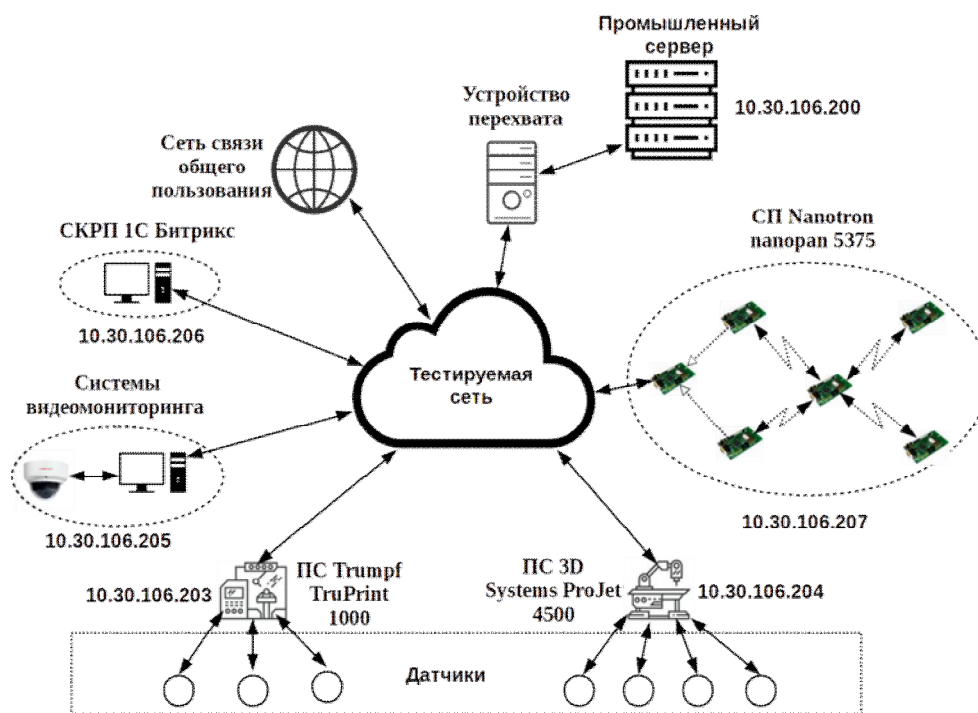


Рис. 1. Структура модельной сети для тестирования систем промышленного интернета вещей

Экспериментальная сеть включает в себя несколько компонентов, среди которых промышленные серверы и системы, системы контроля работы предприятий, системы видеомониторинга, системы позиционирования, а также подключение к сетям общего пользования и специализированные устройства для перехвата и анализа трафика. Такое разнообразие элементов позволяет осуществлять всесторонний анализ трафика, исходящего от различных устройств и приложений, применяемых в сфере промышленного интернета вещей.

- Промышленный сервер - серверное устройство для системных исследований;
- промышленные системы (ПС) Trumpf TruPrint 1000, ПС 3D Systems ProJet 4500 - клиентские устройства для источников трафика «Датчики и актуаторы»;
- система контроля работы предприятия (СКРП) «1С-Битрикс» - клиентское устройство для источников трафика «Бизнес-приложения»;
- система видеомониторинга - клиентское устройство для источников трафика «Мультимедийные системы»;
- система позиционирования (СП) Nanotron NanoPAN 5375 - клиентское устройство для источников трафика «Системы позиционирования»;
- подключение к сети связи общего пользования (ССОП);
- устройство перехвата - устройство для анализа сетевого трафика;

• тестируемая сеть - локальная сеть, имитирующая архитектуру локальной сети промышленного предприятия.

Созданная модельная сеть предназначена для исследования трафика от систем ПИВ и их влияния на тестируемую сеть. Также возможно изучение свойств трафика от приложений и устройств, используемых в промышленном Интернете вещей.

Для анализа трафика от систем в разработанном фрагменте сети были выбраны основные свойства:

- интенсивность поступления сообщений от каждого источника трафика;
- объем пакетов и средний размер пакетов от каждого источника трафика;
- время обслуживания одного пакета и среднее время для каждого источника трафика;
- коэффициент Хёрста (самоподобие) для трафика от каждого источника.

Исследование направлено на выявление и анализ ключевых характеристик трафика, включая интенсивность поступления сообщений, объем и размер пакетов данных, время обслуживания пакетов, а также коэффициент Хёрста, отражающий степень самоподобия трафика.

Полученные данные предоставляют важную информацию для оценки производительности и надежности систем промышленного интернета вещей, а также влияния различных типов трафика на работу тестируемой сети.

Разработанная модельная сеть и проведенное на ее основе исследование представляют значительный интерес для разработчиков и аналитиков в области промышленного интернета вещей, поскольку позволяют глубже понять динамику и особенности сетевого взаимодействия в таких системах. Это, в свою очередь, способствует повышению эффективности и безопасности промышленных информационных систем [3].

В ходе исследования был проведен анализ скорости поступления данных от различных источников, используя временные интервалы между приходом данных на сетевые интерфейсы. Исходная выборка данных была разделена на 100 частей, равных по длительности, что позволило создать вероятностно-временной профиль для анализируемого трафика. Для определения соответствующего вероятностного распределения к каждому интервалу был применен критерий Колмогорова-Смирнова.

Следующий этап включал аппроксимацию данных с использованием метода наименьших квадратов и алгоритма градиентного спуска. Аналогичный методологический подход был применен к анализу объемов данных сетевых пакетов и времени их обработки.

В дополнение, был вычислен коэффициент Хёрста для ранее собранных выборок данных, что позволило оценить самоподобие трафика. Этот коэффициент также был рассчитан с применением метода нормированного размаха (RS-анализ).

Исследование позволило сделать следующие выводы относительно трафика от систем, используемых в промышленных информационно-вычислительных системах:

- трафик от систем Trumpf TruPrint 1000, 3D Systems ProJet 4500 и OBS демонстрирует свойства самоподобия;
- трафик от систем Ivideon, веб-приложений OWM и OSM, а также Nanotron NanoPAN 5375 характеризуется как самоподобный, приближенный к полностью случайному;
- трафик от системы 1С Битрикс показывает антиперсистентность, близкую к полностью случайному потоку;
- вероятностные распределения временных интервалов между поступлениями сетевых пакетов и их объемов могут служить основой для моделирования сетевого трафика в рамках тестирования сетевой инфраструктуры предприятий перед внедрением анализируемых и схожих технологических решений;

- для уточнения характеристик работы ПИВ-систем необходимо разработать классификацию сценариев их работы, учитывая особенности каждого исследуемого типа.

Таким образом, анализ позволяет учесть влияние различных устройств сети на объем трафика, позволяя уменьшить вероятность появления коллизий в системах ПИВ.

Библиографический список

1. Кучерявый А.Е., Владыко А.Г., Киричек Р.В., Маколкина М.А., Парамонов А.И., Выборнова А.И. и др. Перспективы научных исследований в области сетей связи на 2017–2020 годы // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4. № 3. С. 1–14.
2. Кулик В. Генератор трафика Промышленного Интернета Вещей // Cloud Version Control System Bitbucket. URL: https://bitbucket.org/vslavk/generate_iiot_traffic/src/master (дата обращения 20.07.2019)
3. Парамонов А.И. Разработка и исследование комплекса моделей трафика для сетей связи общего пользования. СПб.: СПбГУТ, 2014.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ РЭС ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Е.П. Васильев, Н.В. Климчук

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, KlimchukNik@gmail.com*

Аннотация. В данной работе рассматриваются основные шаги электродинамического моделирования микроволновых устройств. Процесс решения реальной проектной задачи показан на примере использования программного обеспечения Sonnet Lite. В работе также рассматривается разработка кроссплатформенного приложения для более удобного и быстрого микроволнового анализа функциональных радиоэлектронных средств (РЭС). Приводятся особенности применения новой интегрированной среды при проектировании и исследовании функциональных устройств.

Ключевые слова: EM-моделирование, полосовой фильтр, метод конечных элементов, программное обеспечение, САПР, РЭС, интегрированная среда, Python.

ELECTRODYNAMIC MODELING AND RESEARCH OF RADIO ELECTRONIC FACILITIES OF AIRCRAFT FUNCTIONAL DEVICES

E.P. Vasilyev, N.V. Klimchuk

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, KlimchukNik@gmail.com*

The summary. This paper discusses the main steps of electrodynamic modeling of microwave devices. The process of solving a real-life design problem is illustrated using Sonnet Lite software. The work also discusses the development of a cross-platform application for more convenient and faster microwave analysis of functional radio-electronic equipment (RES). The features of using the new integrated environment in the design and research of functional devices are presented.

Keywords: EM modeling, bandpass filter, finite element method, software, CAD, RES, integrated environment, Python.

Введение

Самые популярные современные профессиональные САПР средств космической связи [1] – это AWR Microwave Office, Ansys HFSS, Sonnet Suites, а также свободно распространяемый Sonnet Lite. Основное преимущество данных инструментов – это возможность проектирования модели будущего функционального устройства в универсальном формате, который совместим с указанными выше САПР. Например, при разработке одного из самых распространённых устройств – полосового фильтра можно использовать разные интегриро-

ванные среды, чтобы убедиться в точности полученной модели. Микрополосковый полосовой фильтр представлен на рисунках 1 и 2.

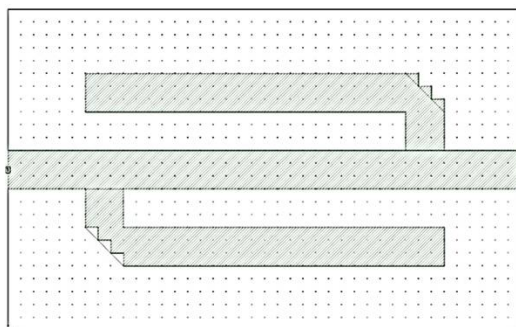


Рис. 1. Визуализация топологии микрополоскового полосового фильтра

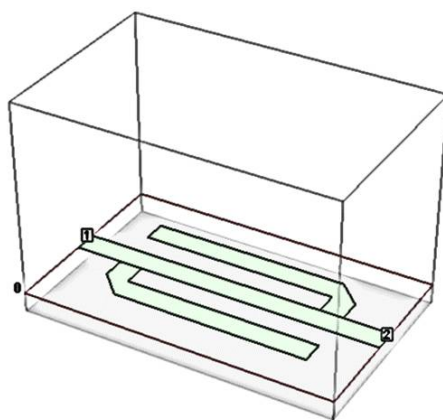


Рис. 2. Трехмерная модель микрополоскового полосового фильтра

Обзор САПР Sonnet Lite

Sonnet Lite – программное обеспечение с современным математическим аппаратом, предназначенное для микроволнового анализа функциональных радиоэлектронных средств (РЭС). Программный пакет позволяет проводить электромагнитное моделирование (EM) многослойных микроволновых структур [2], реализованных на различных линиях передачи. Пассивные навесные элементы описываются идеальными моделями. При этом в процессе EM-моделирования используется метод моментов (MoM), который основан на решении уравнений Максвелла для заданных граничных условий. Точность расчетов достигает 1%.

Рассматриваемая утилита имеет возможности подключаться к таким мощным пакетам проектирования РЭС как Cadence Virtuoso, Advanced Design System, AWR Microwave Office [3].

Электродинамическое моделирование микроволновых устройств

Рассмотрим основные шаги решения реальной проектной задачи. В данном случае это пример проектирования микрополоскового полосового фильтра. Процесс электродинамического моделирования микроволновых функциональных устройств в системе Sonnet Lite выполняется по такой схеме:

1. *Наглядное изображение микроволнового функционального устройства.* На данном этапе создаем эскиз будущего устройства. Проводим подготовительный расчет [4] с приближением размеров устройства и учетом электрофизических параметров элементов устройства.

2. *Настройка диэлектрических слоев конструкции.* На данном этапе устанавливаем относительную диэлектрическую проницаемость, толщину и тангенс угла диэлектрических потерь диэлектрических слоев будущего устройства.

3. *Установка размера ячейки сетки и размера корпуса устройства.* На данном этапе накладываем прямоугольную сетку на топологию микроволнового функционального устройства, а также указываем в настройках размер ячейки по оси x и y . Размер прямоугольного корпуса устройства указывается по координатам x , y и z .

4. *Настройка параметров металлических элементов топологии устройства.* На данном этапе указываем параметры металлических слоев будущего устройства (материал и параметры всех проводящих слоев).

5. *Установка элементов топологии на подложку устройства.* На данном этапе устанавливаем слои металлизации на наглядное изображение устройства при помощи встроенных инструментов Sonnet Lite. Слои металлизации устанавливаются согласно ранее указанным размерам.

6. *Установка портов на топологию микроволнового функционального устройства.* На данном этапе устанавливаем порты на входы и выходы будущего устройства при помощи встроенных инструментов Sonnet Lite.

7. *Настройка параметров АЧХ и ФЧХ микроволнового функционального устройства.* На данном этапе [5] указываем частотный диапазон, а также шаг изменения частоты. Этот процесс называется установкой S-параметров (S_{11} – коэффициент отражения, S_{12} – коэффициент передачи и т.д.).

Создание управляющей программы

Зачастую современные профессиональные САПР содержат внутри себя подпрограммы различного прикладного назначения. Например, это могут быть обширные модули для исследования модели конкретным численным методом [6]. В ходе конструкторской работы часто используются несколько САПР одновременно. Это необходимо, так как САПР отличаются друг от друга возможностями и методами математического моделирования и анализа средств связи для космических систем.

Представленная в работе управляющая программа создана для быстрого переключения между несколькими САПР. Это дает возможность пользователю оперативно запустить интегрированную среду не полностью, а только необходимый ему в момент проектной работы конкретный инструмент.

Интерфейс программного обеспечения для интеграции САПР представлен на рисунке 3.

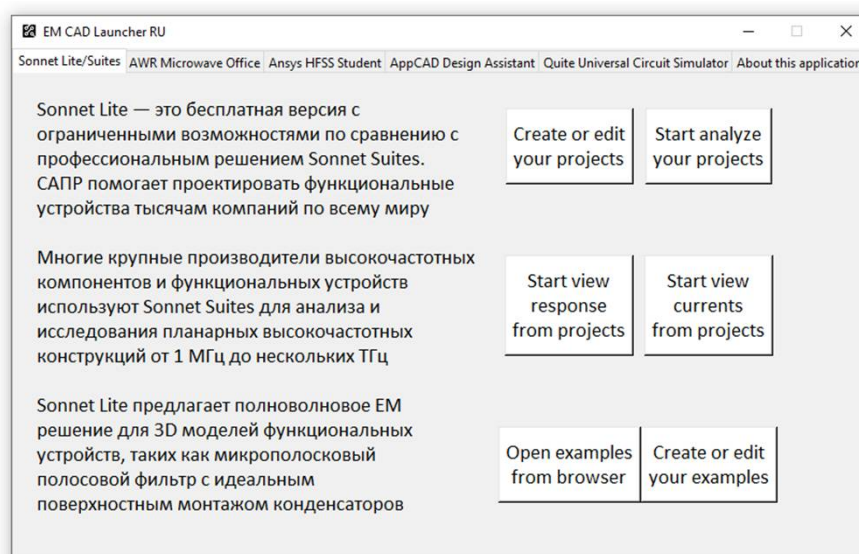


Рис. 3. Интерфейс интегрированной среды

Техническая реализация программного обеспечения

Универсальное приложение разработано с использованием высокоуровневого языка программирования общего назначения Python 3. Для создания графического интерфейса использовалась событийно-ориентированная библиотека Tkinter на основе средств Tk. Эта графическая библиотека по умолчанию содержится в стандартном наборе инструментов Python 3 и не требует дополнительной установки. Для упаковки программного кода в исполняемый файл использовалась библиотека PyInstaller. С помощью этой библиотеки можно собрать все файлы, модули и зависимости управляющей программы в одном месте, добавить к ним интерпретатор Python 3 и обернуть все компоненты в один исполняемый .exe файл. Приложение является кроссплатформенным, а значит полностью адаптировано для различных операционных систем: Microsoft Windows, Linux и MacOS.

Выводы

Разработана интегрированная среда проектирования микроволновых РЭС. Практическое применение новой управляющей программы позволяет совместить самые полезные инструменты проектирования и моделирования в одном универсальном приложении. Интегрированная среда существенно упрощает и ускоряет процесс создания устройств космической связи.

Библиографический список

1. Васильев Е.П. Современные САПР СВЧ и их особенности [Текст] / И.А. Ермолаев, И.М. Сомов // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2019: сб. тр. II междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.6./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т. 2019. – С. 174-181.
2. Васильев Е.П. Анализ электродинамических методов моделирования микроволновых устройств [Текст] / Е.П. Васильев. // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2019: сб. тр. II междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.6./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т. 2019. – С. 195-199.
3. Васильев Е.П. Технология компьютерного моделирования в среде Microwave Office [Текст]: метод. указания / Е.П. Васильев. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т. 2019. – С. 40.
4. Васильев Е.П. Анализ методов моделирования микроволновых устройств на примере полосового фильтра с расширенной полосой заграждения. // Вестник Рязан. гос. радиотех. университета. №72. 2020. – С. 62-70. (ВАК).
5. Васильев Е.П., Нгуен Данг Хоп, Лыу Тхань Дат. Полосовой фильтр на связанных микрополосковых линиях с двумя секторными резонаторами // Вестник Рязан. гос. радиотех. университета. №75. 2021. – С. 15-23. (ВАК).
6. Васильев Е.П., Нгуен Данг Хоп. Анализ численными методами конструктивных вариантов миниатюрных радарных резонансных элементов // Вестник Рязан. гос. радиотех. университета. №84. 2023. – С. 3-14. (ВАК).

УДК.621.372.8.049; ГРНТИ 47.41.29

ВЕРОЯТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЛЕКТИВНЫХ УСТРОЙСТВ МЕТОДОМ ЯДЕРНЫХ ОЦЕНОК

Е.П. Васильев, Т.Д. Лыу

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, evasiliev48@mail.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается вероятностное моделирование селективных устройств методом ядерных оценок.

Ключевые слова: вероятностное моделирование, селективное устройство, метод ядерных оценок.

PROBABILISTIC MODELING OF SELECTIVE DEVICES BY THE METHOD OF KERNEL ESTIMATES

E.P. Vasilyev, Luu Thanh Dat

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, evasiliev48@mail.ru*

The summary. In this paper, we consider probabilistic modeling of selective devices by the method of kernel estimates.

Keywords: probabilistic modeling, selective device, method of kernel estimates.

Определение характеристик качества селективных устройств методами моделирования приводит к задаче математической статистики – оцениванию законов распределения вектора выходных характеристик.

Для решения данной задачи алгоритм ориентируем на решение проектных задач ограниченного класса систем, что несколько снижает его универсальность, но в тоже время обеспечивает логическую связь с перспективным методом ядерных оценок и позволяет удовлетворить требованиям по быстродействию и точности вычислительного процесса.

Задача является разработкой универсального алгоритма проектирования селективных устройств с учетом комплексного влияния реально существующих конструктивно-технологических и эксплуатационных разбросов параметров. Применить метода ядерных оценок для более точного прогнозирования статистических характеристик проектируемых систем, обоснованного выбора конструктивно-технологических решений, режимов работы и эксплуатации, обеспечивающих при серийном производстве повторяемость выходных характеристик и серийно пригодность изделий при сокращении числа макетных испытаний [5,6].

Вероятностное моделирование

Систему выходных характеристик представим в виде:

$$Y_m = \Psi_m(\bar{k}_s, f_i), \quad m = \overline{1, n}; \quad s = \overline{1, c}; \quad i = \overline{1, p}, \quad (1)$$

где n – число внешних выходных характеристик;

c – число состояний или режимов функционирования системы;

p – число частотных точек на регулярной сетке $f_i \in Pf$;

\bar{k}_s – вектор внутренних параметров.

Функция (1) реализуется в табличном виде на основе математических операций над матрицами для соответствующих систем.

Введем случайный вектор выходных характеристик $\tilde{Y} = (\tilde{Y}_1, \dots, \tilde{Y}_n) \in R^n$. Пусть в ходе имитационного моделирования системы получена выборка $\tilde{Y}_1 = (\tilde{Y}_{11}, \dots, \tilde{Y}_{1N})^T, \dots, \tilde{Y}_n = (\tilde{Y}_{n1}, \dots, \tilde{Y}_{nN})^T$, состоящая из N реализаций n -мерного, случайного вектора \tilde{Y} с оценкой плотности распределения $\hat{f}(\bar{Y})$, тогда согласно [1]:

$$\hat{f}(\bar{Y}) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{h(N)} \cdot K \left[\frac{Y_1 - \tilde{Y}_{1i}}{h_1(N)}, \dots, \frac{Y_n - \tilde{Y}_{ni}}{h_n(N)} \right], \quad (2)$$

где $h_1(N), \dots, h_n(N)$ – коэффициенты вклада;

$K(\bar{g})$ – ядро представляет собой непрерывную функцию;

$$\bar{g} = (g_1, \dots, g_n) \in R^n, \quad g_1 = \frac{Y_1 - \tilde{Y}_{1i}}{h_1(N)}, \dots, g_n = \frac{Y_n - \tilde{Y}_{ni}}{h_n(N)}.$$

Ядро $K(\bar{\mathcal{G}})$ должно удовлетворять следующим условиям:

$$K(\bar{\mathcal{G}}) \geq 0; K(\bar{\mathcal{G}}) = K(-\bar{\mathcal{G}}); \int_{-\infty}^{\infty} K(\bar{\mathcal{G}}) d\bar{\mathcal{G}} = 1; \sup_{\bar{\mathcal{G}}} |K(\bar{\mathcal{G}})| = \infty; \int_{-\infty}^{\infty} |K(\bar{\mathcal{G}})| d\bar{\mathcal{G}} < \infty; \lim_{\mathcal{G}_i \rightarrow \infty} |\mathcal{G}_i K(\bar{\mathcal{G}})| = 0, i = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Тогда если последовательность положительных констант $\{h(N)\}$ такая, что $\lim_{N \rightarrow \infty} h^n(N) = 0$, то оценка $\hat{f}(\bar{Y})$ является асимптотически несмещенной. Если $\lim_{N \rightarrow \infty} Nh^n(N) = \infty$, тогда оценка $\hat{f}(\bar{Y})$ является асимптотически состоятельной. Если последовательность $\{h(N)\}$, стремящаяся к нулю, удовлетворяет предельному соотношению $\lim_{N \rightarrow \infty} Nh^{2n}(N) = \infty$, тогда оценка $\hat{f}(\bar{Y})$ является равномерно состоятельной оценкой плотности вероятности $f(\bar{Y})$.

Коэффициент вклада определим из выражения:

$$h(N) = \prod_{i=1}^n h_i(N). \quad (4)$$

Для мультипликативной формы ядра справедливо соотношение:

$$K(\bar{\mathcal{G}}) = \prod_{i=1}^n K_i(\mathcal{G}_i), \quad (5)$$

где $K_i(\mathcal{G}_i)$ – одномерное ядро, функция, зависящая только от одной переменной – i -ой компоненты вектора $\bar{\mathcal{G}}$.

Запишем первые моменты оценки (2) (математическое ожидание $M[\hat{f}(\bar{Y})]$ и $D[\hat{f}(\bar{Y})]$):

$$M[\hat{f}(\bar{Y})] = \int_{R^n} K(\bar{\mathcal{G}}) f(\bar{Y} - H_N \bar{\mathcal{G}}) d\bar{\mathcal{G}}, \quad (6)$$

$$D[\hat{f}(\bar{Y})] = \frac{1}{Nh(N)} \left\{ \int_{R^n} K^2(\bar{\mathcal{G}}) f(\bar{Y} - H_N \bar{\mathcal{G}}) d\bar{\mathcal{G}} - h(N) M^2[\hat{f}(\bar{Y})] \right\}, \quad (7)$$

где $H_N = \text{diag}(h_1(N), \dots, h_n(N))$ – диагональная матрица.

Обозначим моду плотности вероятности $f(\bar{Y})$ через \bar{Y}_0 , т.е. $\sup_{\bar{Y}} f(\bar{Y}) = f(\bar{Y}_0)$, оценку моды обозначим через \hat{Y}_0 , тогда $\sup_{\bar{Y}} \hat{f}(\bar{Y}) = \hat{f}(\hat{Y}_0)$. Если последовательность положительных констант $\{h(N)\}$, стремящаяся к нулю такая, что $\lim_{N \rightarrow \infty} Nh^2(N) = \infty$, то оценка \hat{Y}_0 является равномерно состоятельной оценкой моды \bar{Y}_0 т.е.

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P \left[\left| \hat{Y}_0 - \bar{Y}_0 \right| < \varepsilon_i \right] = 1. \quad (8)$$

Среднеквадратическая ошибка оценки (2) равна:

$$\Delta(\bar{Y}) = M \left[\hat{f}(\bar{Y}) - f(\bar{Y}) \right]^2 = B^2 \left[\hat{f}(\bar{Y}) \right] + D \left[\hat{f}(\bar{Y}) \right], \quad (9)$$

где $B \left[\hat{f}(\bar{Y}) \right] = M \left[\hat{f}(\bar{Y}) \right] - f(\bar{Y})$ – смещение оценки.

Тогда интегральная среднеквадратическая ошибка будет записана в следующем виде:

$$J = \int_{-\infty}^{\infty} \Delta(\bar{Y}) d\bar{Y}. \quad (10)$$

В качестве критериев глобальной точности оценки $\hat{f}(\bar{Y})$ можно рассматривать функционалы вида:

$$\max \frac{|\hat{f}(\bar{Y}) - f(\bar{Y})|}{\sqrt{f(\bar{Y})}}; \int_{-\infty}^{\infty} \frac{[\hat{f}(\bar{Y}) - f(\bar{Y})]^2}{f(\bar{Y})} d\bar{Y}. \quad (11)$$

Выражение (2) преобразуется с учётом (4) и (5):

$$\hat{f}(\bar{Y}) = \frac{1}{N} \left[\prod_{i=1}^n h_i(N) \right]^{-1} \sum_{j=1}^N \left[\prod_{i=1}^n K_i(\vartheta_j) \right]. \quad (12)$$

Путём минимизации интегральной среднеквадратичной ошибки было получено выражение [1] для оптимальной формы ядра, представленное в следующем виде:

$$K_{iopt}(\vartheta_i) = \begin{cases} \frac{3}{4\sqrt{5}} \left(1 - \frac{\vartheta_i^2}{5}\right), & |\vartheta_i| \leq \sqrt{5} \\ 0, & |\vartheta_i| > \sqrt{5} \end{cases} \quad (13)$$

Несколько исследований предлагают использовать следующую зависимость для вычисления $h(N)$:

$$h(N) = \hat{\sigma}_N N^{-\frac{1}{5}}, \quad (14)$$

где $\hat{\sigma}_N^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\tilde{Y}_i - \hat{M}[Y])^2$; $\hat{M}[Y] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \tilde{Y}_i$ – оценки дисперсии и математического ожидания.

Рассмотрим двухмерный случай для выходных характеристик $Y_1=L$ и $Y_2=S_v$. Согласно (12):

$$\hat{f}(L, S_v) = \frac{N^{-\frac{3}{5}}}{\hat{\sigma}_L \cdot \hat{\sigma}_{S_v}} \cdot \sum_{i=1}^N \left\{ K_1 \left[\frac{L - \tilde{L}_i}{h_1(N)} \right] K_2 \left[\frac{S_v - \tilde{S}_{vi}}{h_2(N)} \right] \right\}, \quad (15)$$

где $h_1(N) = \hat{\sigma}_L N^{-\frac{1}{5}}$; $h_2(N) = \hat{\sigma}_{S_v} N^{-\frac{1}{5}}$.

Согласно уравнению (15), степень рассеяния L и S_v в совокупности может быть охарактеризована площадью ограниченной эллипсом, которая соответствует определенной вероятности P_Γ попадания произвольной точки (L, S_v) внутрь этого эллипса. Вероятность выхода годных можно оценить следующим образом:

$$P_{\Gamma} = \int_{L_n}^{L_b} \int_{S_n}^{S_b} \hat{f}(L, S_v) dL dS_v, \quad (16)$$

где L_n, L_b, S_n, S_b – нижние и верхние границы допустимых выходных характеристик при фиксированном параметре f_i .

Для многомерного случая мы можем записать:

$$P_{\Gamma} = \int_{Y_{1n}}^{Y_{1b}} \cdots \int_{Y_{nn}}^{Y_{nb}} \hat{f}(\bar{Y}) dY_1 \cdots dY_n, \quad (17)$$

В одномерном случае уравнение (15) упрощается:

$$\hat{f}(Y_k) = \frac{1}{h(N)N} \sum_{i=1}^N K \left[\frac{Y_k - \tilde{Y}_{ki}}{h(N)} \right], \quad (18)$$

где $\tilde{Y}_{ki} = (\tilde{Y}_{k1}, \dots, \tilde{Y}_{kN})$, Y_k – текущее значение контролируемого параметра.

Введем обозначение $f(S_v)$ – плотность вероятности коэффициента стоячей волны S_v . Тогда оценку $\hat{f}(S_v)$ определим как:

$$\hat{f}(S_v) = \frac{1}{h(N)N} \sum_{i=1}^N K \left[\frac{S_v - \tilde{S}_{vi}}{h(N)} \right]. \quad (19)$$

Отсюда непараметрическую оценку $\hat{f}(L|S_v)$ условной плотности вероятности (учитывая, что $h(N) = h_2(N)$, $K[\cdot] = K_2[\cdot]$) запишем в виде:

$$\hat{f}(L|S_v) = \frac{\hat{f}(L, S_v)}{\hat{f}(S_v)} = \frac{N^{1/5}}{\hat{\sigma}_L} \frac{\sum_{i=1}^N \left\{ K_1 \left[\frac{L - \tilde{L}_i}{h_1(N)} \right] K_2 \left[\frac{S_v - \tilde{S}_{vi}}{h_2(N)} \right] \right\}}{\sum_{i=1}^N K_2 \left[\frac{S_v - \tilde{S}_{vi}}{h_2(N)} \right]}. \quad (20)$$

Полученное выражение может быть расширено на многомерную условную плотность вероятности.

Проверку гипотезы о виде оценки функции распределения мы проведем с использованием критерия Колмогорова [2]. Максимальное значение модуля разницы между статистической функцией распределения $\hat{F}(\bar{Y})$ и соответствующей теоретической функцией $F(\bar{Y})$:

$$\delta = \max \left| \hat{F}(\bar{Y}) - F(\bar{Y}) \right|, \quad (21)$$

где $\hat{F}(\bar{Y}) = \int_{-\infty}^{\bar{Y}} \hat{f}(\bar{Y}) d\bar{Y}$, $F(\bar{Y}) = \int_{-\infty}^{\bar{Y}} f(\bar{Y}) d\bar{Y}$.

Далее определяется величина:

$$\lambda_{\Gamma} = \delta_{\Gamma} \sqrt{N}. \quad (22)$$

Задаваясь уровнем значимости α_{Γ} критерия, который определяет вероятность ошибки первого рода (ложного отклонения гипотезы, когда она верна), исследователи находят в таблице теоретический порог $Z_{1-\alpha}$ для принятия гипотезы. Затем этот порог сравнивают со значением статистики λ_{Γ} .

Решающее правило принимается гипотеза:

$$\begin{cases} H_0, \text{если } -\lambda_r < Z_{1-\alpha} \\ H_1, \text{если } -\lambda_r \geq Z_{1-\alpha} \end{cases}, \quad (23)$$

где $Z_{1-\alpha}$ при заданном уровне значимости α_r находят из таблицы, часть которой приведена;
 H_1 – конкурирующая гипотеза.

Таблица 1. Значение порога $Z_{1-\alpha}$ уровня значимости по критерию Колмогорова.

α_r	0,1	0,05	0,02	0,01	0,001
$Z_{1-\alpha}$	1,22	1,36	1,52	1,63	1,95

В заключение отметим, что программная реализация изложенного метода [3, 4], показала на ряде тестовых и проектных задач, что предлагаемый подход к вероятностному моделированию, в сравнении с методом гистограмм позволяет в 2-3 раза снизить дисперсию оценки многомерной функции плотности распределения выходных характеристик и рассчитать все вероятностные параметры на примере селективных устройств.

Библиографический список

1. Шалыгин А.С., Палагин Ю.Н. Прикладные методы статистического моделирования. Л.: Машиностроение. 1986, 320 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1964. 576 с.
3. Васильев Е.П. Компьютерное моделирование интегральных цепей СВЧ с учетом дестабилизирующих факторов. Известия вузов. Радиоэлектроника. Т.42, №5, 1999. С. 53-58.
4. Васильев Е.П. Анализ методов моделирования микроволновых устройств на примере полосового фильтра с расширенной полосой заграждения. // Вестник Рязан. гос. радиотех. университета. № 72. 2020. С. 62-70.
5. Васильев Е.П., Нгуен Данг Хоп, Лыу Тхань Дат. Полосовой фильтр на связанных микрополосковых линиях с двумя секторными резонаторами // Вестник Рязан. гос. радиотех. университета. № 75. 2021. С. 15-23.
6. Васильев Е.П. Моделирование микрополосковых делителей-сумматоров submodule усилителей мощности // Вестник Рязан. гос. радиотех. университета. № 71. 2020. С. 23-33.

УДК.621.372.8.049; ГРНТИ 47.41.29

АЛГОРИТМ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕЛЕКТИВНЫХ УСТРОЙСТВ МЕТОДОМ ЯДЕРНЫХ ОЦЕНОК

Е.П. Васильев, Т.Д. Лыу

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, evasiliev48@mail.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается алгоритм моделирования селективных устройств методом ядерных оценок.

Ключевые слова: алгоритм моделирования, селективное устройство, метод ядерных оценок

ALGORITHM FOR SIMULATING SELECTIVE DEVICES USING THE METHOD OF NUCLEAR VALUES

E.P. Vasiliev, Luu Thanh Dat

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, evasiliev48@mail.ru

The summary. This paper discusses an algorithm for modeling selective devices using the kernel estimation method.

Keywords: modeling algorithm, selective device, method of kernel estimates.

Введение

Логика реализации математического обеспечения системы автоматизированного проектирования (САПР) микроволновых устройств потребовала разработки методов вероятностно-статистического моделирования и многопараметрической оптимизации с целью повышения точности и расширения класса решаемых проектных задач.

Вероятностные подходы в современных САПР базируются на численном методе Монте-Карло, который реализует большой объем стохастических параметров исследуемой модели. При этом требуется обеспечить достаточно точное совпадение вероятностных характеристик с аналогичными параметрами исследуемого объекта. Одним из основных параметров при этом является вероятность выхода годных, которая рассчитывается для заданной целевой функции. С целью увеличения вероятности выхода годных селективных устройств при вариации допусков на конструктивные и электро-физические параметры применяются различные методы оптимизации.

Методы оптимизации

Random (Local) – случайный (локальный) метод, который целесообразно использовать при большом числе варьируемых параметров. Переменные изменяются со случайным шагом, который обеспечивает генератор случайных чисел встроенный в инженерный САПР. Данный метод позволяет успешно определить ближайший локальный экстремум. Вероятностный оптимизатор эффективно работает как с большим числом варьируемых параметров, так и с малым при незначительных временных затратах.

Random (Global) – случайный (глобальный). Метод выбирает случайным образом из доверительного интервала варьируемые параметры. Наилучшая эффективность оптимизации реализуется при малом числе варьируемых параметров, при этом целевая функция должна быть нерегулярной или дискретной. При большом числе варьируемых переменных можно получить неудовлетворительные результаты. Целесообразно сочетать данный метод с методом *Random (Local)*, для более точного определения экстремальной точки.

Gradient Optimization – градиентная оптимизация. Одним из мощных методов этого класса является метод *Флетчера-Пауэлла* (метод переменной метрики). Он требует многократного анализа на каждой итерации. Метод хорошо работает для селективных устройств и не критичен при увеличении числа итераций к временным затратам.

Генетические алгоритмы. Используя две текущие точки мутации и пересечения гена создаются новые точки. Генетические алгоритмы являются одним из наиболее эффективных инструментов в области оптимизации и поиска решений. Они основаны на принципах эволюции, подобных тем, которые происходят в природе. В генетических алгоритмах используются гены и хромосомы для генерации новых решений.

Одна из ключевых операций в генетических алгоритмах – это мутация. Мутация представляет собой случайное изменение гена в хромосоме. Существует несколько различных точек мутации, которые могут использоваться. Например, один из подходов – это случайный выбор одной из позиций в гене и замена его на случайное значение. Это помогает внести разнообразие в популяцию, что может быть полезным для поиска оптимального решения.

Еще одним важным аспектом генетических алгоритмов является пересечение гена. Пересечение гена заключается в объединении генов двух хромосом, чтобы создать новую хромосому. Существует несколько способов пересечения гена, например, одноточечное и многоточечное пересечение. При одноточечном пересечении выбирается случайная точка в гене, и значения генов после этой точки меняются между двумя родительскими хромосомами. При многоточечном пересечении выбираются несколько случайных точек, и значения генов между этими точками меняются.

Таким образом, генетические алгоритмы используют гены и хромосомы для создания новых точек решений. Они сочетают в себе операции мутации и пересечения гена, чтобы генерировать разнообразные и потенциально оптимальные решения. Этот подход основан на принципах эволюции, и может быть эффективным в решении различных задач оптимизации.

Simplex Optimization. Симплексная оптимизация, также известная как симплексный поиск, является одним из важных методов оптимизации. Основанный на методе Нелдера-Мида, он представляет собой развитие изначального метода Спендли, Хекста и Химворта.

Симплексный поиск отличается от других методов оптимизации, таких как градиентный, своей устойчивостью и способностью находить точный оптимум. В то время как градиентный метод может «блуждать» вблизи оптимума, симплексный метод усиленно работает над тем, чтобы найти именно то решение, которое является наиболее оптимальным.

Одной из особенностей симплексного метода является его относительная медлительность. Это связано с тем, что метод проходит через несколько итераций, чтобы найти оптимальное решение. Однако, несмотря на это, симплексная оптимизация обладает высокой степенью надежности и устойчивости, что делает ее привлекательным выбором для оптимизации в сложных задачах.

Симплексный метод основан на использовании простого многогранника, называемого симплексом, в многомерном пространстве. В каждой итерации метод анализирует значение функции в вершинах симплекса и перемещается к новым вершинам с целью улучшения результата. Этот процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнут точный оптимум.

Основные преимущества симплексной оптимизации заключаются в ее способности находить точные решения и обеспечивать устойчивость в сложных задачах. Ее медлительность компенсируется высокой надежностью, что делает этот метод привлекательным инструментом для многих приложений в области оптимизации.

Таким образом, симплексный метод является мощным инструментом оптимизации, который способен найти точный оптимум в сложных задачах. Его особенности включают высокую устойчивость и надежность, что делает его привлекательным выбором для многих приложений, где точность и надежность являются ключевыми критериями успеха.

Simulated Annealing (Simplex). В современном мире, где количество данных растет с каждым днем, оптимизация становится одной из ключевых задач. Какими методами можно найти оптимальное решение в таких случаях? В одной из наиболее эффективных и широко применяемых техник можно назвать имитируемый "отжиг" в сочетании с симплексным методом.

Имитируемый "отжиг" – это адаптивный алгоритм оптимизации, основанный на аналогии с процессом отжига металла. В данном случае, "отжиг" используется для нахождения глобального оптимума в пространстве возможных решений.

Суть алгоритма заключается в следующем: на каждой итерации выбирается новое решение из окрестности текущего, а затем происходит оценка этого решения по функции цели. Если новое решение лучше предыдущего, оно принимается. Если новое решение хуже, оно принимается с некоторой вероятностью, которая зависит от вероятностного отклонения и температуры. Постепенно температура снижается, что позволяет переходить к более локальным оптимумам.

Использование имитируемого "отжига" с симплексным методом позволяет получить более точные и надежные результаты в задачах оптимизации. Комбинируя эти методы, можно достичь глобального оптимума в сложных и многомерных пространствах.

Таким образом, имитируемый "отжиг" в сочетании с симплексным методом является мощным инструментом для решения задач оптимизации. Эти методы позволяют найти оптимальное решение даже в сложных условиях, где количество данных большое и пространство возможных решений многомерно.

Исходя из вышеизложенного, для решения задач вероятностного моделирования селективных устройств выбран метод переменной метрики, а **целью работы** является разработка алгоритма вероятностного моделирования с учетом особенностей функционирования и математических моделей селективных устройств.

Алгоритм вероятностного моделирования

Рассмотрим блок-схему алгоритма анализа и вероятностного моделирования селективных устройств. Основные блоки, подблоки, а также связи между ними, реализующие рассмотренный алгоритм, приведены на рисунке 1 [1, 2].

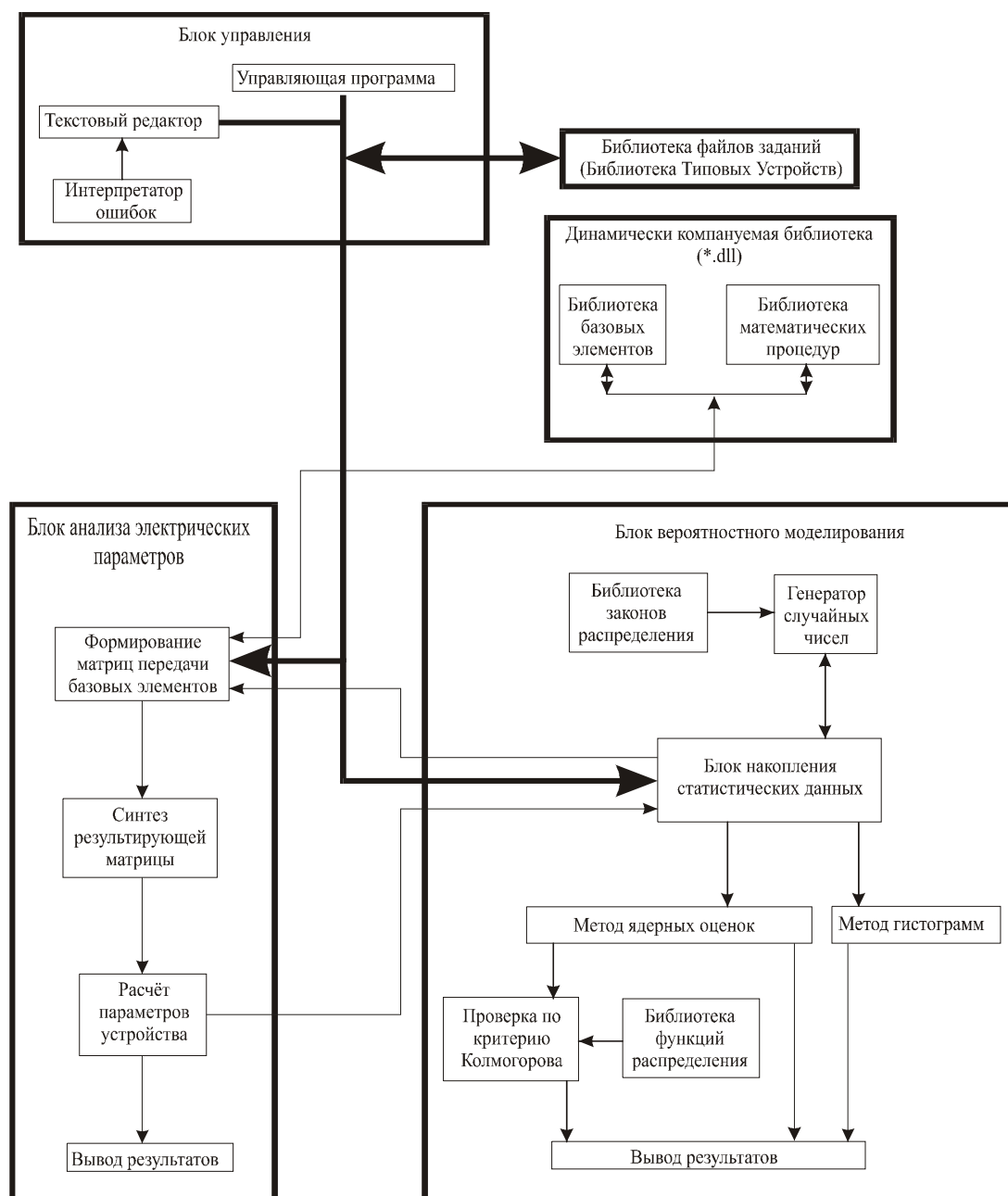


Рис. 1. Структурная схема алгоритма анализа и вероятностного моделирования селективных устройств

Блок управления обеспечивает запуск выбранного режима работы программы и подключение соответствующих блоков и библиотек. Блок вероятностного моделирования функ-

ционирует во взаимодействии с блоком анализа, реализующим моделирование селективных устройств методом подсхем [3, 4]. Динамически компонуемые библиотеки базовых элементов (БЭ) и математических процедур подключены к подблоку формирования матриц передачи БЭ и также используются блоком оптимизации.

Из блока управления типизированный файл задания (ФЗ) поступает в блок накопления статистических данных. Генератор случайных чисел вставляет в ФЗ случайные значения соответствующих внутренних параметров \tilde{k}_s . В блоке формирования матриц передачи БЭ на основе ФЗ просчитывается первая совокупность выходных характеристик \tilde{Y} на частотах f_i . Данный итерационный процесс повторяется N-раз и значения \tilde{Y} запоминаются в блоке накопления статистических данных. Затем осуществляется обработка статистической информации методом ядерных оценок, либо методом гистограмм, а также проверка выдвинутой гипотезы о законе распределения по критерию Колмогорова.

Особенностью разработанной в среде Delphi программы является необходимость обработки большого количества случайных величин с обеспечением постоянного доступа к каждой из них. Данная задача решена с помощью компоненты "Stringgrid", которая представляет на экране сетку с разделенными строками, а в памяти – динамический массив, позволяющий хранить большие объемы информации и обрабатывать каждый элемент массива. Программные генераторы случайных величин, как правило, обеспечивают получение дискретной случайной величины равномерно распределенной на интервале (0, 1). В большинстве случаев конструктивные и электрические параметры микроволновых устройств распределены по законам, близким к нормальному [5]. Поэтому осуществлено преобразование равномерного распределения случайных величин в нормальное. При составлении ФЗ на статистическое моделирование, кроме номинального значения вероятностного конструктивного или электрического параметра добавляется четыре дополнительных – нижнее и верхнее отклонение параметра в процентах, 1 – для нормального закона распределения (для других законов соответственно – 2,3...), 1 или 0 для навесного и формируемого на подложке элемента, соответственно. Для полосковой линии (ПЛ) между шириной проводника w его длиной ℓ и зазором между проводниками s существует корреляция с коэффициентами $R_{ws} \approx -1$, $R_{w\ell} \approx 1$. Поэтому четыре дополнительных параметра задаются только на w , а случайные величины ℓ и s определяются следующим образом:

$$\tilde{s} = s_n + w_n - \tilde{w}; \quad \tilde{\ell} = \ell_n - w_n + \tilde{w},$$

где w_n , s_n , \tilde{w} , \tilde{s} – номинальные и случайные значения конструктивных параметров.

Заключение

Предложен алгоритм вероятностного моделирования селективных устройств, основанный на методах гистограмм, ядерных оценок, Монте-Карло, Флетчера-Паулла и цепных матриц. При этом в математических моделях селективных устройств учитывается влияние, дестабилизирующих факторов, а также потеря, дисперсии, шероховатостей и многослойности проводящих сред. Это позволило повысить точность вычисления вероятностных параметров.

Библиографический список

1. Васильев Е.П. Имитационное моделирование сложных систем СВЧ методом ядерных оценок // Вестник Рязанской гос. радиотехн. академ. Рязань, РГРТА. Вып. 3. 1998. С.32-37.
2. Vasilev E.P., Kravchenko M.A. Probability modelling of microwave managing devices by a method of nuclear valuations // Proceedings of 8th International Crimean microwave conference CriMiCo'98. 14-17 September 1998, Sevastopol, Crimea, Russia. V. 1. P. 404-407.

3. Васильев Е.П. Алгоритм моделирования микроволновых селективных и управляющих устройств // Новые информационные технологии: Межвуз. сб. науч. тр. Рязань, РГРТА. 1999. С. 31-41.

4. Vasilev E.P., Sevostjnov V.A. Automation structurally-technological designing of planar managing microwave devises // Proceedings of 8th International Crimean microwave conference CriMiCo'98. 14-17 September 1998, Sevastopol, Crimea, Russia. V. 1. P. 400-403.

5. Васильев Е.П. Оценка погрешностей параметров диэлектрических подложек и микрополосковых фильтров // Микроминиатюризация радиоэлектронных устройств: Межвуз. сб. науч. тр. Рязань, РРТИ. Вып.1. 1979. С. 94-96.

6. Конструкторско-технологические основы проектирования полосковых микросхем / И.П. Бушминский, А.Г. Гудков, В.Ф. Дергачёв и др.; Под ред. И.П. Бушминского. М.: Радио и связь, 1987. 272 с.

УДК 004.932; ГРНТИ 28.23.15

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ВЫСОКОТОЧНОЕ СОВМЕЩЕНИЕ РАЗНОВРЕМЕННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ОТ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Н.В. Елатников, А.Э. Москвитин

*Рязанский государственный университет радиотехнический университет имени
В.Ф. Уткина, Российская Федерация, Рязань, qshauu@gmail.com*

Аннотация. Для обработки изображений, полученных от систем дистанционного зондирования Земли зачастую удобно, если они совмещены географически. Целью работы является определение сдвига между снимками, сделанными спутником в разное время, и совмещение их для дальнейшей обработки. В данной программе изображение разбивается на фрагменты, для них определяется необходимое значение сдвига с помощью взаимно-корреляционной функции. По найденным сдвигам фрагментов с помощью метода наименьших квадратов строится полином, и само смещение одного из изображений производится уже с его помощью.

Ключевые слова: взаимно-корреляционная функция, дистанционное зондирование Земли, метод наименьших квадратов.

GEOMETRIC HIGH-PRECISION COMBINATION OF MULTI-TIME IMAGES FROM HYDROMETEOROLOGICAL SPACE SYSTEMS

N.V. Elatnikov, A.E. Moskvitin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, qshauu@gmail.com*

The summary. It is often convenient to process images obtained from Earth remote sensing systems if they are geographically combined. The goal of the work is to determine the shift between satellite images taken at different times and combine them for further processing. In this program, the image is divided into fragments, for which the required shift value is determined using a cross-correlation function. Using the found shifts of fragments, a polynomial is constructed using the least squares method, and the displacement of one of the images itself is already performed with its help.

Keywords: cross-correlation function, remote sensing of the Earth, the least squares method.

Получаемые со спутников дистанционного зондирования Земли снимки используются в различных целях, в том числе для анализа движения облаков и скорости ветра. Для эффективного решения тематических задач спутниковые изображения, полученные в различных сеансах связи со спутником, должны быть высокоточно геометрически совмещены и геодезически привязаны. В статье рассматривается технология автоматического определения геометрического рассогласования между разновременными изображениями одной сцены наблюдения и последующего их совмещения.

Основой технологии является применение взаимно-корреляционной функции [1], которая характеризует степень рассогласования двух изображений. Базовое и анализируемое

изображения равномерно разбиваются на фрагменты. Для каждого положения анализируемого фрагмента по горизонтали и вертикали осуществляется расчет коэффициента корреляции. Максимум корреляционной функции покажет положение максимального совпадения фрагментов. Таким образом, для всего набора пар фрагментов формируется набор опорных точек, для которых известны смещения сюжета. С помощью метода наименьших квадратов строится полином, аппроксимирующий итоговую функцию геометрического совмещения изображений по набору найденных точек. Метод наименьших квадратов основан на минимизации суммы квадратов отклонений заданных функций от экспериментальных входных данных.

Технология совмещения изображений включает несколько этапов.

1. На вход подаются два снимка – базовый и сдвигаемый, которые должны быть одинакового размера и иметь формат tiff.

2. На снимках выделяются контуры объектов с помощью оператора Кэнни [2] – алгоритма обнаружения границ объектов, который состоит из следующих шагов:

1) сглаживание изображения с помощью гауссовского размытия для уменьшения шума на изображении;

2) применение оператора Собеля для вычисления градиента яркости в каждой точке изображения:

$$f = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}, \quad (1)$$

где G_x, G_y – изображения, полученные путем применения «горизонтальной» и «вертикальной» маски;

3) подавление немаксимумов – определяются локальные максимумы в направлении градиента, чтобы получить тонкие границы;

4) пороговая фильтрация для определения значений пикселей, которые будут рассматриваться как границы;

5) отслеживание границ с использованием метода обнаружения связанных компонент для отслеживания и объединения пикселей границ.

3. Снимки разбиваются на фрагменты небольшого размера. После этого производится их фильтрация, во время которой отбрасываются элементы, дальнейшая обработка которых бессмысленна (например, попавшие в кадр участки космоса, или фрагменты с низкой контрастностью).

3. Рассчитывается взаимно-корреляционная функция для соответствующих пар фрагментов, и ищется ее экстремум:

$$p(\alpha_{ij}, \beta_{ij}) = \frac{1}{\sigma_{ij}\sigma_{vj}} \left(\frac{1}{M_F N_F} \sum_{m=0}^{M_F-1} \sum_{n=0}^{N_F-1} Q_{vj}(m, n) Q_{ij}(m + \alpha_{ij}, n + \beta_{ij}) - \bar{Q}_{vj} \bar{Q}_{ij} \right), \quad (2)$$

где σ_{ij}, σ_{vj} – среднеквадратическое отклонение;

$\bar{Q}_{vj}, \bar{Q}_{ij}$ – среднее значение яркости j -й пары фрагментов изображений;

M_F, N_F – размеры фрагментов;

α_{ij}, β_{ij} – сдвиги фрагмента по осям x и y .

Функция рассчитывается для сдвигов, от 0 до примерно равных четверти длины фрагмента. Значение сдвигов, при которых получено максимальное значение корреляционной функции, считается целочисленным значением сдвига соответствующих фрагментов входных изображений с координатами i, j .

4. Производится уточнение сдвига между одноименными фрагментами до долей пикселя путем аппроксимации корреляционной функции параболой с помощью метода наименьших квадратов [3]:

$$R(\alpha, \beta) = \gamma_{00} + \gamma_{10}\alpha + \gamma_{01}\beta + \gamma_{11}\alpha\beta + \gamma_{20}\alpha^2 + \gamma_{02}\beta^2 \quad (3)$$

Уточненным сдвигом принимаются значения α, β , при которых функция (3) достигает максимума.

5. Используя метод наименьших квадратов, по значениям α, β для всех фрагментов, для которых вычислялась взаимно-корреляционная функция, вычисляются коэффициенты γ_{kl} для двух полиномов, описывающих сдвиг по осям x и y , на которые необходимо переместить изображение для сравнения. Эти полиномы имеют вид:

$$S(\alpha, \beta) = \gamma_{00} + \gamma_{10}\alpha + \gamma_{01}\beta + \gamma_{11}\alpha\beta + \gamma_{20}\alpha^2 + \gamma_{02}\beta^2 + \gamma_{22}\alpha^2\beta^2 + \gamma_{30}\alpha^3 + \gamma_{03}\beta^3 + \gamma_{33}\alpha^3\beta^3 + \gamma_{40}\alpha^4 + \gamma_{04}\beta^4 + \gamma_{44}\alpha^4\beta^4 \quad (4)$$

6. Производится сдвиг изображения для сравнения относительно базового с помощью полиномов вида (4), полученных на предыдущем шаге.

Рассмотренная технология была реализована в программном обеспечении обработки данных от гидрометеорологических космических систем «Арктика-М» и «Электро-Л». Экспериментальные исследования показали эффективность предложенных подходов. Точность совмещения изображений соседних сеансов составила 1 пиксель, что позволило значительно повысить эффективность дальнейшей тематической обработки космических снимков.

Библиографический список

1. Антонушкина С.В., Гуров В.С., Егошкин Н.А. и др. Современные технологии обработки данных дистанционного зондирования Земли / Под ред. В.В. Еремеева. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2015. 460 с.
2. Прохоренок Н.А. OpenCV и Java. Обработка изображений и компьютерное зрение / Н.А. Прохоренок. - СПб.: BHV, 2018. - 320 с.
3. Гусев С. И., Егошкин Н.А., Еремеев В.В., Москвитин А.Э., Кузнецов А. Е., Ушенкин В.А. Цифровая обработка данных радиолокационного зондирования Земли из космоса. М: КУРС, 2023. 272 с.

УДК.621.372.8.049.75

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ С УЧЕТОМ ИНТЕГРАЛЬНЫХ КРИТЕРИЕВ КАЧЕСТВА

Е.П. Васильев, Д.Х. Нгуен

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, evasiliev48@mail.ru

Аннотация. В работе рассматриваются методы оптимизации переключателей с использованием интегральных критериев качества, предлагается подход к решению многокритериальных задач оптимизации, учитывающий вероятностные характеристики критериев эффективности. В статье также представлен метод последовательной оптимизации для улучшения надежности и других показателей качества системы.

Ключевые слова: оптимизация, переключатели, интегральные критерии качества, многокритериальная оптимизация, аддитивные целевые функции, метод последовательной оптимизации, множественные переменные.

OPTIMIZATION OF SWITCHES CONSIDERING INTEGRAL QUALITY

E.P. Vasiliev, D.H. Nguyen

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, evasiliev48@mail.ru

The summary. This paper explores optimization methods in the context of switches, incorporating integral quality criteria. It proposes an approach to solving multi-criteria optimization problems, taking into account the probabilistic characteristics of efficiency criteria. The article also presents a sequential optimization method to enhance system reliability and other quality metrics.

Keywords: optimization, switches, integral quality criteria, multi-criteria optimization, additive objective functions, sequential method, multiple variables.

Обоснование выбора метода оптимизации

Проведенный сравнительный анализ локальных методов оптимизации функций многих переменных [1-4] позволяет сделать следующие выводы:

1. Среди методов нулевого порядка (прямого поиска) наилучшими являются методы Розенброка и Пауэлла. Первый из методов целесообразно использовать при большом числе варьируемых параметров ($\bar{k}_v > 10$), второй – при минимизации сложных целевых функций, которые характерны для ряда технических и экономических задач.

2. Среди методов первого порядка лучшими по критериям быстродействия являются методы Дэвидсона-Флетчера-Пауэлла и Гольдфарба. Поскольку последний не критичен к ошибкам в определении положения минимума по направлению и значениям производных целевых функций, то его использование в задачах оптимизации предпочтительнее в сравнении с градиентными методами. К общим недостаткам градиентных методов, препятствующих их применению в задачах оптимального синтеза, можно отнести следующие эффекты итерационных вычислительных процессов. Во-первых, при способе исключения ограниченный тип дискретности с помощью замены переменных имеет место так называемое явление “прилипания”. Суть его заключается в том, что если в процессе оптимизации градиентным методом компонент k_j вектора \bar{k} принимает свое предельное значение, например, $k_{j_{\max}}$, то уже никакого другого значения он принять не сможет, k_j как бы “прилипает” к границе $k_{j_{\max}}$. Данный эффект очевидно связан с выполнением условия $\partial \bar{Y} / \partial k_j = 0$ в граничных точках $k_{j_{\max}}$. Во-вторых, в минимаксных формулировках оптимизационных задач в общем случае функция цели не является гладкой, что также исключает возможность применения градиентных методов.

3. Методы второго порядка в связи со значительными трудностями машинной реализации для оптимизации практически используются редко.

Задача отыскания глобального минимума с адаптацией распределения проб гарантированно решается лишь случайным перебором с $N \rightarrow \infty$ (где N – число независимых испытаний). Поэтому следует отыскивать состояние, показатель качества в котором достаточно близок к значению показателя в глобальном экстремуме. Для задач оптимизации сложных систем в большинстве случаев применяется многоэкстремальная целевая функция близкая к квадратичной, которая реализуется численными методами и может быть как дифференцируемой, так и не дифференцируемой. Поэтому для данного класса целевых функций целесообразно выбрать метод многопараметрической оптимизации Пауэлла [1], который не требует дифференциальных операций и гарантированно сходится за конечное число итераций для квадратичных функций. В тоже время в большинстве случаев в окрестностях точек локальных минимумов аддитивные целевые функции близки к квадратичным. Данный метод использует в нашем случае процедуру поиска линейного минимума, основанную на методе квадратичной аппроксимации, который позволяет сократить число итераций. Случайные начальные условия реализуем методом Монте-Карло с использованием блока генератора случайных чисел.

Таким образом, применим естественный прием при отыскании глобального экстремума, а именно комбинацию случайных начальных условий с локальным поиском. При этом поиск производится методом многопараметрической оптимизации Пауэлла, совместно с методом квадратичной аппроксимации, но каждый раз из случайно выбранных начальных условий. Локальный минимум – результат, каждого локального этапа запоминается и сравнивается с локальным минимумом последующих этапов, из которых выбирается наименьший.

Данный алгоритм случайного перебора локальных минимумов применим при их большом числе. Если глобальный минимум лежит на дне оврага, когда не работают локальные методы, этот метод тоже не пригоден, однако данный случай для рассматриваемого

класса проектных задач маловероятен. При этом возникает проблема практической реализации вычислительного процесса с минимальными временными затратами и с достаточно высокой точностью, что отражает диалектическое противоречие, с которым постоянно сталкивается исследователь.

Особенности конструирования целевых функций для многокритериальной оптимизации

Результатом компьютерного моделирования является получение таблично заданных функций выходных характеристик, которые определены системой уравнений:

$$Y_m = \Psi_m(\bar{k}_s, f_i), \quad m = \overline{1, n}; \quad s = \overline{1, c}; \quad i = \overline{1, p}. \quad (1)$$

Критерии эффективности $L_m(\bar{k}_s, f_i)$ определяются численными методами с использованием соотношений (1) и имеют вероятностный характер. На основании анализа критериев эффективности составляется аддитивная целевая функция F с учетом особенностей функционирования системы. Тогда задачу оптимизации сформулируем в общем виде следующим образом:

$$F(\bar{k}_s^*, f_i) = \min F(\bar{k}_s, f_i), \quad (2)$$

$$\bar{k}_v \in R,$$

$$R = \{\bar{k}_v | G_m(\bar{k}_s, f_i) > 0, \quad (3)$$

где \bar{k}_s^* – вектор оптимальных параметров;

$G_m(\bar{k}_s, f_i)$ – функции полученные на основе критериев эффективности $L_m(\bar{k}_s, f_i)$.

Широко используется и минимаксная (максиминная) формулировка задач параметрического синтеза, т. е. $F(\bar{k}_s^*, f_i) = \min \max F(\bar{k}_s, f_i)$, которая в ряде случаев более точно формализует требования ТЗ.

Вектор параметров $\bar{k}_s = \{k_{sj}\}$, $j = \overline{1, q}$ (где q – число внутренних параметров системы при данном номере состояния s), зависящий от номера состояния s , представим в виде составного вектора $\bar{k}_s = (\bar{k}_{const}, \bar{k}_v, \bar{k}_g, \bar{k}_d)$, где каждый из субвекторов содержит параметры, относящиеся к определенной группе: \bar{k}_{const} – неизменные параметры; \bar{k}_v – оптимизируемые параметры (субвектор \bar{k}_v может включать компоненты субвекторов \bar{k}_g и \bar{k}_d); \bar{k}_g – параметры, изменяющиеся в зависимости от номера состояния; \bar{k}_d – параметры, изменяющиеся под действием дестабилизирующих факторов.

Рассмотрим различные подходы и особенности формирования аддитивной целевой функции на основании соотношения (1). При оптимизации с детерминистических позиций различных систем, представленных согласно декомпозиционного подхода определенным соединением базовых элементов, зачастую используется целевая функция, которая является одной из реализаций критерия наименьших квадратов, что позволяет обеспечить равную чувствительность к отклонению выходных характеристик от требуемых в большую или меньшую сторону. Для улучшения сходимости итерационного процесса и сокращения временных затрат при решении задач больших размерностей предлагается использовать модернизированный критерий наименьших квадратов:

$$F = \sum_{i=1}^p \sum_{m=1}^n a_{mi} \left\{ \left| \frac{Y_m(f_i)}{Y_{mT}(f_i)} - 1 \right|^{e_{1m}} + \left| \frac{Y_{mT}(f_i)}{Y_m(f_i)} - 1 \right|^{e_{2m}} \right\}, \quad (4)$$

где a_{mi} – весовые коэффициенты; $Y_{mT}(f_i)$ – директивные значения характеристик.

Упрощенный вариант записи соотношения (4) представим в виде:

$$F = \sum_{i=1}^p \sum_{m=1}^n a_{mi} \left[\frac{Y_m(f_i)}{Y_{mT}(f_i)} - 1 \right]^{e_m}. \quad (5)$$

В большинстве практических случаях расхождение текущих и директивных значений выходных характеристик не превышает 50%, при этом можно положить $e_m = 0,5$ при $X - 1 \leq 1$ и $e_m = 2$ при $X - 1 > 1$, где $X = Y_m(f_i) / Y_{mT}(f_i)$, тогда градиент аддитивной целевой функции в окрестностях минимума резко возрастает, что приводит к снижению числа итераций до 40% (подтверждается результатами численных экспериментов). В общем случае показатели степени e_{m1}, e_{m2}, e_m устанавливаются, исходя из численного эксперимента, зависящего от вида целевой функции.

Выражение (5) приведем к виду:

$$F = \sum_{i=1}^p \sum_{m=1}^n a_{mi} [Y_m(f_i) - Y_{mT}(f_i)]^2, \quad (6)$$

При этом в точке экстремума с учетом режима функционирования

$$\frac{\partial F}{\partial k_{sj}} = 2 \sum_{i=1}^p \sum_{m=1}^n \sum_{s=1}^c \{ a_{mi} [Y_m(f_i) - Y_{mT}(f_i)] \frac{\partial Y_m(f_i)}{\partial k_{sj}} \} = 0. \quad (7)$$

Из (7) следует, что уменьшение чувствительностей отдельных выходных характеристик выводит целевую функцию (6) из точки экстремума, поэтому совокупная характеристика не будет являться наилучшей в смысле принятого критерия. Если чувствительность выходных характеристик к внутренним параметрам превышает допустимые пределы, то имеется только один путь ее уменьшения за счет расширения рабочей области одной или нескольких выходных характеристик $Y_{mT}(f_i)$. Следовательно, минимизацию функции чувствительности целесообразно проводить одновременно с параметрическим синтезом, то есть необходимо использовать целевую функцию вида:

$$F = \sum_{i=1}^p \sum_{m=1}^n \sum_{s=1}^c \left\{ a_{mi} [Y_m(f_i) - Y_{mT}(f_i)]^2 + \sum_{j=1}^q b_{mij} \left| \frac{\partial Y_m(f_i)}{\partial k_{sj}} \frac{k_{sj}}{Y_m(f_i)} \right| \right\}. \quad (8)$$

где b_{mij} – весовые коэффициенты при функциях чувствительности.

Если директивно установлены допуски на выходные характеристики $\Delta_m |Y_{mT}(f_i)|$, то более наглядной является формулировка:

$$F = \sum_{i=1}^p \sum_{m=1}^n \sum_{s=1}^c \left\{ C_{mi} + \sum_{j=1}^q b_{mij} \left| \frac{\partial Y_m(f_i)}{\partial k_{sj}} \frac{k_{sj}}{Y_m(f_i)} \right| \right\}. \quad (9)$$

где а) $C_{mi} = 0$ если $|Y_m(f_i) - Y_{mT}(f_i)| \leq \Delta_m |Y_{mT}(f_i)|$;

б) $C_{mi} = a_{mi} [Y_m(f_i) - Y_{mT}(f_i)]^2$ если $|Y_m(f_i) - Y_{mT}(f_i)| > \Delta_m |Y_{mT}(f_i)|$.

Приведенная функция цели (9) позволяет установить соответствие между допусками $\Delta_m |Y_{mT}(f_i)|$ и чувствительностью. В частности, от начальной точки в которой выполняется условие “а)”, целевая функция F будет уменьшаться за счет снижения функций чувствитель-

ности. Использование целевой функции (9) позволяет обеспечить снижение допусков на выходные характеристики и избежать существенных отклонений выходных характеристик от требуемых. Однако данная трактовка функции цели полной совокупности данных, необходимых для анализа влияния допусков на значения параметров элементов, не предоставляет. Более точный и полный анализ основан на использовании метода Монте-Карло. При этом выбором номинальных значений случайного субвектора \bar{k}_v и его законов распределения, можно обеспечить выполнение условия максимизации вероятности выхода годных изделий в дискретных частотных точках т.е.

$$\begin{aligned} \max P_{\Gamma}(Y_{mn} < \tilde{Y}_m < Y_{ms}), \\ \bar{k}_v \in R = \{\bar{k} \mid k_{jvn} \leq k_{jv} \leq k_{jvs}, \}; f_i \in Pf, \end{aligned} \quad (10)$$

где \tilde{Y}_m – случайные выходные характеристики, а Y_{mn} , Y_{ms} – нижние и верхние допустимые значения внешних характеристик.

Решение задачи (10) методами имитационного моделирования связано с существенными затратами машинного времени. Использование неравенства Чебышева позволило существенно сократить вычислительный процесс:

$$Q(|\tilde{Y}_m - M[Y_m]| \geq \varepsilon_d) \leq \frac{D[Y_m]}{\varepsilon_d^2}, \quad (11)$$

где ε_d – половина симметричного интервала допуска, а $M[Y_m]$, $D[Y_m]$ – математическое ожидание и дисперсия выходных характеристик.

Неравенство Чебышева устанавливает, что вероятность выхода \tilde{Y}_m за пределы допуска $M[Y_m] \pm \varepsilon_d$ ограничена сверху. Тогда вероятность попадания выходной характеристики в заданный интервал выразим, как:

$$P_{\Gamma}(Y_{mn} < \tilde{Y}_m < Y_{ms}) = 1 - Q(|\tilde{Y}_m - M[Y_m]| \geq \varepsilon_d) \geq 1 - \frac{D[Y_m]}{\varepsilon_d^2}. \quad (12)$$

При заданной величине ε_d из неравенства (12), независимо от закона распределения \tilde{Y}_m , следует, что условие (10) можно удовлетворить, осуществив поиск минимума целевой функции $F = D[Y_m]$ с учетом ограничений, т. е:

$$\begin{aligned} \max P_{\Gamma}(Y_{mn} < \tilde{Y}_m < Y_{ms}) \Rightarrow \\ \Rightarrow \min D[Y_m] = \min \left\{ \sum_{j=1}^q S_j^2 D[k_{sj}] + 2 \sum_{j < r} R_{jr} S_j S_r D^{0,5}[k_{sj}] D^{0,5}[k_{sr}] \right\} \\ \bar{k}_v \in R ; f_i \in Pf \end{aligned} \quad (13)$$

где R_{jr} – коэффициент корреляции между j и r параметрами;

$$S_j = \frac{\partial Y_m(\bar{k}_s, f_i)}{\partial k_{sj}}, S_r = \frac{\partial Y_m(\bar{k}_s, f_j)}{\partial k_{sr}}, \text{ при } k_{sj} \rightarrow k_{sjn}; k_{sr} \rightarrow k_{srn};$$

$k_{sjn}; k_{srn}$ – номинальные значения текущих параметров.

Соотношение (13) целесообразно записать в нормированном виде:

$$\min \frac{D[Y_m]}{M^2[Y_m]} = \min \sum_{j=1}^q \left[A_j^2 \frac{D[k_{sj}]}{M^2[k_{sj}]} + 2A \sum_{j < r} R_{jr} A_j A_r \frac{D^{0.5}[k_{sj}]}{M^2[k_{sj}]} \frac{D^{0.5}[k_{sr}]}{M^2[k_{sr}]} \right], \quad (14)$$

где $A_j = \frac{S_j M[k_{sj}]}{M[Y_m]}$;

$$A_r = \frac{S_r M[k_{sr}]}{M[Y_m]}$$

$$M[Y_m] = \Psi_m [M[k_{s1}], \dots, M[k_{sq}], f_i] + \sum_{j < r} S_{jr} R_{jr} D^{0.5}[k_{sj}] D^{0.5}[k_{sr}] + 0,5 \sum_{j=1}^q S_{jj} D[k_{sj}];$$

$$S_{jr} = \frac{\partial \Psi_m}{\partial k_{sj} \partial k_{sr}}, \text{ при } k_{sj} \rightarrow k_{sjn}, k_{sr} \rightarrow k_{srn};$$

$$S_{jj} = \frac{\partial^2 \Psi_m}{\partial^2 k_{sj}}, \text{ при } k_{sj} \rightarrow k_{sjn}.$$

Второй важнейшей проблемой, требующей реализации вероятностного подхода, является повышение надежности систем. Количественной мерой надежности будем считать вероятность нахождения выходных характеристик (1) за время t в заданных режимах эксплуатации (3). Тогда вероятность того, что случайный вектор \tilde{Y} окажется в течение времени t в области $P\bar{Y}$ n -мерного пространства, можно записать следующим образом:

$$P\left(\left(\tilde{Y}_1, \dots, \tilde{Y}_n\right) \in P\bar{Y}\right) = \int \dots \int_{P\bar{Y}} f(Y_1, \dots, Y_n) dY_1 \dots dY_n. \quad (15)$$

При этом задача оптимизации сводится к нахождению максимума (15) при $\bar{k}_v \in R$ и дополнительных, если это необходимо, ограничениях, зависящих от постановки задачи. Наиболее сложный и трудоемкой процедурой является получение совместной функции плотности распределения $f(Y_1, \dots, Y_n)$, которая представляется гиперповерхностью $n+1$ – размерности и определяется лишь численными методами. Решение данной задачи проводится методами Монте-Карло и ядерных оценок, которые по сравнению с традиционным методом гистограмм позволяют в 2-3 раза снизить дисперсию оценки функции плотности распределения выходных характеристик.

Эффективность оптимизации по целевым функциям во многом зависит от обоснованности выбора весовых коэффициентов, директивных параметров, а также от удачности выбора ограничений на вектор внутренних параметров. Указанные методологические проблемы можно частично избежать, используя метод последовательной оптимизации.

Алгоритм данного метода для рассматриваемого класса задач представим в следующем виде:

- Заданные критерии эффективности $L_m(\bar{k}_s, f_i)$ располагают в порядке приоритета $L_1(\bar{k}_s, f_i), \dots, L_n(\bar{k}_s, f_i)$. При этом применяются методы экспертных оценок или ранговой корреляции.

- Решают задачу (2) и определяют \bar{k}_s^* , при котором максимальное отклонение основного показателя $F(\bar{k}_s^*, f_i) = L_1(\bar{k}_s^*, f_i)$ имеет минимальное значение при ограничениях (3).

- Полученное значение критерия $F(\bar{k}_s^*, f_i) = L_1(\bar{k}_s^*, f_i)$. Далее задается допустимое из физических соображений отступление $L1$ от оптимального значения критерия и вводится ограничение:

$$L_1(\bar{k}_s, f_i) \leq L_1 = L_1 + \Delta L_1 \quad (16)$$

• Параметры \bar{k}_s определяются из условия оптимизации, следующего за $L_1(\bar{k}_s, f_i)$ по значимости критерия $L_2(\bar{k}_s, f_i)$ при ограничениях (3). При этом в итерационном процессе оптимизации за исходные целесообразно принять ранее найденные значения \bar{k}_s^* или близкие к ним.

• Указанный процесс продолжается последовательно для всех критериев $L_m(\bar{k}_s, f_i)$.

Данный метод путем малого допустимого отклонения от оптимального значения главного критерия качества улучшает другие показатели. Метод эффективен, когда зависимость $L_m(\bar{k}_s, f_i)$ от \bar{k}_s представляет собой “овраги”, имеющие различное направления в гиперпространстве параметров \bar{k}_s .

При каждом вычислении рассмотренных выше целевых функций условная минимизация преобразуется в безусловную с помощью формулы прямой замены для перехода от неограниченных оптимизируемых параметров \bar{X} к ограниченным $\bar{k}_v = \bar{k}$, тогда для k -ого параметра запишем:

$$k_k = k_{k \min} + (k_{k \max} - k_{k \min}) \sin^2 X_k. \quad (17)$$

В универсальных методах Пауэлла и квадратичной аппроксимации используются неограниченные оптимизируемые параметры.

Заключение

На основе приведенных соотношений разработана в среде Delphi программа оптимизации. Достоверность полученных результатов подтверждена по результатам машинных экспериментов на многочисленных тестовых примерах [5].

Библиографический список

1. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. М.: Мир. 1975. 534 с.
2. Растринин Л.А. Статистические методы поиска. М.: Наука, 1968. 374 с.
3. Растринин Л.А., Рипа К.К., Гарасенко Г.С. Адаптация случайного поиска. Рига: Зинатне, 1978. 242 с.
4. Алгоритмы и программы случайного поиска. Рига: Зинатне. 1969. 372 с.
5. Васильев Е.П. Конструктивные типы, схемотехнические варианты коммутации и функциональное моделирование фильтров на связанных линиях. Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. Информационные технологии. №6. 1999. С. 52-63.
6. Васильев Е.П. Моделирование микроволновых многоканальных переключателей // Вестник Рязан. гос. радиотех. университета. №73. 2020. С. 26-36.
7. Васильев Е.П., Нгуен Данг Хоп, Лью Тхань Дат. Полосовой фильтр на связанных микрополосковых линиях с двумя секторными резонаторами // Вестник Рязан. гос. радиотех. университета. №75. 2021. С. 15-23.

УДК.621.372.8.049.75; ГРНТИ 47.05.05

МЕТОД ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Е.П. Васильев, Д.Х. Нгуен

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, *evasiliev48@mail.ru*

Аннотация. Данная статья представляет метод параметрического синтеза переключателей, предназначенный для оптимизации и проектирования управляющих устройств. Метод основан на численно-аналитических, декомпозиционных и вероятностных подходах и позволяет учитывать сложные зависимости между параметрами переключателей. Он включает в себя формирование технического задания, определение функциональной структуры и поиск оптимальных альтернативных решений.

Ключевые слова: параметрический синтез, микроволновые переключатели, многопараметрическая оптимизация, метод Пауэлла, квадратичная аппроксимация.

METHOD OF PARAMETRIC SYNTHESIS FOR SWITCHES

E.P. Vasiliev, D.H. Nguyen

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, *evasiliev48@mail.ru*

The summary. This article presents a method of parametric synthesis for switches aimed at optimizing and designing switching devices. The method is based on numerical-analytical, decomposition, and probabilistic approaches, allowing for the consideration of complex dependencies among switch parameters. It encompasses the formulation of technical specifications, the determination of functional structures, and the search for optimal alternative solutions.

Keywords: parametric synthesis, microwave switches, multi-parameter optimization, Powell method, quadratic approximation.

Вводные замечания

Построение САПР, которая реализует полный цикл проектирования, весьма сложная задача, так как этапы, связанные с формированием технического задания, физических принципов, функциональной структуры, оптимальной конструкции альтернативных решений, слабо поддаются компьютеризации. Основу эффективных математических моделей и алгоритмов составляет совокупность численно-аналитических, декомпозиционных и вероятностных методов.

Поэтому представляется актуальным разработать для сложных управляющих микроволновых систем, к которым относятся и переключатели, комбинированный подход к блоку многопараметрической оптимизации на основе метода Пауэлла и квадратичной аппроксимации [1].

Алгоритм метода

Пусть необходимо найти точку $\bar{k}_v^* \in R$;

$$R = \left\{ \bar{k}_v \mid G_m(\bar{k}_s, f_i) > 0, m = \overline{1, n}; \bar{k}_{v_n} \leq \bar{k}_v \leq \bar{k}_{v_g} \right\}$$

такую, что $F(\bar{k}_s^*, f_i) = \min F(\bar{k}_s, f_i)$ в заданной области дискретного параметра $f_i \in Pf$ (частота). Здесь \bar{k}_s^* – вектор оптимизируемых параметров; \bar{k}_v – вектор варьируемых параметров; $G_m(\bar{k}_s, f_i)$ – функция полученная на основе критериев эффективности; $\bar{k}_{v_n}, \bar{k}_{v_g}$ – нижняя и верхняя граница вектора варьируемых параметров.

Область поиска представим гиперпараллелепипедом $\bar{k}_v = \bar{k}$; $\bar{k}_i \leq \bar{k} \leq \bar{k}_a$, а исходная плотность распределения $f(\bar{k})$ равномерна по всему объёму V этого параллелепипеда, т. е. $f(\bar{k}) = \frac{c_i}{V}$ (где c_i – постоянная) для $\bar{k} \in V$ и $f(\bar{k}) = 0$ для $\bar{k} \notin V$.

Для обоснованного выбора субвектора оптимизируемых параметров k из результирующего вектора внутренних параметров k_s воспользуемся анализом чувствительности вектора выходных характеристик $\bar{Y} = \{Y_m(\bar{k}_s, f_i)\}$. Тогда функции чувствительности определим соотношением:

$$A_{mij} = \frac{\partial Y_m(\bar{k}_s, f_i)}{\partial k_{sj}} \frac{k_{sj}}{Y_m(\bar{k}_s, f_i)}, \text{ при } k_{sj} \rightarrow k_{sjn},$$

где A_{mij} – функция чувствительности m -ой выходной характеристики j -ого внутреннего параметра на i -ой частоте; k_{sjn} – номинальное значение внутреннего параметра.

Численными методами определяются зависимости $A_{mij} = \varphi_{mij}(\bar{k}_s, f_i)$ по которым находят максимальные значения A_{mij} в установленных дискретных частотных точках, что позволяет выбрать вектор k из условия наибольшего влияния того или иного внутреннего параметра на минимизируемую целевую функцию F , которая конструируется на базе вектора Y .

Пусть на первом этапе итерационного процесса на вход подаются начальные значения вектора случайных переменных \bar{k}_0 . Методом многопараметрической оптимизации Пауэлла и квадратичной аппроксимации (однопараметрическая оптимизация) определяется и запоминается $F(\bar{k}_0)$ (в дальнейшем опускаем запись независимого аргумента f_i). Для этого осуществляется переход из точки $k_0^{(p)}$ в точку $k_m^{(p)}$ (p – номер итерации; здесь m – номер точки перехода) в соответствии с формулой:

$$k_m^{(p)} = \bar{k}_0^{(p)} + \sum_{i=0}^{m-1} \lambda_i^{(p)} \bar{s}_i^{(p)}, \quad i = 1, \dots, m-1. \quad (1)$$

В точке $k_0^{(0)}$ в гиперпространстве переменных R^q начальные направления $s_1^{(0)}, \dots, s_q^{(0)}$ берутся параллельными координатным осям R^q . Первый шаг осуществляется в направлении $\bar{s}_q^{(0)}$, то есть минимизируется целевая функция $F(\bar{k}_0^{(0)} + \lambda \bar{s}_q^{(0)})$ по λ для вычисления $\lambda_0^{(0)}$. Для этого воспользуемся методом квадратичной аппроксимации, из которого следует, что для последовательности точек $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ принадлежащих интервалу $[A, B]$ и значений F_1, F_2, F_3 им соответствующих, определяются коэффициенты a_0, a_1, a_2 в уравнении:

$$G(\lambda) = a_0 + a_1(\lambda - \lambda_1) + a_2(\lambda - \lambda_1)(\lambda - \lambda_2), \quad (2)$$

для которого значения $G(\lambda)$ и $F(\lambda)$ в выбранных точках совпадают. Подставляя в уравнение $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ и решая относительно a_0, a_1, a_2 , получим:

$$a_0 = F_1; \quad a_1 = (F_2 - F_1) / (\lambda_2 - \lambda_1); \quad a_2 = \left(\frac{F_3 - F_1}{\lambda_3 - \lambda_1} - \frac{F_2 - F_1}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) / (\lambda_3 - \lambda_2). \quad (3)$$

Тогда координата точки оптимума аппроксимирующего полинома $G(\lambda)$ определяется из уравнения:

$$\frac{dG}{d\lambda} = a_1 + a_2(\lambda - \lambda_2) + a_2(\lambda - \lambda_1) = 0. \quad (4)$$

Решив его относительно λ , получим оценку координаты точки λ^* , где функция аппроксимирующего полинома имеет экстремум

$$\lambda^* = (\lambda_2 - \lambda_1) / 2 - a_1 / (2a_2). \quad (5)$$

Достаточное условие минимума $G(\lambda)$ состоит в том, что:

$$d^2G / d\lambda^2 | \lambda^* > 0, \text{ т. е. } a_2 > 0. \quad (6)$$

Затем полагаем, что $k_1^{(0)} = \bar{k}_0^{(0)} + \lambda_0^{(0)} \bar{s}_q^{(0)}$. После этого вдоль каждого из q направлений $s_i^{(0)}, i=1, \dots, q$, в свою очередь минимизируются методом квадратичной аппроксимации $F(\bar{k}_i^{(0)} + \lambda \bar{s}_i^{(0)})$, определяется соответствующее $\lambda_i^{(0)}$ и последовательно вычисляются по формуле (1) новые значения $\bar{k}_i^{(0)}$.

В [1, 2] показано, что после конечного числа итераций все q новых векторов \bar{s} для квадратичной функции F оказываются направленными вдоль осей функции, и на следующей итерации будет найден точный минимум F . При этом чтобы исключить образование в процессе замены линейно зависимой системы векторов \bar{s} , в методе используется следующее правило: замена \bar{s} запрещается и вновь используются старые направления, если одновременно не выполняются условия:

$$F(\bar{k}_0) > F(\bar{k}_1); [F(\bar{k}_1) - 2F(\bar{k}^*) + F(\bar{k}_0)][F(\bar{k}_1) - F(\bar{k}^*) - \Delta_p]^2 > 0,5\Delta_p[F(\bar{k}_1) - F(\bar{k}_0)]^2,$$

где $\bar{k}_1 = 2\bar{k}^* - \bar{k}_0$; \bar{k}_0, \bar{k}^* – начальная и конечная точки цикла минимизации (итерации);

Δ_p – максимальное уменьшение F по направлениям за цикл минимизации.

Критерий удовлетворительной сходимости метода, используемый для определения момента окончания j -го этапа поиска, состоит в том, что изменение по каждой независимой переменной должно быть меньше, чем заданная точность ε_i т. е:

$$|k_q^{(p)} - k_0^{(p)}| \leq \varepsilon_i. \quad (7)$$

После завершения первого этапа оптимизации $j=0$, генерируется точка $j=1$ (где $j=0, \dots, N, N$ – число реализаций случайного вектора \tilde{k}),

$$\bar{k}_j = \bar{k}_{j-1} + \Delta \tilde{k}_j, \quad (8)$$

где \tilde{k}_j – случайный вектор, координаты которого равномерно распределённые числа с математическим ожиданием $M[\Delta k_j] = 0$ и дисперсией $D[\Delta k_j]$.

Затем вектор \bar{k}_j и функция F_j определяются запоминанием по следующей рекуррентной формуле:

$$\bar{k}_j = \begin{cases} \bar{k}_{j-1}, & \text{при } F(\bar{k}_j) \geq F(\bar{k}_{j-1}), \\ \bar{k}_j, & \text{при } F(\bar{k}_j) < F(\bar{k}_{j-1}), \end{cases} \quad (9)$$

$$F_j = \begin{cases} F_{j-1}, & \text{при } F(\bar{k}_j) \geq F(\bar{k}_{j-1}), \\ F_j, & \text{при } F(\bar{k}_j) < F(\bar{k}_{j-1}). \end{cases}$$

Затем генерируется следующая точка $j = j + 1$ начального приближения вектора оптимизируемых параметров \bar{k} и проводятся итерационные процедуры по методам Пауэлла и квадратичной аппроксимации. После чего используются рекуррентные формулы (9). Рассмотренный итерационный процесс повторяется N раз.

Экспериментальная часть

Приведем пример реализации метода параметрического синтеза в процессе разработки микрополосковых переключателей на р-і-п диодах (рис.1, рис.2).

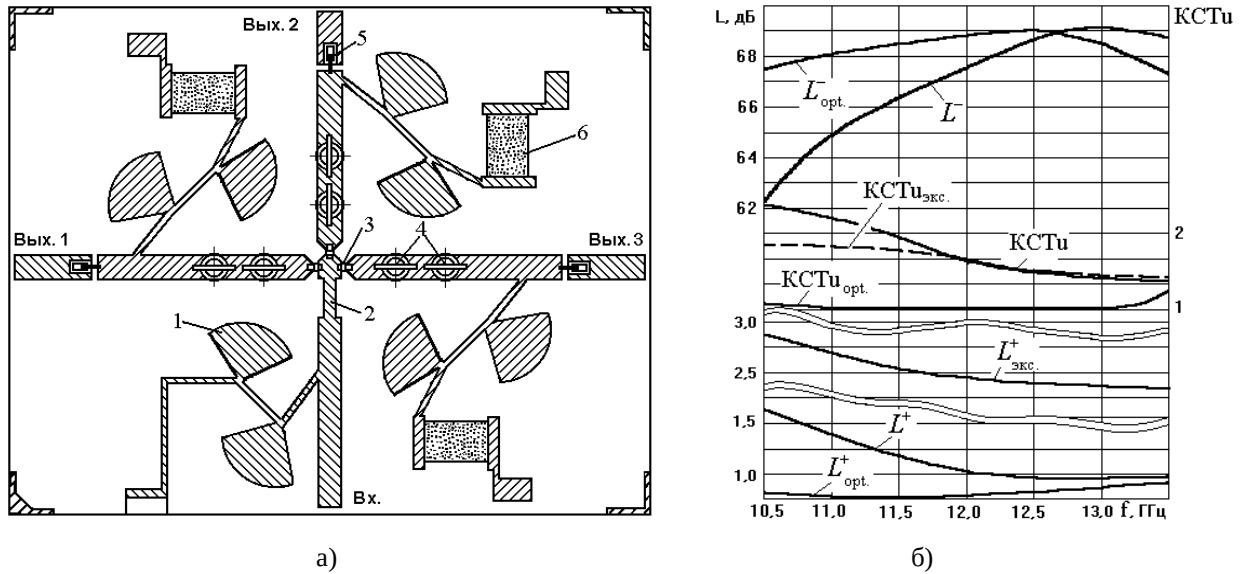


Рис. 1. Микрополосковый трехканальный р-і-п диодный переключатель (а – микрополосковая плата; б – выходные характеристики)

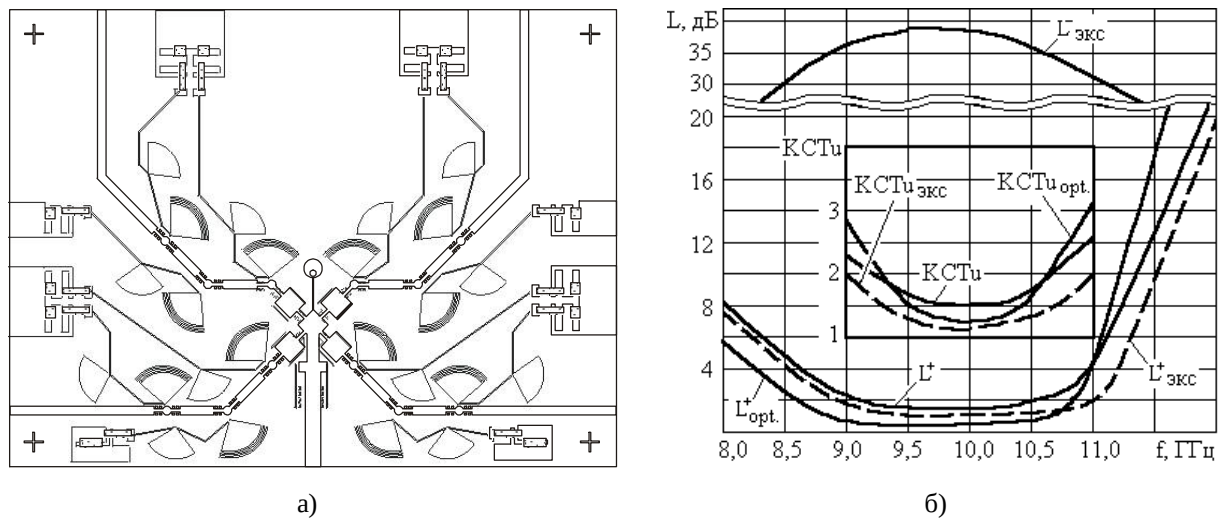


Рис. 2. Микрополосковый четырехканальный р-і-п диодный переключатель (а – микрополосковая плата; б – выходные характеристики)

Заключение

Предложенный метод реализован в разработанной системе функционального проектирования микроволновых устройств [3]. Результаты проектирования на многочисленных тестовых задачах, показывают хорошее совпадение расчетных показателей качества с экспериментальными результатами [4-6].

Библиографический список

1. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. М.: Мир. 1975. 534 с.
2. Ларичев О.И., Горвиц Г.Г. Методы поиска локального экстремума овражных функций. М.: Наука. 1990. 255с.
3. Васильев Е.П. Система функционального проектирования микроволновых устройств ПОИСК-Д. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ в Российском агентстве по патентам и знакам (РОСПАТЕНТ). №980748. Дата регистрации 31.12.98.
4. Васильев Е.П. Архитектура и сравнительные характеристики системы функционального проектирования микроволновых устройств ПОИСК-Д. Информационные технологии. №11. 1998. С. 22-26.
5. Васильев Е.П. Моделирование микроволновых многоканальных переключателей // Вестник Рязан. гос. радиотех. университета. №73 . 2020. С. 26-36.
6. Васильев Е.П. Моделирование микрополосковых делителей-сумматоров submodule усилителей мощности // Вестник Рязан. гос. радиотех. университета. №771.2020. С. 23-33

УДК 004.627; ГРНТИ 50.05.03

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВЕЙВЛЕТА ДЛЯ ДЕКОМПОЗИЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

С.А. Рябинин

*Рязанский государственный университет радиотехнический университет имени
В.Ф. Уткина, Российская Федерация, Рязань, daen.g@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматривается использование преобразования вейвлета для декомпозиции изображения по частотам. Приводятся основные особенности данного метода, его достоинства и недостатки. Рассматривается смысл вейвлет-преобразования с точки зрения декомпозиции изображений по частотам и его роль в этом процессе. В заключение делается вывод о целесообразности применения вейвлет-преобразования в задачах, связанных с декомпозицией изображений по частотам.

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, декомпозиция изображений по частотам.

USING THE WAVELET TRANSFORM FOR IMAGE DECOMPOSITION

S.A. Ryabinin

*RyazanStateRadioEngineeringUniversity named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, daen.g@yandex.ru*

The summary. The paper considers the use of the wavelet transform for image decomposition by frequencies. The main features of this method, its advantages and disadvantages are given. The meaning of the wavelet transform from the point of view of image decomposition by frequencies and its role in this process are considered. In conclusion, it is concluded that it is advisable to use the wavelet transform in problems related to the decomposition of images by frequencies.

Keywords: wavelet transform, decomposition of images by frequencies.

Постановка задачи. Основной задачей данного исследования является применение метода вейвлет-преобразования для обработки изображений с целью улучшения их качества путем удаления различных видов шумов и артефактов.

Актуальность исследования. В контексте обработки изображений методом вейвлета наблюдается постоянный интерес из-за его эффективности в удалении различных типов шумов и артефактов, что особенно актуально в сфере обработки цифровых изображений.

Степень изученности проблемы. Вейвлет-преобразование является широко изученным методом в области обработки сигналов и изображений, это подтверждается широким спектром литературных источников, посвященных вейвлет-преобразованию [2] и [3], где подробно рассматриваются основные теоретические аспекты данного метода, однако существует необходимость в поиске новых подходов к его применению для более эффективного улучшения качества изображений.

Вариант решения проблемы. В работе предлагается метод декомпозиции изображения по частотам при помощи применения свертки изображения по горизонтали и вертикали, что позволяет выделить на изображении шумы и артефакты.

Вейвлет-преобразование в обработке изображений имеет широкий спектр применений:

- 1) улучшение качества фотографий путем коррекции шумов и артефактов;
- 2) эффективное сжатие без значительной потери качества за счет выделения ключевых деталей и структурной информации;
- 3) эффективный анализ медицинских снимков, таких как МРТ или КТ, с целью выявления патологий и улучшения качества диагностики;
- 4) обработка спутниковых изображений для выделения различных объектов на поверхности Земли, анализа изменения ландшафта, отслеживания изменения в растительности, контроля состояния окружающей среды и многое другое;
- 5) контентное распознавание с целью поиска и распознавания ключевых объектов, таких как лица людей, автомобили, здания и т.д.;

Вейвлет-преобразование выполняется путем свертки изображения по горизонтали и вертикали:

- Уравнения для свертки по горизонтали:

$$\begin{aligned} conv_{i,0} &= a_{i,0} \times coef2 \\ conv_{i,j} &= a_{i,j} \times coef2 + a_{i,j-1} \times coef1, 1 \leq j \leq cols \\ conv_{i,cols} &= a_{i,cols-1} \times coef1 \end{aligned}$$

- Уравнения для свертки по вертикали:

$$\begin{aligned} conv_{0,j} &= a_{0,j} \times coef2 \\ conv_{i,j} &= a_{i,j} \times coef2 + a_{i-1,j} \times coef1, 1 \leq i \leq rows \\ conv_{rows,j} &= a_{rows-1,j} \times coef1 \end{aligned}$$

где: $a_{i,j}$ – элемент матрицы изображения A с индексами (i, j) ;

$conv_{i,j}$ – элемент матрицы свертки с индексами (i, j) ;

$coef1$ и $coef2$ – заданные коэффициенты свертки;

$rows, cols$ – количество строк и столбцов в изображении.

На рисунке 1 представлен результат двукратной декомпозиции по частотам (справа) исходной картинке (слева), полученный после свертки по горизонтали и вертикали. Из рисунка видно, как метод вейвлета позволяет сохранить основные черты изображения и выделить важные детали.

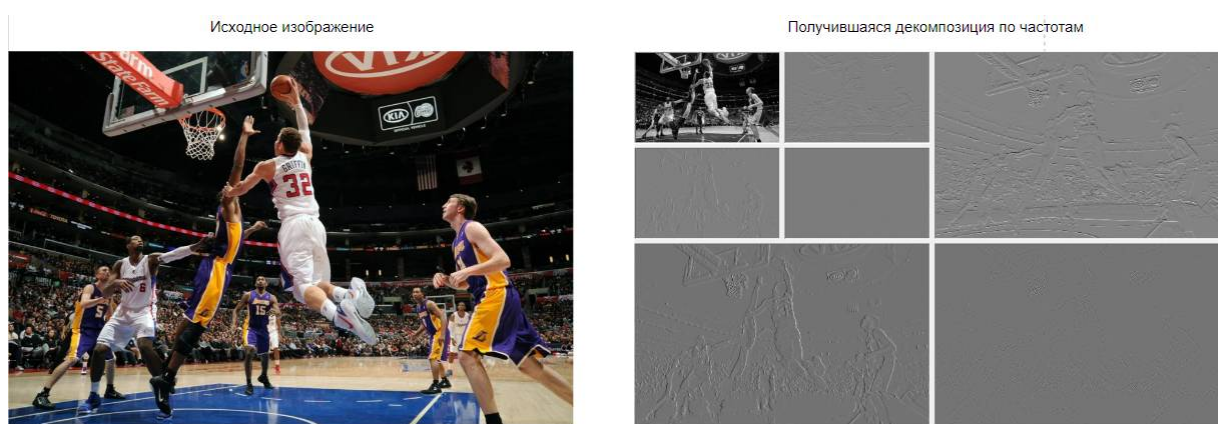


Рис. 1. Пример вейвлет-преобразования

К достоинствам вейвлет-преобразования можно отнести следующие.

1. *Мультирезолюционность.* Как отмечается в работе [1], вейвлет-преобразование обладает мультирезолюционностью, что позволяет работать с различными частотами изображения одновременно. Это позволяет получать информацию о деталях изображения на разных уровнях разрешения, что часто бывает полезно при анализе изображений.

2. *Эффективность хранения.* Вейвлет-декомпозиция позволяет эффективно хранить изображения, особенно при сжатии. За счет удаления высокочастотной информации и кодирования коэффициентов, можно достичь значительного сокращения размера файлов без существенной потери качества изображения.

3. *Локализация в частотной области.* Вейвлет-трансформация обладает способностью локализовать сигналы в частотной области. Это означает, что изменения в изображении на определенном уровне разрешения не будут влиять на другие уровни, что облегчает анализ и обработку изображений.

4. *Применимость в различных областях.* Метод вейвлета широко применяется в различных областях, включая обработку изображений, сигналов, компьютерное зрение и медицинскую диагностику. Его универсальность делает его незаменимым инструментом в анализе данных.

У вейвлет-преобразования есть и недостатки.

1. *Чувствительность к выбору вейвлета.* Один из главных недостатков метода вейвлета – это его чувствительность к выбору конкретного вейвлета. Различные вейвлеты могут давать разные результаты в зависимости от типа анализируемого изображения, что требует определенного опыта и экспертизы для выбора наилучшего варианта.

2. *Потеря пространственной информации.* В процессе декомпозиции изображения, как показано в [3], высокочастотная информация часто отбрасывается, что может привести к потере части пространственной информации. Это особенно критично для некоторых приложений, где каждый пиксель имеет значение.

3. *Вычислительная сложность.* Некоторые методы вейвлет-декомпозиции могут быть вычислительно сложными и требовательными к ресурсам, особенно при работе с большими изображениями высокого разрешения. Это может замедлить процесс анализа и обработки изображений.

4. *Интерпретация результатов.* Полученные после декомпозиции результаты могут быть сложны для интерпретации, особенно для неподготовленного пользователя. Это может затруднить восстановление изображения из его вейвлет-коэффициентов и усложнить процесс анализа.

Вывод. Таким образом, вейвлет-преобразование является мощным инструментом в обработке изображений и находит широкое применение в различных областях, включая медицину, геоинформационные системы, видеообработку и многое другое. Его возможности в анализе и обработке изображений делают его неотъемлемой частью современных технологий.

Библиографический список

1. Малла, С. Г. (1989). Теория мультирезолюционного разложения сигналов: вейвлет-представление. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 11(7), 674-693. DOI: [10.1109/34.192463](https://doi.org/10.1109/34.192463)

2. Добеши, И. (1992). Десять лекций о вейвлетах. Общество промышленности и прикладной математики. ISBN: 978-0898712742

3. Стрэнг, Г., & Нгуен, Т. (1996). Вейвлеты и фильтровые банки. Wellesley-Cambridge Press. ISBN: 978-0961408879

СЕКЦИЯ «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБОРО- И МАШИНОСТРОЕНИИ»

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УЧЁТА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТАНКОВ

Н.Ж. Некрасов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, rgrtunekrasov@yandex.ru*

Аннотация. Статья посвящена определению основных функций системы автоматизированного учёта запасных частей промышленных станков. В статье выделяется проблема отсутствия на предприятиях малого бизнеса бесплатных автоматизированных систем управления складом запасных частей, эффективного распределения запасных частей на территории склада. Рассматриваются инструменты повышающие быстродействие, правильность работы системы и понижающие уровень вхождения пользователя. Приводятся преимущества и недостатки рассматриваемой системы.

Ключевые слова: Microsoft Access; автоматизированный учёт; ERP; схема данных.

THE ELABORATION OF THE AUTOMATED ACCOUNTING SYSTEM FOR SPARE PARTS OF INDUSTRIAL MACHINES

N.J. Nekrasov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, rgrtunekrasov@yandex.ru*

Abstract. The article deals with the definition of the main functions of the automated accounting system for spare parts of industrial machines. The article highlights the problem of the lack of free automated spare parts warehouse management systems in small businesses, effective distribution of spare parts in the warehouse. The tools that increase the speed, correct operation of the system and lower the level of user entry are considered. The advantages and disadvantages of the considered system are given.

Keywords: Microsoft Access; automated accounting; ERP; scheme data.

Автоматизированная система учёта запасных частей промышленных станков – это специализированное программное обеспечение, которое позволяет эффективно управлять и контролировать запасами необходимых деталей и компонентов для обслуживания промышленного оборудования, в данном случае станков. Обычно под вышеупомянутое определение подходят лишь ERP-системы с большим количеством функций и громоздким интерфейсом, не всегда понятным обычному рабочему. В нашей стране такие системы имеют довольно большой спрос на крупных промышленных предприятиях, готовых заплатить большую сумму денег за эффективное управление складскими ресурсами, однако малые предприятия предпочитают проходить мимо таких систем о чём говорит статистика использования ERP, очевидно одними из главных факторов является отсутствие средств на покупку лицензий ERP-систем и малоквалифицированный, не всегда русскоязычный персонал таких предприятий. В основной массе это рабочие со средним специальным образованием. Поэтому появляется необходимость разработки простой, бесплатной автоматизированной системы учёта запасных частей промышленных станков [1].

Такая система обычно включает в себя следующие функции:

1. Учёт запасных частей: система позволяет вести точный учёт всех имеющихся запасных частей, включая их количество, стоимость, поставщика и другие характеристики. Реализуется с помощью Таблиц и Запросов в Microsoft Access. Может быть оформлено с помощью инструмента Макросы.

2. Планирование закупок: на основе данных об остатках запасных частей система может автоматически уведомлять пользователя о дефиците и необходимости заказа того или

иного наименования. Реализуется с помощью Таблиц и Запросов в Microsoft Access. Может быть оформлена с помощью инструмента Макросы.

3. Мониторинг персонала: система отображает дату и время работы склада и уведомляет ответственных о необходимости их замены на других. Реализуется с помощью Таблиц и Запросов в Microsoft Access. Может быть оформлена с помощью инструмента Макросы.

4. Оптимизация запасов: система помогает контролировать уровень запасов, чтобы избежать нехватки деталей. Реализуется с помощью Таблиц и Запросов в Microsoft Access. Может быть оформлена с помощью инструмента Макросы

5. Отчётность и аналитика: система предоставляет отчёты и аналитическую информацию об остатках запасных частей, работе персонала склада, эффективности управления запасами и других ключевых показателях. Реализуется с помощью модуля аналитики в Microsoft Access

6. Маркировка: система предоставляет информацию о местах на складе, номенклатуре запасных частей, что позволяет быстро найти нужное наименование на складе. Реализуется с помощью Таблиц и Запросов в Microsoft Access. Может быть оформлено с помощью инструмента Макросы, внутривоздушная маркировка может производиться с помощью термопринтера (Например: буква А - идентификатор станка и места на складе; цифра 3 - номер детали для данного станка. Так А - гильотина IRON MAC, 3 - номер детали "нож". На складе на стеллаже А и месте 3 будет лежать нож для данного станка, промаркированный наклейкой А3).

7. Связи данных: В данной системе для удобства восприятия информации и минимизации риска её потери могут использоваться связи данных, что также реализуется с помощью БД Microsoft Access.

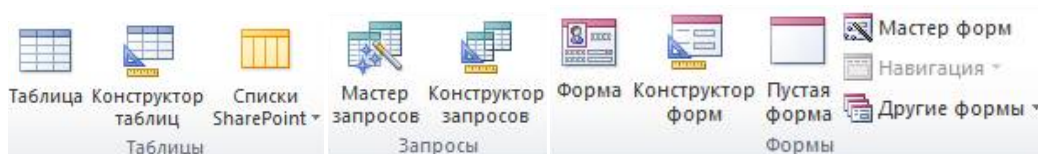


Рис. 1. Инструменты Microsoft Access

На рисунках 2 – 8 показаны некоторые таблицы системы и связи между ними.

Рабочие			
Номер	Фамилия	Имя	Должность
1	Хошимов	Наим	Маляр
2	Рузилев	Михаил	Слесарь
3	Кутыев	Мухамад	Маляр
4	Махмудов	Акмал	Слесарь
5	Птицын	Александр	Сварщик
6	Момбаев	Акрам	Упаковщик
7	Шалимов	Рустам	Слесарь
8	Круглов	Сергей	Маляр
9	Хошимов	Акмал	Слесарь
10	Новрузов	Мухамаджон	Упаковщик

Рис. 2. Таблица «Рабочие»: поля Номер, Фамилия, Имя, Отчество, Должность

Станки		
Название станка	Цех	Кол-во наименований ЗЧ
EXPERT станция порошковой окраски	Малярный	8
IRON MAC гильотина	Слесарный	5
IRON MAC листогибочный	Слесарный	6

Рис. 3. Таблица «Станки»: поля Название станка (первичный ключ), Цех (где находится), Количество (кол-во) наименований запасных деталей

IRON MAC Гильотина			
Запасная часть	Артикул	Идентификатор	Остаток на складе
Тормоз	2232324262	A1	5
Концевик	6754890943	A2	4
Нож	5478945234	A3	1

Рис. 4. Таблица «IRON MAC Гильотина»: поля Запасная часть, Артикул, Идентификатор, Остаток на складе

Склад		
Место	Время выдачи	Общее кол-во деталей
A	12:30-13:30	38
B	14:00-15:00	45
C	09:30-10:30	23
D	11:00-12:00	56

Рис. 5. Таблица «Склад»: поля Место, Время выдачи (с ... по ...), Общее количество деталей

Ответственные		
Фамилии	Название станка	Период
Хошимов	EXPERT станция порошковой окраски	12.05.23 - 14.06.24
Рузилов	IRON MAC гильотина	25.09.24 - 27.10.24

Рис. 6. Таблица «Ответственные»: поля Фамилии, Название станка, Период (с какого по какое число)

Связи. Одному названию станка соответствует много запасных частей (1 к М); одному названию станка соответствует много фамилий ответственных (1 к М); одному месту на складе соответствует много идентификаторов запасных частей (1 к М); одному станку соответствует одно место на складе (1 к 1) и другие.

Рис. 7. Связь данных (1 к 1)

Рис. 8. Связь данных (1 к М)

Основными преимуществами данной системы является:

- Простота использования;
- Быстродействие;
- Структурированное хранение данных;
- Программа бесплатна.

Недостатки:

- Мало возможностей по сравнению с коммерческими ERP-системами управления складскими ресурсами.

Заключение

Таким образом, для несложных задач, к каковым относится разработанная база данных запасных частей станков небольшого машиностроительного предприятия, целесообразно использование среды Microsoft Access. Данная система позволит вести автоматизирован-

ный учёт запасных частей станков, поможет повысить эффективность обслуживания оборудования и минимизировать риски потери необходимых компонентов. Несмотря на ее существенно меньшие по сравнению с системами ERP функциональные возможности, она обеспечивает тот необходимый минимум, который требуется от подобной системы и может быть разработана без привлечения услуг специализированных фирм – разработчиков ПО.

1. Мамонова Ю.С., Русина Ю.В., Широченко Н.В. Проблемы внедрения автоматизированной системы управления складом // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2013. №9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-vnedreniya-avtomatizirovannoy-sistemy-upravleniya-skladom> (дата обращения: 27.02.2024).

УДК 681.518.2; ГРНТИ 50.49

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Д.М. Шишкин, Р.Н. Дятлов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, dan.shishkin@mail.ru*

Аннотация. В данной статье рассматривается вопрос автоматизации технологического процесса литейного производства. В ней исследуется влияние современных технологий и систем автоматизации на качество, эффективность и стоимость процесса создания отливок. Рассматриваются различные аспекты автоматизации, включая подготовку формы, подготовку расплава, контроль параметров литья, охлаждение и застывание, извлечение отливки, обработку и отделку. В статье также освещаются преимущества и недостатки автоматизации литейного производства, а также возможные пути оптимизации процесса. В целом, статья предлагает обзор современных тенденций и технологий в области автоматизации литейного производства и их влияния на современную промышленность.

Ключевые слова: автоматизация, литейное производство, отливка, плавка, формовка.

AUTOMATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF FOUNDRY PRODUCTION

D.M. Shishkin, R.N. Dyatlov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, dan.shishkin@mail.ru*

Annotation. This article discusses the issue of automation of the technological process of foundry production. It examines the impact of modern technology and automation systems on the quality, efficiency and cost of the casting process. Various aspects of automation are covered, including mold preparation, melt preparation, casting parameter control, cooling and solidification, casting removal, machining and finishing. The article also highlights the advantages and disadvantages of foundry automation, as well as possible ways to optimize the process. Overall, the article offers an overview of current trends and technologies in the field of foundry automation and their impact on modern industry.

Key words: automation, foundry, casting, melting, molding.

Литейное производство играет важную роль в промышленности, поскольку обеспечивает производство металлических изделий для широкого спектра отраслей – от автомобильной промышленности до производства электроники. Однако, процесс создания отливок требует высокой точности, тщательного контроля параметров и эффективного использования ресурсов. В последние десятилетия автоматизация технологического процесса литейного производства стала все более популярной и востребованной [1].

Одним из ключевых аспектов автоматизации в литейном производстве является использование современных технологий и систем автоматизированного управления. Это позволяет существенно улучшить процесс создания отливок, снизить стоимость производства и повысить качество выпускаемых изделий. Системы автоматизации позволяют контролиро-

вать такие параметры, как температура плавки, давление заливки, скорость охлаждения и другие, что помогает улучшить точность и повторяемость производственного процесса.

Одним из наиболее значимых преимуществ автоматизации литейного производства является повышение производительности. Автоматизация позволяет значительно увеличить скорость производства и сократить время цикла производства, что в свою очередь приводит к увеличению объема выпускаемой продукции. Кроме того, автоматизация снижает количество ошибок и дефектов, что способствует улучшению качества отливок и снижению потерь.

Другим важным преимуществом автоматизации является сокращение трудозатрат и улучшение условий труда сотрудников. Автоматизированные системы выполняют монотонные и рутинные операции, освобождая человеческие ресурсы. Кроме того, автоматизация способствует снижению риска производственных травм и улучшению общих условий труда.

Создание отливки включает в себя ряд технологических этапов, каждый из которых играет важную роль в процессе литья металлических изделий.

1. Разработка конструкторской документации и управляющей программы для создания будущей модели

На данном этапе для автоматизации процесса возможно использование систем автоматизированного проектирования (САПР) [2]. А именно, использование CAD и CAM систем очень полезно для проектирования будущей модели, поскольку они представляют инструменты для создания и анализа трехмерных моделей, создания управляющей программы для программирования станков с ЧПУ. Наиболее популярные системы автоматизированного проектирования: T-FLEX CAD, Компас-3D, SolidWorks – CAD-системы и SprutCAM, EdgeCAM как системы для создания управляющих программ. Преимущества и недостатки внедрения таких систем для автоматизации технологического этапа:

Преимущества:

Автоматизация процесса.

Сокращение временных затрат.

Высокая точность и низкая ошибка.

Возможность легко редактировать.

Моделирование.

Недостатки:

Дорогое программное обеспечение.

Необходимость обучения персонала.

Повреждение электронных файлов.

Необходимость создания защиты информации.

Также на данном этапе для создания физической модели можно использовать станки с числовым программным управлением (ЧПУ), у которых также есть свои преимущества и недостатки:

Преимущества использования станков с ЧПУ:

1. Высокая точность и повторяемость: ЧПУ системы обеспечивают высокую степень точности при обработке материалов, что позволяет создавать модели с высокой степенью детализации и правильной геометрией.

2. Высокая производительность: ЧПУ станки способны работать непрерывно, что позволяет сократить время производства и увеличить производительность.

3. Гибкость и автоматизация: ЧПУ системы позволяют быстро переключаться между различными заданиями и материалами, а также автоматизировать процесс создания моделей, что сокращает время эксплуатации и уменьшает возможность ошибок.

Недостатки использования станков с ЧПУ для создания моделей:

1. Высокие затраты на оборудование: ЧПУ станки обычно стоят дороже обычных станков, что может быть высокой стартовой инвестицией для небольших предприятий.

2. Необходимость обученного персонала: Работа с ЧПУ системами требует специальных навыков и знаний, что требует обучения операторов и программистов.

3. Ограничения в размерах и формах: Некоторые ЧПУ станки могут иметь ограничения в размерах и формах обрабатываемых заготовок, что может быть ограничивающим фактором для определенных проектов.

2. Подготовка формы

Форма может быть изготовлена из песчаного или другого формовочного материала. Форма должна быть тщательно подготовлена, обработана различными антипригарными смазками и покрытиями.

На данном технологическом этапе могут присутствовать как отдельные элементы автоматизации, так и целые системы [3]. Например, для покраски моделей можно использовать автоматизированные покрасочные камеры для нанесения антипригарных покрытий. При непосредственном начале этапа формовки необходимо правильно составить будущую смесь. Все компоненты проходят через систему подачи материалов - смеситель песчано-глинистой смеси (ПГС), которая позволяет точно дозировать и распределять материалы для формовки, что повышает эффективность и минимизирует отходы. Далее используются автоматизированные системы или элементы для упрощения засыпки подготовленной смеси: вибростолы, системы тромбовки, пресс. Затем возможно внедрение роботизированных и автоматизированных систем захвата и перемещения: конвейер, барабан, кантователь, промышленные роботы.

Также необходимой системой является система контроля качества, которая используется для мониторинга процесса, детекции дефектов и обеспечения заданных параметров качества.

3. Подготовка расплава

Следующий этап – подготовка расплава металла. Это включает в себя плавку нужных металлических сплавов в печи и контроль температуры, состава и вязкости расплава. Необходимо также дегазировать металл от нежелательных примесей.

На данном технологическом этапе возможно использование:

1) Систем дозирования ингредиентов, которые позволяют получать требуемый состав расплава. Это повышает качество и однородность конечного продукта.

2) Систем загрузки материалов, которые могут использоваться для автоматической подачи сырья и материалов в плавильные печи или другие устройства плавления.

3) Систем контроля температуры, для мониторинга и регулирования температуры расплава в режиме реального времени, что помогает поддерживать стабильные условия плавления и предотвращает перегрев и охлаждение расплава.

4) Системы очистки и переработки газов. Такие системы могут использоваться для удаления вредных газов и загрязнений, образующихся в процессе плавления. Это способствует соблюдению экологических стандартов и обеспечивает безопасные условия работы.

4. Литье

Непосредственно процесс литья, во время которого расплавленный металл заливается в форму. Это один из самых важных этапов, на котором зависит качество и точность отливки. Системы автоматизации позволяют контролировать давление, скорость заливки, температуру и другие параметры процесса. А сам процесс литья осуществляют системы заливки расплава, которые представляют собой промышленных роботов или автоматизированные устройства. Использование этих средств автоматизации упрощает процесс и повышает безопасность труда [4].

5. Охлаждение и застывание

После заливки формы, отливка охлаждается и застывает. Этот процесс может занимать разное время в зависимости от размера отливки, используемого материала и других факторов. Важно контролировать скорость охлаждения, чтобы предотвратить появление дефектов.

На этом этапе возможно использовать несколько систем автоматизации:

1) Система контроля температуры, для мониторинга температуры отливки в реальном времени.

2) Автоматические охладители. Эти устройства могут быть использованы для автоматического охлаждения отливок после заливки и могут включать в себя водяные системы охлаждения, вентиляторы и другие устройства контроля скорости охлаждения и предотвращения образования дефектов в отливках.

3) Системы автоматической дефектоскопии. Эти системы могут использоваться для автоматического обнаружения дефектов в отливках после их застывания. Они могут включать в себя различные методы контроля, такие как ультразвуковая дефектоскопия, радиография, магнитная дефектоскопия.

6. Извлечение отливки

После полного застывания отливка извлекается из формы. Этот процесс также может потребовать специального оборудования и техники, особенно если отливка имеет сложную форму.

На данном технологическом этапе применяются автоматизированные системы:

1) Автоматизированные расформовочные машины, они могут быть оснащены механическими устройствами, гидравлическими приводами, вакуумными системами для извлечения отливок из формы.

2) Роботизированные системы извлечения. Роботы обычно оснащены специальными захватчиками и датчиками для точного и безопасного извлечения отливок.

3) Автоматизированные системы проверки качества. Эти системы предназначены для проверки отливок после их извлечения на соответствие размеров, поверхностей и других характеристик.

Использование автоматизированных систем для извлечения отливок из форм помогает повысить производительность, качество продукции, а также снизить риски операторам и обеспечить безопасные условия труда.

7. Обработка и отделка

После извлечения отливки проводится обработка и отделка, которая может включать удаление загрязнений, наружную обработку, финишную обработку, покраску и другие действия для придания отливке окончательного вида.

Этот технологический этап предусматривает возможность использования следующих автоматизированных систем:

1) Автоматизированные системы обработки поверхности. Эти системы могут использоваться для обработки поверхности отливок, например, удаление песчаных остатков, дефектов или для придания определенной текстуры.

2) Автоматизированные системы шлифования и полировки. Эти системы могут включать в себя роботизированные шлифовальные станки и полировальные устройства, которые могут проводить обработку с высокой точностью и скоростью.

3) Автоматизированные системы окраски и напыления. Эти системы могут включать в себя роботизированные краскопульты и автоматизированные покрасочные камеры и специальные устройства для равномерного нанесения краски.

Подводя итог, можно сказать, что автоматизация технологического процесса в литейном производстве играет важную роль в повышении эффективности и качества производства.

Она позволяет увеличить скорость выполнения операций, сократить временные затраты на производство и повысить общую производительность литейных процессов, снизить трудозатраты операторов, уменьшить вероятность ошибок и повысить безопасность труда, что способствует улучшению условий труда на предприятии, снизить затраты на рабочую силу, уменьшить количество брака и повысить эффективность использования оборудования, что приводит к снижению общей стоимости производства, легко настраивать и перенастраивать производственные линии под различные типы продукции, что увеличивает гибкость производства. А системы контроля и обработки позволяют снизить количество дефектов и повысить качество отливок, что ведет к улучшению конечного продукта,

Таким образом, автоматизация технологических процессов в литейном производстве имеет множество преимуществ, включая повышение производительности, улучшение качества продукции, снижение трудозатрат и обеспечение экономической эффективности предприятия. Внедрение автоматизированных систем играет важную роль в повышении конкурентоспособности предприятия на рынке.

Библиографический список

1. Брюханов В.Н. Автоматизация производства. / В.Н. Брюханов. — М.: Высшая школа, 2016. — 367 с.
2. Иванов А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебное пособие / А.А. Иванов. — М.: Форум, 2016. — 224 с.
3. Кукуй Д.М. Автоматизация литейного производства / Д.М. Кукуй, В.Ф. Одиночко. — Минск: Новое знание, 2016. — 240 с.
4. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов и системы автоматического управления (ССУЗ) / И.Ф. Бородин. - М.: КолосС, 2006. - 352 с.

УДК 004.89; ГРНТИ 50.47.29

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SCADA-ТЕХНОЛОГИЙ В СОВРЕМЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Д.Ю. Буланов, Р.Н. Дятлов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, bulanovdima29@gmail.com*

Аннотация. В данной статье рассмотрена структура, способы обмена данными в SCADA – системах, основные компоненты и функциональные возможности. Описаны преимущества применения SCADA-систем. Так же рассмотрены перспективы дальнейшего развития SCADA- технологий.

Ключевые слова: SCADA-система, OPC, RTU, реальное время, технологический процесс, оператор, программируемые логические контроллеры, мониторинг, управление

THE USE OF SCADA TECHNOLOGIES IN MODERN AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

D.Y. Bulanov, R.N. Dyatlov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, bulanovdima29@gmail.com*

Annotation. This article discusses the structure, methods of data exchange in SCADA systems, the main components and functionality. The advantages of using SCADA systems are described. The prospects for further development of SCADA technologies are also considered.

Keywords: SCADA system, OPC, RU, real time, technological process, operator, programmable logic controllers, monitoring, management

Системы SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) занимаются сбором информации с удаленных объектов в реальном времени, их обработкой, анализом и управлением. Они обычно применяются в потенциально опасных технологических процессах, где аварии могут привести к человеческим жертвам и значительному ущербу для окружающей среды.

Области применения SCADA:

- 1) Водозабор, водоочистка, водораспределение;
- 2) Метро, железнодорожный транспорт, авиатранспорт;
- 3) Добыча и транспортировка нефти;
- 4) Производство электроэнергии, управление передачей и распределением электроэнергии;
- 5) Вентиляционные установки;
- 6) Промышленное производство [1].

Преимущества введения SCADA-системы на производстве:

- 1) Повышенная безопасность

Системы SCADA могут обнаружить и предупредить оператора об аномальных условиях эксплуатации оборудования. Например, если есть утечка газа, то система покажет в каком конкретно месте и предупредит оператора о том, что ему необходимо незамедлительно предпринять действия.

- 2) Прогнозируемое обслуживание

Система считывает наработку оборудования и предупреждает о том, когда необходимо провести техническое обслуживание. Это позволяет сократить время простоя и предупредить аварии

- 3) Оперативное реагирование на неполадки

Эти системы позволяют оперативно реагировать на возможные сбои непосредственно из диспетчерского кресла. Например, с введением SCADA-системы операторам вентиляционных установок не нужно обходить весь завод для отслеживания технологических параметров, они могут это делать из диспетчерской.

Структурные компоненты любой SCADA-системы включают в себя RTU, MTU и CS и изображены на рисунке 1.

RTU представляет собой удаленный терминал, который подключается к контролируемому объекту и обеспечивает управление в реальном времени. Этот терминал может быть как простым датчиком, собирающим информацию с объекта, так и программируемым логическим контроллером, выполняющим обработку информации и управление.

MTU представляет собой высокоуровневый диспетчерский пункт, выполняющий обработку данных и управление. Его главная задача заключается в поддержании взаимодействия оператора и системы. Обычно для этой цели используется компьютер с установленным программным обеспечением SCADA.

CS представляет собой сеть связи, необходимую для передачи информации с контроллеров и датчиков на центральный интерфейс оператора-диспетчера и передачи управляющих воздействий обратно на RTU.

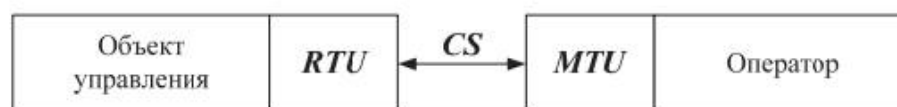


Рис. 1. Структурные компоненты SCADA-систем

Обмен данными в SCADA – системах

Одним из главных преимуществ современных SCADA-систем является их способность работать с различными устройствами нижнего уровня без ограничений. Это стало воз-

возможным благодаря разработке набора программных технологий, известных как OPC. OPC предоставляет единый интерфейс для обмена данными и взаимодействия с различными устройствами. Разработчики SCADA-систем больше не нуждаются в поддержке множества драйверов для разных устройств, так как они могут использовать OPC-клиент. Это означает, что производители устройств больше не должны беспокоиться о том, что их оборудование не сможет быть подключено к SCADA-системе.

OPC состоит из двух основных компонентов: OPC-сервера и OPC-клиента. OPC-сервер опрашивает контроллеры, модули ввода-вывода и датчики через драйверы устройств, используя промышленные протоколы. OPC-клиент, в свою очередь, находится внутри SCADA-системы и используется для получения информации с OPC-сервера.

В рамках стандарта OPC имеется десять спецификаций, включающих пять различных функциональных характеристик.

Первая функциональная характеристика – OPC Data Access. Ее задача - обеспечить мгновенный доступ к данным, позволяя передавать текущие значения.

Вторая функциональная характеристика – OPC Alarms and Events. Она предоставляет информацию о возникновении тревог и событий.

Третья функциональная характеристика – OPC Historical Data Access. Ее цель - обеспечить доступ к уже считанным данным.

Четвертая функциональная характеристика – OPC Security. Она гарантирует безопасность при доступе к данным.

Пятая функциональная характеристика - OPC Batch. Она передает информацию о состоянии оборудования. Для получения доступа к данным в режиме реального времени (OPC Data Access) используется понятие "элемент данных". Каждый элемент данных представляет измеряемую величину и содержит определенные поля.

- Значение;
- Качество;
- Отметка времени;
- Частота опроса переменной сервером OPC, которая определяет частоту обновления значения переменной.

Опрашивать оборудование низшего уровня с помощью OPC сервера можно двумя способами:

1) периодический режим, когда OPC клиент запрашивает данные через определенные промежутки времени

2) режим, когда система будет получать данные только при изменении величины

На основе вышеописанного можно выделить следующие функции SCADA-систем:

1. Прием данных с контроллеров и сенсоров о наблюдаемых параметрах.
2. Перенесение информации в архив.
3. Обработка принятой информации (как правило, происходит в связанных со SCADA-системой базой данных).
4. Предоставление информации о протекании технологического процесса с помощью мнемосхем, которые отображают информацию с датчиков и исполнительных механизмов не цифрами, но с помощью изменения визуальных свойств графического объекта. Например, уровень жидкости в емкости может меняться, а цвет меняется в зависимости от температуры (эффект динамизации).
5. Обработка команд оператора и направление их в программируемые логические контроллеры и исполнительные устройства
6. Регистрация всех действий оператора и событий, которые случились в ходе протекания технологического процесса.
7. Извещение эксплуатационного и обслуживающего персонала об авариях, связанных с наблюдаемым технологическим процессом.

8. Контроль прав доступа для того, чтобы оператор мог совершить те или иные действия, ему должны быть администратором предоставлены соответствующие права – например, право управлять исполнительным механизмом, или право изменить задание регулятору [2].

9. Формирование отчетов на основе информации из архива.

10. Обмен информацией с ERP системой.

11. Автоматическое управление на основе алгоритма, описанного на одном из языков МЭК 61131-3.

Основные тенденции развития SCADA-систем

1) Объектно-ориентированный подход

В «классических» SCADA-системах графические элементы связываются с тегами, которые представляют собой адреса в ПЛК, все их нужно настроить вручную. Каждому тегу нужно определить скрипты аварийных сигналов и обнаружения событий. Так же минусом является то, что для добавления новых функций требуется вносить изменения в скрипты и ссылки на базу данных тегов.

Однако, сегодня уже широко распространена и хорошо технологически отработана объектно-ориентированная архитектура. Объект в SCADA – это эквивалент реальной технологической единицы (цеха, установки, насоса, клапана и т. д.). При этом объект содержит как все параметры этой единицы (температура, давление, состояние механизмов), так и атрибуты: мнемосхемы, окна управления, виджет для отображения на мнемосхеме верхнего уровня, графики, отчеты и т. д.

Преимущества применения объектно-ориентированного подхода:

Первое и очевидное преимущество – упаковка всех свойств и атрибутов элемента в единый объект. Второе преимущество – тиражирование. Разработав объект (например, насос) – создав для него все необходимые входные и выходные переменные, окна управления, графики и т. д., – можно применять его в остальных частях проекта. Третье преимущество вытекает из второго – многократное использование разработанного объекта в различных проектах с помощью библиотеки [3]. Предположим, что для завода необходимо создать приложение, управляющее 20 клапанами, имеющими каждый по 6 рабочих параметров. В традиционной системе на основе тегов необходимо создать 120 тегов вручную. В объектно-ориентированной системе SCADA создается общий шаблон объекта «клапан», а объекты, представляющие каждый отдельный клапан, являются экземплярами. Таким образом, такой подход приводит к значительной экономии времени [4].

2) Интеграция с облачными технологиями

Интеграция облачных платформ с SCADA-системами позволяет операторам предприятий эффективно мониторить и управлять производственными процессами из любой точки мира. Облачные решения обеспечивают улучшенную масштабируемость и гибкость системы, а также позволяют операторам работать с данными через мобильные устройства.

3) Развитие интернета вещей

Интернет вещей (IoT) – это сеть устройств и оборудования, взаимодействующих и обменивающихся данными через Интернет. Внедрение IoT расширяет возможности связи и масштабируемости, способствует экономии времени и ресурсов.

4) Расширенный анализ данных и искусственный интеллект

С развитием информационных технологий и аналитических решений, SCADA-системы становятся все более совершенными инструментами анализа данных. Расширенный анализ данных и применение искусственного интеллекта позволяют предвидеть поведение производственных процессов, выявлять аномалии и возможные сбои. Применение искусственного интеллекта в SCADA-системах позволяет автоматизировать оптимизацию работы оборудования и производственных процессов на основе анализа данных и обратной связи.

Это способствует снижению расходов на обслуживание, уменьшению рисков сбоев и повышению эффективности производства.

5) Веб-развертывание

Обеспечивает полнофункциональное или ограниченное управление приложениями в веб-браузере.

6) Открытые стандарты

Система SCADA должна быть основана на открытых стандартах, чтобы обеспечить функциональную совместимость и упростить интеграцию, масштабируемость и совместную работу. Открытые стандарты не привязаны к конкретным поставщикам и не ограничивают совместимость и взаимодействие между различными частями программного или аппаратного обеспечения. Примеры таких стандартов: MQTT, OPC UA, HTML5, CSS

Библиографический список

1. Интегрированные системы проектирования и управления: учебное пособие / А.В. Долганов, Г.Б. Минигалиев, В.В. Елизаров. – Нижнекамск: Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2014. – 196 с
2. Газиева Р.Т., Ядгарова Д.Б., Нигматов А.М., Озодов Э.О. Мастер SCADA, учебное пособие для студентов специальности 5311000- Автоматизация и управление технологических процессов и производств (в водном хозяйстве), 2019. – 105 с
3. Основы проектирования в MasterSCADA. Методическое пособие. – Москва: НПФ «ИнСАТ», 2016.
4. Журнал «ИСУП», № 2(44). Статья «Преимущества объектно-ориентированных архитектур для SCADA и систем диспетчерского управления», Стивен Д. Гарбрехт (Steven D. Garbrecht), Invensys Operations Management, ЗАО «Клинкманн СПб», Санкт-Петербург, 2013. – 97с

УДК 681.518.2; ГРНТИ 50.49

АНАЛИЗ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ОГРАНИЧЕНИЯ ДОПУСКА НА ПРЕДПРИЯТИИ

К.А. Зеленков, Е.В. Тинина

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, kostya.zelenkow@gmail.com*

Аннотация. В работе анализируется потребность в системе ограничения допуска на предприятии и приводится сравнение существующих современных систем ограничения. Также предложен ряд возможных изменений в выбранной системе в целях повышения эффективности ее работы.

Ключевые слова: система ограничения допуска, анализ потребности, функциональные возможности, предприятие, автоматизированная система.

ANALYSIS OF AUTOMATED SYSTEMS RESTRICTIONS ON ACCESS AT THE ENTERPRISE

K.A. Zelenkov, E.V. Tinina

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, kostya.zelenkow@gmail.com*

Annotation. The paper analyzes the need for an admission restriction system in an enterprise and provides a comparison of existing modern restriction systems. A number of possible changes in the selected system are also proposed in order to increase its efficiency.

Keywords: access restriction system, needs analysis, functionality, enterprise, automated system.

В современном мире все большую популярность приобретает задача контроля и учета доступа людей на охраняемые территории и объекты с применением автоматизированных систем. На рынке нашей страны практически нет продуктов, которые бы одновременно сочетали в себе высокое качество аппаратной части и обширный набор функций программной

части системы. В то же время, на зарубежных рынках такие системы широко распространены, и продукты имеют достойное качество. Однако для российского рынка отсутствуют локализованные предложения.

Необходимость в разработке собственной информационной системы для любого предприятия обусловлена основным недостатком зарубежных решений – их высокой стоимостью. В отличие от отечественных аналогов стоимость иностранных решений превышает в пять раз.

Автоматизированная система ограничения допуска на предприятии по-другому называется «Система контроля и управления доступом» (СКУД). СКУД представляет собой комплекс программно-технических средств и организационно-методических мероприятий, которые способствуют эффективному контролю и управлению посещением охраняемого объекта.

Современные СКУД должны решать три основные задачи [1].

1. Учет рабочего времени.

Регистрация времени прихода и ухода сотрудников: СКУД регистрирует время, когда сотрудник приходит на работу и уходит с нее. Это позволяет контролировать рабочее время и соблюдение трудового распорядка.

2. Контроль перемещения персонала.

СКУД управляет проходом сотрудников и посетителей на территорию предприятия. Система может ограничивать доступ к определенным зонам или помещениям в зависимости от должности сотрудника, его уровня доступа и времени суток.

3. Идентификация личности.

СКУД позволяет сотрудникам проходить на территорию предприятия, используя различные методы идентификации, такие как магнитные карты, биометрические данные, пароли и ключи доступа.

Рассмотрим некоторые системы, которые широко используются на многих предприятиях России и актуальны на данный момент времени.

Прежде всего это СКУД «OnGuard Access» компании «Lenel Systems» с архитектурой клиент-сервер. Универсальная система контроля и управления доступом OnGuard Access, разработанная частной компанией Lenel Systems International из Нью-Йорка, предоставляет возможность эффективно организовать контроль доступа в помещения зданий. С помощью этой СКУД можно управлять неограниченным количеством дверей при огромной численности работников.

OnGuard Access – это комплексное программно-аппаратное решение, которое обеспечивает интеграцию оборудования Lenel и других производителей как на аппаратном, так и на программном уровне. Благодаря этому, система Access позволяет создавать интегрированные системы безопасности на основе платформы OnGuard, объединяющие не только системы доступа, но также системы видеонаблюдения, охранной и пожарной сигнализации различных зданий в пределах одной компании.

С помощью разнообразных программных средств, эта система контроля доступа может выполнять такие функции, как проектирование и печать карт доступа, управление перемещением сотрудников, посетителей, имущества и их учет, мониторинг тревог, создание зон доступа на основе биометрических данных и проведение видеоидентификации на пропускных пунктах. Архитектура клиент-сервер OnGuard Access открыта для расширения и модификации, что позволяет подключать неограниченное количество устройств контроля доступа сторонних производителей без необходимости замены программного обеспечения.

Основным недостатком данной системы «OnGuard» является стоимость, также данное решение ориентировано на крупные холдинги, предлагая множество функций. Особенно полезен этот программный продукт для организации крупных высоко интегрированных систем.

Система «Орион», разработанная российской компанией ASB Security, предназначена для эффективной организации рабочего места дежурного оператора службы охраны. Она

обеспечивает надежную индикацию событий и управление работой нижеприведенных подсистем:

- охранная и пожарная сигнализация;
- контроль доступа;
- видеонаблюдение;
- управление пожарной автоматикой.

Данная система эффективно взаимодействует с оборудованием компании «Болид» (Россия), специализирующейся на производстве систем контроля и управления доступом. Однако, следует отметить, что в данной системе используются файлы в качестве хранилища данных. Эта особенность влечет за собой определенные ограничения для работы системы, а именно:

- ограниченное количество событий, которое может быть сохранено в архиве, что снижает возможности системы в обработке большого объема данных;
- при увеличении размеров архива событий производительность системы значительно снижается, что может негативно сказаться на скорости работы;
- необходимость в дополнительных мероприятиях для организации сетевого доступа к данным, что требует дополнительных усилий и ресурсов для обеспечения удобства доступа к информации;
- дополнительные расходы на приобретение специальных модулей для конвертации, резервирования и восстановления архивов событий, в свою очередь, это приводит к значительной сложности в обслуживании системы.

Также можно выделить ряд причин, из-за которых молодому предприятию использовать данный программный продукт не рационально.

Первое, это высокая стоимость. «Орион» может быть дороже, чем некоторые другие системы контроля доступа на рынке, особенно, если учитывать стоимость внедрения и обслуживания. С большой вероятностью «Орион» может стать целью кибератак, что требует дополнительных мер безопасности. И он имеет ограниченную функциональность.

Фирма «1С:Бухучет и Торговля (БИТ)» является Российским лидером по производству различного программного обеспечения и обладает достаточно широкими функциональными возможностями:

- управление контроллерами доступа из «1С: Предприятия»;
- расчет опозданий, перерывов и переработок относительно нормы по графику;
- формирование табеля учета рабочего времени;
- заполнение кадровых и расчетных документов;
- расчет времени пребывания сотрудников в помещениях;
- получение оперативных данных по местонахождению сотрудников;
- открытие/закрытие дверей принудительно и по расписанию;
- анализ информации об отметках Proximity-карт и построение отчетов;
- формирование данных для расчета зарплаты.

Эта фирма выпускает программный продукт «БИТ: Управление доступом (СКУД) 8», который зависит от конфигурации «Зарплата и Управление Персоналом 8», версии 2.5 и выше, на платформе «1С: Предприятие 8.1». Это требует не только приобретения самого программного продукта, но и множества дополнительных модулей. Таким образом, «БИТ: Управление доступом (СКУД) 8» не может функционировать самостоятельно.

В таблице 1 представлены основные возможности рассмотренных СКУД [2]. Сравнение ведется по объему архива событий, возможному допуску к данным, поддержки оборудования, возможному взлому и стоимости (знак «-» обозначает отсутствие информации).

Таблица 1. Основные возможности и характеристики СКУД

Система	Объем архива событий	Сетевой доступ к данным	Семейство ОС	Поддержка оборудования «Болид»	Стоимость	Взлом данной СКУД
БИТ: Управление доступом (СКУД) 8	-	Хор.	Windows	Нет	Средняя	Возможен
OnGuard Access	-	Хор.	Windows	Нет	Высокая	Возможен
«Орион»	2 ГБ	Удовл.	Windows	Да	Высокая	Возможен

Согласно таблице 1 можно отметить следующее.

1. Объем архива событий необходим для хранения информации о происходящих событиях в системе или организации. Это включает записи о действиях пользователей, системных операциях, ошибках и других важных событиях, которые могут потребоваться для анализа или восстановления после инцидентов. Исходя из этого, можно сделать вывод, что чем больший объем памяти имеет система, тем лучше.

2. Сетевой доступ к данным позволяет получить доступ к информации и ресурсам, хранящимся на компьютерах и серверах, подключенных к локальной или глобальной сети. Наглядно видно, что выигрывает система с наилучшим сетевым доступом. В идеале предприятию необходимо иметь свой сервер для доступа к ресурсам.

3. На данный момент самой распространенной операционной системой, используемой в частных и коммерческих целях, является семейство Windows. А оптимальным статусом разработки системы является готовое решение, созданное с нуля.

4. Поддержка оборудования «Болид» – это совместимость с продукцией Российской компании «Болид», которая занимается разработкой и производством систем безопасности, таких как системы видеонаблюдения, контроля доступа, охранно-пожарной сигнализации и других устройств для обеспечения безопасности объектов. Поэтому СКУД в большей степени должна быть совместима с «Болид».

5. Стоимость рассматривается в качестве оценки затрат на приобретение и установку системы.

6. Взлом системы контроля управления доступом означает, что кто-то получил несанкционированный доступ к этой системе. Это может включать в себя подбор пароля, использование уязвимостей в системе или взлом сервера, на котором находится система. Взломанная система может быть использована для получения доступа к охраняемой территории, кражи данных или других незаконных действий.

Анализ систем по их характеристикам и возможностям позволяет сделать вывод, что все три системы имеют схожие характеристики, но система «БИТ: Управление доступом (СКУД) 8» более предпочтительна по сравнению с другими, так как она имеет более низкую стоимость.

Любое современное предприятие оснащается системой контроля и управления доступом на свою территорию, а его руководство стремится контролировать этот процесс. Перед вновь открывающимися организациями стоит вопрос выбора СКУД для своего уровня и потребностей.

Рассмотрим молодую развивающуюся компанию, которая проводит мониторинг рынка по данным системам.

Структура компании может включать следующие элементы [3]:

- Совет директоров (стратегическое управление и контроль деятельности исполнительных органов;

- исполнительный орган, директор (текущее управление предприятием, решение вопросов, связанных с оперативной деятельностью);
- бухгалтерия (учет и отчетность, проведение финансовых операций);
- отдел кадров (подбор персонала, оформление трудовых отношений, организация обучения сотрудников);
- юридический отдел (юридическое сопровождение деятельности предприятия, решение вопросов законодательства, подготовка договоров и иных документов);
- IT-отдел (функционирование информационных систем и поддержка компьютерной техники);
- производственный отдел (разработка и производство продукции);
- отдел сбыта (продвижение продукции на рынке, заключение договоров с покупателями и организация доставки);
- отдел маркетинга и рекламы (продвижение продукции на рынке, проведение рекламных кампаний, анализ эффективности маркетинговых мероприятий);
- служба безопасности (защита от внутренних и внешних угроз, таких как кражи, мошенничество, промышленный шпионаж, а также наблюдение за соблюдением правил и норм безопасности на производстве).

При прохождении на предприятие работники или сторонние лица должны выполнять следующие требования:

- прохождение через турникет в установленное время;
- подтверждение личности (пропуск) для идентификации системой контроля доступа;
- получение в службе безопасности временного разрешения на проход;
- соблюдение правил использования турникета и правил безопасности на территории предприятия.

Исходя из анализа таблицы 1, ни один из предложенных продуктов полностью не удовлетворяет требованиям, представленными компанией. У каждой рассмотренной системы довольно высокая цена, недостаточный сетевой доступ к данным, а также риск взлома.

Идеальным вариантом для компании будет создание системы, собравшей в себе лучшие характеристики и возможности. То есть система должна иметь достаточный объем архива событий и доступ к сетевым данным, принадлежать к семейству Windows, быть эксклюзивной разработкой для предприятия, поддерживаться оборудованием «Болид». Ключевым достоинством вновь разработанной СКУД должна быть сравнительно невысокая цена.

Библиографический список

1. Ворона, В. А., Тихонов, В. А. Системы контроля и управления доступом, 2-е изд. / В. А. Ворона, В. А. Тихонов. – Москва: Горячая линия-Телеком, 2010. – 273 с.
2. Белоцерковский, А.М., Веригин, Ю.С., Косенко, А.С., Скрыль В.И. Системы контроля и управления доступом: учебное пособие, 2-е изд. / А.М. Белоцерковский, Ю.С. Веригин, А.С. Косенко, В.И. Скрыль. – Томск, 2019. – 318 с.
3. Латфуллин Г.Р., Райченко А.В. Теория организации: учебник для среднего профессионального образования, 3-е изд., перераб. и доп. / Г. Р. Латфуллин, А. В. Райченко. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 448 с.

УДК 338.001.36; ГРНТИ 06.81.25

МНОГОФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Е.В. Сухарев, Ю.А. Сосулин

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, suevgeni@mail.com.

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы анализа устойчивости показателей эффективности инвестиционных проектов по отношению к возможным изменениям параметров планирования. Предлагается для решения задач анализа устойчивости использование аппарата многофакторного регрессионного анализа. Рассматривается многокритериальный подход к построению области устойчивости инвестиционных проектов, в пределах которой все рассматриваемые показатели эффективности сохраняют допустимые значения.

Ключевые слова: бизнес-план, инвестиционный проект, многофакторный регрессионный анализ, анализ чувствительности, показатели эффективности инвестиций.

MULTIFACTORIAL ANALYSIS OF THE SUSTAINABILITY OF INVESTMENT PROJECTS

E.V. Sukharev, Y.A. Sosulin

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, suevgeni@mail.com

The summary. The paper considers the issues of analyzing the stability of the performance indicators of investment projects in relation to possible changes in planning parameters. It is proposed to use the apparatus of multivariate regression analysis to solve the problems of stability analysis. A multi-criteria approach to the construction of an area of sustainability of investment projects is considered, within which all considered performance indicators retain acceptable values.

Keywords: business plan, investment project, multifactorial regression analysis, sensitivity analysis, investment performance indicators.

Планирование и анализ инвестиций, и представление результатов этого анализа в виде бизнес-плана является неременным условием успешного развития предприятия [1]. Бизнес-планирование – это эффективный способ управления предприятием. Бизнес-план помогает сформировать стратегию развития, сформулировать цели, оценить финансовое состояние организации, а также выполнить анализ результатов работы предприятия. Как правило, бизнес-планы составляются при помощи специализированных программных продуктов, лидером среди которых является аналитическая система Project Expert.

Инвестиционная деятельность предприятия характеризуется рядом параметров, важнейшими из которых, с точки зрения анализа, являются факторы производства и показатели эффективности инвестиций. Факторы производства - это цены и объемы продаж производимой продукции, постоянные и переменные издержки производства, налоги, капиталовложения. Эффективность инвестиционного проекта оценивается такими показателями, как индекс прибыльности, срок окупаемости, внутренняя норма рентабельности, чистый дисконтированный доход.

Инвестиционная деятельность предприятия всегда связана с рисками убыточности. Для оценки этих рисков при разработке бизнес-плана всегда проводится анализ чувствительности или устойчивости основных интегральных показателей эффективности проекта по отношению к возможным изменениям параметров планирования. Анализ чувствительности проекта заключается в определении критических границ изменения факторов планирования. Чем шире диапазон параметров, в котором показатели эффективности остаются в пределах приемлемых значений, тем выше запас прочности проекта.

В системе Project Expert имеется стандартный модуль анализа чувствительности, позволяющий оценить значения определенного показателя эффективности при варьировании одного из выбранных факторов планирования в заданном диапазоне. При этом остальные

факторы фиксируются на некотором принятом в проекте базовом уровне. Такой анализ, основанный на раздельном варьировании значений параметров планирования относительно некоторого базового уровня, неадекватно отражает эффективность проекта из-за взаимного влияния основных параметров. Получаемые при этом граничные значения одного из параметров существенно зависят от уровней, на которых фиксируются остальные параметры. При практической реализации инвестиционного проекта более характерны одновременные изменения уровней нескольких факторов. В такой ситуации полученные выводы относительно устойчивости проекта теряют свою обоснованность.

В работе предлагается методика многофакторного анализа чувствительности инвестиционных проектов. Предлагаемая методика заключается в совместном варьировании параметров планирования на заданных уровнях и построении моделей, связывающий каждый из показателей эффективности инвестиций со всеми факторами. При этом предполагается, что модель представляется полиномиальной регрессионной зависимостью известного вида [2].

$$y(\bar{x}) = \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i x_i + \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m \beta_{ii} x_i^2 + \dots,$$

где y – показатель эффективности проекта, x – факторы бизнес-планирования, а β – коэффициенты регрессии.

Такие модели для любой практически сложившейся в процессе реализации инвестиционного проекта ситуации позволяют получить оценку значения соответствующего показателя эффективности инвестиции, т.е. решать задачи анализа и прогнозирования.

Кроме того, такие модели позволяют получить значения факторов бизнес-планирования, обеспечивающие требуемое значение анализируемого показателя эффективности, т.е. решать задачи оптимизации и управления.

Полученные модели могут использоваться для определения границ области устойчивости в пространстве факторов планирования. Любые изменения факторов в пределах этой области не будут приводить к потере эффективности проекта по анализируемому показателю.

Сопоставление результатов стандартного однофакторного анализа чувствительности и предлагаемого метода многофакторного анализа показывает существенное отличие получаемых результатов. Так, для разработанного в Project Expert бизнес-плана анализ чувствительности проекта по индексу прибыльности PI показывает возможное снижение цены продаж на 5%, которое не будет приводить к выходу данного показателя за допустимые границы. Однако такой анализ дает слишком оптимистичный прогноз, так как он не учитывает возможное совместное изменение нескольких факторов. А значит, подобное исследование может применяться лишь для приближенной оценки.

Для рассматриваемого бизнес-плана в соответствии с предложенной методикой, может быть построена регрессионная многофакторная модель первого порядка с взаимодействиями для индекса прибыльности. В качестве факторов данной модели принимаются основные параметры бизнес-планирования, которые определяют эффективность проекта – продажная цена продукции C , объемы продаж V и общие издержки производства I . Используя построенный бизнес-план в качестве генератора данных, необходимых для построения регрессионной модели заданного вида, может быть получена модель зависимости исследуемого показателя эффективности от выбранной группы факторов бизнес-планирования. Оценивание коэффициентов регрессионной модели может быть выполнено с помощью любого статистического пакета, поддерживающего регрессионный анализ данных, например, систему статистического и графического анализа и прогнозирования Statistica [3].

В результате выполненных расчетов получена следующая регрессионная модель индекса прибыльности:

$$PI = 3,9 + 2,526C + 2,074V - 0,123I + 0,61CV - 0,032CI - 0,027VI.$$

В соответствии с построенной моделью, при снижении объемов продаж на 12% и увеличении издержек производства на 7%, цена реализации продукции допускает снижение лишь на 3%. Получаемый результат предъявляет более жесткие требования к реализации инвестиционного проекта, чем стандартный однофакторный анализ чувствительности.

Заметим, что деятельность предприятия характеризуется не одним показателем эффективности, а значит, анализ по одному критерию может не учитывать всех особенностей проекта. Например, при выборе уровней цены и издержек производства, обеспечивающих желаемый индекс прибыльности, срок окупаемости проекта может оказаться больше предполагаемого заранее. В качестве решения предлагается провести многокритериальный анализ, в котором с группой факторов связывается группа показателей эффективности.

Для изучения поведения совокупности показателей построены регрессионные зависимости срока окупаемости проекта PB , чистого приведенного дохода NPV и внутренней нормы рентабельности IRR от той же группы факторов (цена, объем, общие издержки).

$$PB = 17,96 - 9,833C - 7,556V + 0,61I + 3,167CV - 0,833CI - 0,167VI$$

$$NPV = 12417 + 13076C + 10595V - 56,8I + 2169CV + 2,6CI + 2,3VI$$

$$IRR = 353,79 + 357,46C + 303,19V - 21,24I + 277,96CV - 18,15CI - 15,8VI$$

Каждый показатель эффективности изучался отдельно, независимо от остальных. Для каждого показателя была найдена зона безубыточности. Сравнительная характеристика сведена в таблицу:

Исследуемый фактор	PI	PB	NPV	IRR
	Допустимый процент изменения уровня фактора			
Цена	-3	-4,5	-1,7	-4
Объем	-12	-18	-6	-16
Издержки	7	6	6	4,5

Как видно из полученных результатов, показатели эффективности по-разному реагируют на изменение факторов. Так модель по сроку окупаемости позволяет снизить цену на 4,5%. Однако в этом случае индекс прибыльности выйдет за рамки безубыточности. Это означает, что максимально снизить риски реализации инвестиционного проекта возможно лишь в зоне с наиболее строгими ограничениями. Таким образом, издержки можно повысить на 4,5%, объем снизить на 6%, а цену лишь на 1,7%.

Многокритериальный анализ эффективности инвестиционного проекта позволяет максимально точно оценить возможности безубыточного управления уровнями факторов производства. Многокритериальный анализ дает результаты (-1,7% снижения цены), значительно отличающиеся от полученных при стандартном просчете в модуле программы (-5%). Это означает, что предлагаемый метод анализа устойчивости проектов позволяет адекватно оценить риски инвестиций и повысить качество управления производством.

Библиографический список

1. Бизнес-планирование: учебник / под ред. В.М. Попова и С.И. Ляпунова. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 672 с.
2. Айвазян С.А. Основы эконометрики. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. — 432 с.
3. Боровиков В.П., Боровиков И.П. STATISTICA – статистический анализ и обработка данных в среде WINDOWS. – М.: ФИЛИНЬ, 1998. – 582 с.

УДК 004.65; ГРНТИ 20.51.01

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

В.В. Бочаров

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, Vad080100@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматривается изучение и создание автоматизированной информационной системы для подразделения предприятия на основе MSAccess 2016. Приводятся основные особенности данной платформы, достоинства и недостатки, принципы построения системы в среде MSAccess 2016, а также показана опытно-экспериментальная автоматизированная информационная система «Оптима», разрабатываемая специально для предприятия АО РКЦ «Прогресс» ОКБ «Спектр».

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, отчёт, форма.

AUTOMATED INFORMATION SYSTEM OF THE ENTERPRISE DIVISION

V.V. Bocharov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, Vad080100@yandex.ru*

The summary. The paper considers the study and creation of an automated information system for an enterprise division based on MS Access 2016. The main features of this platform, advantages and disadvantages, principles of building a system in the MS Access 2016 environment are presented, and the experimental automated information system «Optima» is also shown

Keywords: automated information system, report, form.

Одной из главных проблем производства опытно-экспериментальной продукции на предприятии АО РКЦ «Прогресс» ОКБ «Спектр» является отсутствие информационной системы, в которой бы хранилась конструкторская и технологическая документация в электронном виде, а также использование на всех этапах изготовления изделий бумажной документации. В то же время, в связи с тем, что производство опытно-экспериментальное и изготовление деталей не поставлено на поток, имеется проблема с отслеживанием изделий на этапах производственного цикла. Для устранения проблем, описанных выше, было принято решение о создании автоматизированной информационной системы, которая должна быть проста и понятна в использовании для базового пользователя ПК и не являющимся программистом. Система не должна быть перегружена лишними данными и функциями и иметь лишь необходимый для работы функционал. Так же в системе необходимо наличие общего доступа.

Для создания такой автоматизированной информационной системы была выбрана среда MSAccess 2016 [1-3]. Данная среда обладает всеми необходимыми программными средствами для создания и автоматизации баз данных, достаточно проста в использовании и имеет понятный пользовательский интерфейс. Для создания базы данных в MSAccess 2016 используются таблицы, запросы, формы и отчёты. Среда поддерживает использование языка программирования SQL.

Так как доступ к автоматизированной информационной системе ограничен, для начала пользователю необходимо авторизоваться (рис. 1):

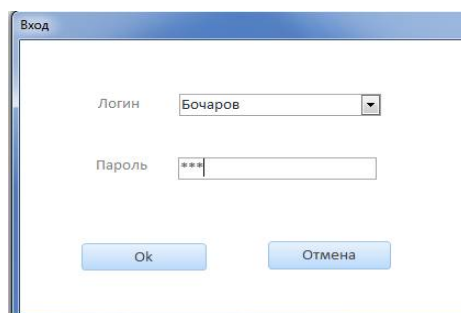


Рис. 1. Авторизация пользователя

После успешной авторизации пользователя встречается простая форма, на которой он выбирает необходимое действие (рис. 2):

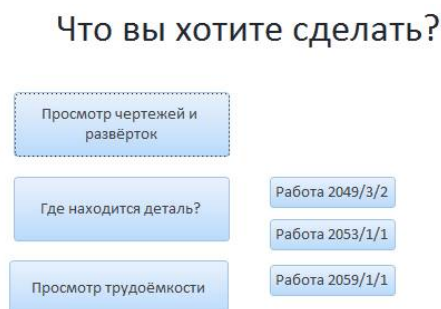


Рис. 2. Главная форма

Во вкладке «Просмотр чертежей и развёрток» пользователь может найти необходимую деталь по десятичному номеру, просмотреть её название, конструкторский чертёж и развёртку, необходимую для лазерной обработки (в случае, если деталь вырезается на лазерном станке) (рис. 3, 4):

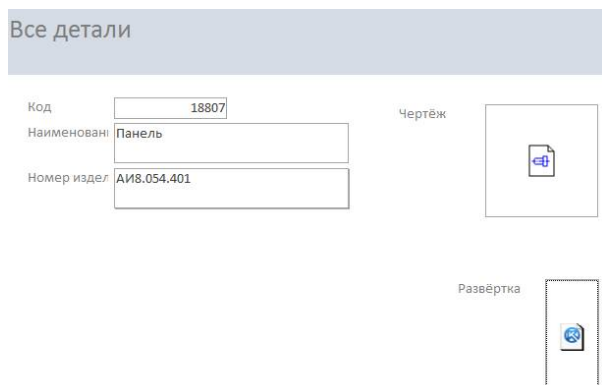


Рис. 3. Вкладка «Просмотр чертежей и развёрток»

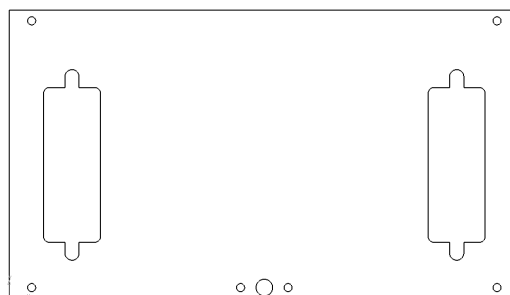


Рис. 4. Развёртка для лазерной резки

Во вкладке «Где находится деталь» пользователь находит деталь по десятичному номеру и отмечает, на каком этапе находится деталь, её исполнение, количество этих деталей, а также для какого наряд-заказа данная деталь изготавливается (рис. 5):

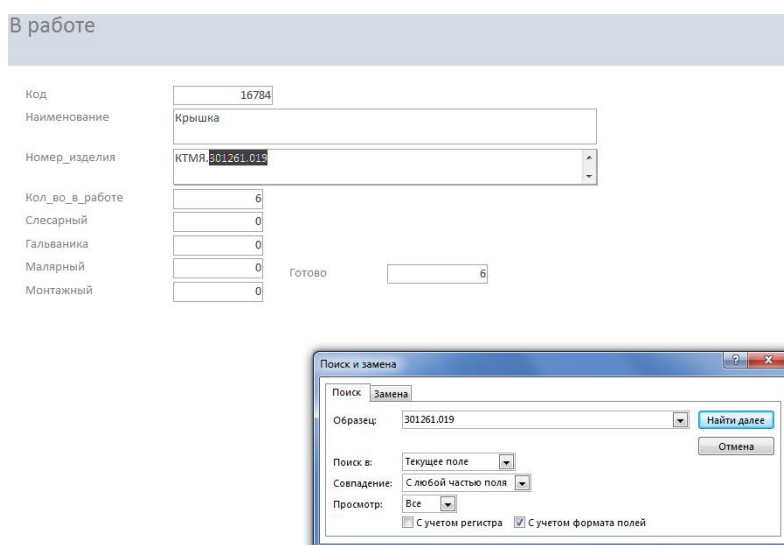


Рис. 5. «Где находится деталь?»

Для просмотра трудоёмкости детали пользователь выбирает её номер в соответствующей вкладке. На данной форме трудоёмкость детали можно обновить (рис. 6):

The screenshot shows the 'Трудоёмкость изготовления изделия, н/час' (Labor intensity of the product, h/hour) form. The form is divided into several sections:

- Header:** 'Обозначение КТМЯ.301261.019', 'Сборочная единица', 'Наименование Крышка'.
- Table:** A table with columns '№ изд.', 'Обозначение', 'дата', 'Содержание'. Row 1: '1', 'КТМЯ.АН.96', '03.05.2005', 'Содержание'.
- Metadata:** 'Дата записи в БД 02.09.2004', 'Запись изменена 20.04.2005', 'Первичная применимость КТМЯ.687228.055', 'Материал', 'Размеры заготовки', 'Дополнительно'.
- Operations Table:**

Операция	Изделие		Входящие		Итого		
	To	Tп-з	To	Tп-з	To	Tп-з	Сумма
Заготовительная	0	0	0,016	0,17			
Токарная	0	0	0	0			
Фрезерная	0	0	1,17	0,66			
Слесарная	0	0	2	0,34			
Слесарно-сборочная	0,17	0,17	0	0			
Сварочная	0	0	0,33	0,17			
Гравировальная	0	0	0	0			
Столярная,улак	0	0	0	0			
Итого (слес.уч)	0,17	0,17	3,52	1,34	3,69	1,51	5,20
- Buttons:** 'Обновить данные по трудоёмкости', 'Пересчет базы', 'Отчет по трудоёмкости изготовления изделия', 'Отчеты по трудоёмкости изготовления входящих'.
- Search and Replace Dialog:** 'Поиск и замена'. Fields: 'Образец: 301261.019', 'Поиск в: Текущее поле', 'Совпадение: С любой частью поля', 'Просмотр: Все'. Checkboxes: 'С учетом регистра', 'С учетом формата полей'.

Рис. 6. Просмотр и изменение трудоёмкости изделия

Также в «Оптиме» можно вывести отчёты, показывающие детали в работе, исполнение и трудоёмкость на изготовление комплекса (рис. 7, 8):

Список деталей в работе							
28 февраля 2024 г.							
8:23:05							
Наименование	Номер изделия	Кол_во_в_работе	Слесарный	Гальваника	Малярный	Монтажный	Готово
Крышка	КТМЯ.301251.037	1	0	0	1	0	
Панель	КТМЯ.741134.744	1	0	0	0	0	1
Планка	ЯОВ.602.912	4	0	0	4	0	
Панель	КТМЯ.741128.179	3	0	3	0	0	
Шайба	КТМЯ.711112.006	4	0	0	0	4	4
Кожух	КТМЯ.305142.133	2	0	0	2	0	
Панель	КТМЯ.301412.479	2	0	0	0	0	2
Рельс	КТМЯ.745322.265	36	0	0	0	0	36
Полка	КТМЯ.745525.009	1	0	1	0	0	
Панель	КТМЯ.741134.709	1	0	1	0	0	
Крышка	КТМЯ.301261.077	1	0	0	1	0	
Полка	КТМЯ.745525.010	1	0	1	0	0	
Панель	КТМЯ.741128.152	3	0	3	0	0	
Полка	КТМЯ.745525.006	8	0	8	0	0	
Панель	КТМЯ.741138.093	1	0	1	0	0	
Панель	КТМЯ.741124.679	1	0	1	0	0	
Экран	КТМЯ.745512.199	6	0	0	6	0	
Полка	КТМЯ.745525.008	2	0	2	0	0	
Крышка	КТМЯ.305142.132	2	0	0	2	0	
Крышка	КТМЯ.735412.125	2	0	0	0	0	2
Крышка	КТМЯ.301261.072	1	0	0	1	0	
Крышка	КТМЯ.735412.124	1	0	0	0	0	1
Кожух	КТМЯ.305142.130	1	0	0	1	0	
Рама	КТМЯ.301222.043	1	0	0	0	0	1
Панель	КТМЯ.741291.140	1	0	0	0	0	1
Основание	КТМЯ.301314.096	1	0	0	0	0	1

Рис. 7. Часть деталей в работе

АНИК-М всё									
Обозначение	Наименование	исп кол-во	Заготовите	Токарная	Фрезерная	Слесарная	сварно-сборочная	Сварочная	Гравировальная
АИ6.672.192	Колодка	5.00	0,00	0	0	0	0	0	0
АИ7.732.034	Контакт	44.00	0,02	0	0	0,016	0	0	0
АИ7.860.037	Втулка	16.00	0,02	0,083	0	0	0	0	0
АИ7.860.047	Втулка	8.00	0,02	0,083	0	0	0	0	0
АИ7.877.003-01	Стойка	2.00	0,00	0,25	0,33	0,1	0	0	0
АИ8.121.102	Стойка	10.00	0,02	0,17	0	0	0	0	0
АИ8.220.048	Втулка	16.00	0,02	0,17	0	0	0	0	0
АИ8.223.036-02	Втулка	103.00	0,02	0,1	0	0	0	0	0
АИ8.223.050	Втулка	7.00	0,02	0,17	0	0,17	0	0	0
АИ8.233.055	Втулка	5.00	0,02	0,083	0	0	0	0	0
АИ8.840.015	Чехол	26.00	0,17	0	0	0	0	0	0
АИ8.870.009	Пакет	1.00	0,00	0	0	0,17	0	0	0
АИ8.870.013-02	Пакет	52.00	0,00	0	0	0,17	0	0	0
КТМЯ.301112.044	Корпус	1.00	0,00	0	0	0	0,66	0	3,83
КТМЯ.301112.045	Корпус	1.00	0,00	0	0	0	1,33	0	0,75
КТМЯ.301231.033	Каркас	1.00	0,00	0	0	0	2,33	0	0
КТМЯ.301231.034	Каркас	1.00	0,00	0	0	0	2,5	0	0
КТМЯ.301231.035	Каркас	1.00	0,00	0	0	0	2	0	0
КТМЯ.301231.046	Каркас	6.00	0,00	0	0	0	6	0	0
КТМЯ.301231.056	Каркас	1.00	0,00	0	0	0	8,33	0	0
КТМЯ.301231.056-01	Каркас	2.00	0,00	0	0	0	8,33	0	0
КТМЯ.301231.057	Каркас	1.00	0,00	0	0	0	8,33	0	0
КТМЯ.301231.058	Каркас	1.00	0,00	0	0	0,92	8,42	0	0
КТМЯ.301231.059	Каркас	1.00	0,00	0	0	0	8,33	0	0
КТМЯ.301231.060	Каркас	1.00	0,00	0	0	0,92	9,33	0	0

Рис. 8. Часть деталей в работе по одному из комплексов

Библиографический список

1. Епанешников А.М. Практика создания приложений в Access — Москва: Гостехиздат, 2016
2. Кошелев В.Е. Access 2003. Практическое руководство — М.: Бином-Пресс, 2015
3. Кошелев В.Е. Базы данных в Access 2007 — Москва: РГГУ, 2013

УДК 004.4'22; ГРНТИ 50.51.17

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛИЯНИЯ SCADA С IIOT (INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS) ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ

М.С. Розанельский

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, mrozanel'skiy@gmail.com*

Аннотация. Данная статья рассматривает перспективы слияния системы SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) с концепцией IIoT (Industrial Internet of Things) с целью создания интегрированных и интеллектуальных промышленных систем управления. Исследование представляет анализ основных преимуществ такого слияния, включая расширенные возможности сбора и анализа данных, а также оперативное реагирование на изменения в производственных процессах. В статье также обсуждаются вызовы, стоящие перед интеграцией SCADA с IIoT, такие как обеспечение совместимости, кибербезопасность и эффективная обработка больших объемов данных. Наконец, представлены перспективы развития данного направления и его значимость для будущего промышленной автоматизации.

Ключевые слова: SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), IIoT (Industrial Internet of Things), производственный процесс, протокол связи.

RESEARCH ON THE MERGER OF SCADA WITH IIOT(INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS) TO CREATE INTEGRATED AND INTELLIGENT INDUSTRIAL SYSTEMS

M.S. Rozanelskiy

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, mrozanelskiy@gmail.com

Annotation. This article examines the prospects of merging the SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) system with the IIoT (Industrial Internet of Things) concept in order to create integrated and intelligent industrial control systems. The study provides an analysis of the main advantages of such a merger, including enhanced data collection and analysis capabilities, as well as rapid response to changes in production processes. The article also discusses the challenges facing the integration of SCADA with IIoT, such as interoperability, cybersecurity and efficient processing of large amounts of data. Finally, the prospects for the development of this area and its importance for the future of industrial automation are presented.

Keywords: SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), IIoT (Industrial Internet of Things), production process, communication protocol.

Промышленная автоматизация переживает новый этап эволюции, когда технологический прогресс стремительно изменяет облик промышленности, внедрение инновационных подходов к управлению становится ключевым фактором для сохранения конкурентоспособности предприятий. В рамках данного доклада сосредоточимся на исследовании слияния двух ключевых концепций - SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) и IIoT (Industrial Internet of Things) - с целью формирования нового поколения промышленных систем. Исследование слияния этих двух технологий открывает новые перспективы для создания систем, способных эффективно управлять производственными процессами, оптимизировать ресурсы и принимать управленческие решения на основе данных [1].

Обоснование актуальности исследования слияния SCADA с IIoT

В настоящее время мы сталкиваемся с увеличением объема данных, генерируемых промышленными процессами, и требуется эффективная система управления этими данными. Слияние SCADA с IIoT открывает новые возможности для сбора и анализа данных в реальном времени, что позволяет предприятиям быстрее реагировать на изменения и принимать более обоснованные управленческие решения [4].

Определение SCADA и IIoT

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

SCADA представляет собой систему управления и сбора данных, используемую в промышленности для мониторинга и контроля производственных процессов. Она обеспечивает операторам возможность взаимодействовать с промышленным оборудованием, собирать данные о его состоянии и управлять им через графический интерфейс. SCADA системы обычно включают в себя программное обеспечение для сбора данных, а также оборудование для связи с промышленным оборудованием, такое как датчики, контроллеры и исполнительные механизмы.

IIoT (Industrial Internet of Things)

IIoT представляет собой концепцию использования сети взаимосвязанных устройств и сенсоров для сбора и обмена данными в промышленной среде. IIoT устройства могут быть различными сенсорами, контроллерами, исполнительными устройствами и другим оборудованием, подключенными к сети для сбора данных о состоянии оборудования, окружающей среде и производственных процессах. IIoT позволяет промышленным предприятиям собирать и анализировать данные в реальном времени, что способствует улучшению производственной эффективности, предсказанию отказов оборудования и оптимизации процессов.

Потенциал интеграции SCADA с IIoT

Интеграция SCADA с IIoT представляет собой потенциально мощный инструмент для создания интеллектуальных промышленных систем, способных адаптироваться к перемен-

ным условиям и принимать более информированные решения. Ниже рассмотрены ключевые аспекты потенциала такой интеграции:

1. Расширенный доступ к данным:

Интеграция SCADA с IIoT расширяет возможности сбора данных за счет использования разнообразных датчиков и устройств, подключенных к сети интернета вещей. Это позволяет получать более полную и точную картину состояния производственных процессов и оборудования. Такой расширенный доступ к данным способствует лучшему контролю и управлению производственными процессами.

2. Аналитика и предсказательный анализ:

Использование алгоритмов машинного обучения и анализа данных позволяет выявлять скрытые закономерности и зависимости в больших объемах данных, собранных с помощью SCADA и IIoT. Это позволяет предсказывать отказы оборудования, оптимизировать производственные процессы и принимать решения на основе данных в реальном времени.

3. Улучшенное управление и мониторинг:

Интеграция SCADA с IIoT упрощает процесс управления и мониторинга производственными процессами. Операторы получают доступ к более полной и актуальной информации о состоянии оборудования и производственных параметрах, что позволяет им принимать более обоснованные решения и быстрее реагировать на изменения в окружающей среде.

4. Развитие интеллектуальных функций:

Интеграция SCADA с IIoT способствует развитию интеллектуальных функций на промышленных объектах, таких как автоматическое управление производственными процессами, оптимизация расхода энергии и предсказание времени простоя оборудования. Эти функции помогают улучшить эффективность производства и снизить издержки.

5. Преимущества для безопасности:

Интеграция SCADA с IIoT может также улучшить безопасность на производственных объектах. Благодаря более точному мониторингу и анализу данных, операторы могут быстрее выявлять потенциальные угрозы и принимать меры по их предотвращению, что снижает риск аварийных ситуаций и повышает общий уровень безопасности.

Связи между системой SCADA и IIoT показаны на рисунке 1.

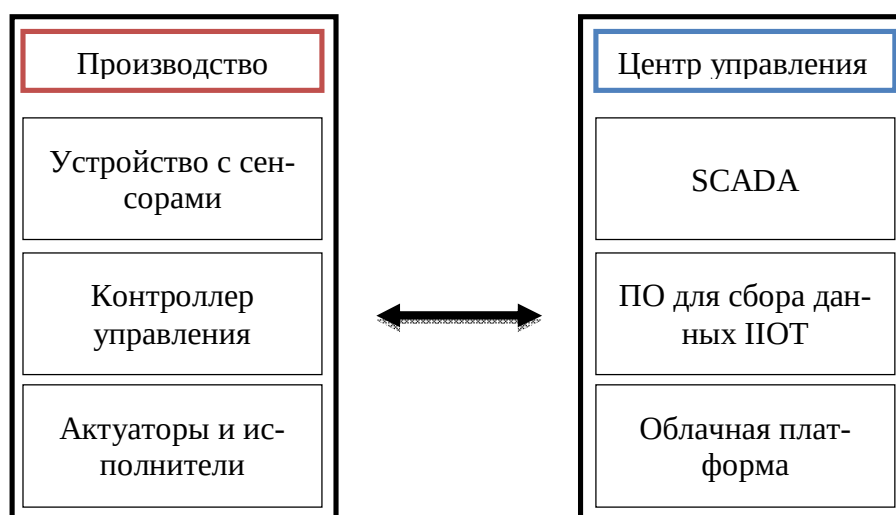


Рис. 1. Схема связей между системой SCADA и IIoT

На схеме представлены следующие элементы:

1. Производство: место, где происходят производственные процессы.
2. Устройство с сенсорами: устройства, оснащенные различными сенсорами для сбора данных о состоянии оборудования, среде и других параметрах производства.

3. Контроллер управления: устройство, которое собирает данные с сенсоров, анализирует их и принимает управляющие решения на основе заданных алгоритмов.

4. Актуаторы и исполнители: устройства, которые получают команды от контроллера управления и выполняют соответствующие действия на производстве [3].

5. SCADA: система управления и сбора данных, которая является центральным элементом управления производственными процессами и взаимодействует с контроллером управления и облачной платформой.

6. ПО для сбора данных IIoT: программное обеспечение, которое обеспечивает сбор и передачу данных от устройств с сенсорами к облачной платформе.

7. Облачная платформа: инфраструктура, которая обрабатывает и анализирует данные, хранит их в облачном хранилище и предоставляет доступ к информации операторам и системам управления из любой точки мира [2].

Интеграция SCADA с IIoT требует обеспечения совместимости различных протоколов связи и систем. Вот некоторые ключевые аспекты совместимости:

1. Протоколы связи: при интеграции систем SCADA и IIoT важно выбрать протоколы связи, которые обеспечивают надежную передачу данных между устройствами. Примеры протоколов, которые часто используются в промышленности, включают Modbus, OPC UA, MQTT, и прочие. Важно, чтобы выбранные протоколы были совместимы между собой и обеспечивали безопасную передачу данных [6].

2. Системная совместимость: важно провести тщательный анализ существующей инфраструктуры и выбрать решения, которые легко интегрируются с текущими системами и процессами.

Кибербезопасность

Обеспечение кибербезопасности является критическим аспектом при интеграции SCADA с IIoT из-за потенциальных угроз кибератак и нарушений безопасности.

Важно использовать шифрование данных при передаче и хранении информации между системами SCADA и IIoT для защиты конфиденциальности и целостности данных. Реализация механизмов аутентификации и авторизации помогает предотвратить несанкционированный доступ к системе и защитить её от вредоносных атак.

Эффективная обработка больших объемов данных

Интеграция SCADA с IIoT приводит к значительному увеличению объема данных, которые необходимо обрабатывать и анализировать. Вот некоторые стратегии для эффективной обработки больших объемов данных:

1. Использование облачных технологий

Облачные вычисления могут обеспечить масштабируемость и гибкость для обработки и хранения больших объемов данных, а также предоставить доступ к вычислительным ресурсам по требованию.

2. Применение методов анализа данных

Применение методов анализа данных, таких как машинное обучение и искусственный интеллект, помогает извлекать ценные знания из больших объемов данных и делать предсказания о производственных процессах.

Выводы

Таким образом, интеграция систем SCADA с IIoT представляет собой значимый шаг в развитии промышленной автоматизации, открывая новые возможности для создания интегрированных и интеллектуальных промышленных систем. Реализация требует высокой квалификации и опыта со стороны специалистов в области теплотехники, электроники, программирования и т.д. Несмотря на то, что большинство процессов в промышленных системах выполняются автоматически, некоторые операции по-прежнему требуют вмешательства человека [5]. Это могут быть технические или административные вопросы, а также вопросы обслуживания оборудования. В настоящее время имеет большое значение не только создавать новые, но и модернизировать уже существующие объекты с использованием новейших технологий.

Библиографический список

- 1 Аналоговая и цифровая электроника/ Под ред. О.П. Глудкина - М.: Горячая линия - Телеком, 1999 г.
- 2 Клюев, А.С. «Техника чтения автоматизированного управления и технического контроля» / А.С.Клюев. - М.: Издательство «Энергоатомиздат»,2014. – 423с.
- 3 Келим, Ю.М. «Контроль и метрологическое обеспечение средств и систем автоматизации» / Ю.М.Келим. - М.: Издательство «Энергоатомиздат»,2014. – 352с.
- 4 Пантелеев, В.Н. «Основы автоматизации производства» / В.Н.Пантелеев. - М.: Издательство «Академия»,2015. – 208с.
- 5 Клюев, А.С. «Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования» / А.С.Клюев М.: Издательство «Альянс»,1989. – 368с.
- 6 Афонин, А.М. «Теоретические основы разработки и моделирования систем автоматизации» / А.М.Афонин. - Москва: Издательство «Форум»,2014. – 192с.

УДК 62-5; ГРНТИ 55.20.15

ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ЭЛЕКТРОДАХ ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ

Р.Н. Дятлов

*Рязанский государственный радиотехнический университет им. В. Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, kaitp@list.ru*

Аннотация. В работе рассматривается математический аппарат теплофизических процессов на электродах при электроэрозионной обработке. Разработана плоская численная модель теплового разрушения металла. Приведены уравнения процесса плавления металла при постоянной температуре жидкой фазы на поверхности. Показано практическое применение полученных результатов.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, тепловые процессы, моделирование.

THERMAL PROCESSES ON ELECTRODES DURING ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING

R. N. Dyatlov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin,
Russia, Ryazan, kaitp@list.ru*

The summary. The paper examines the mathematical apparatus of thermophysical processes on electrodes during electrical discharge machining. A flat numerical model of thermal destruction of metal has been developed. The equations for the process of metal melting at a constant temperature of the liquid phase on the surface are given. The practical application of the obtained results is shown.

Keywords: electrical discharge machining, thermal processes, computer modeling.

Электрофизические и электрохимические методы размерного формообразования представляют собой один из наиболее характерных и нашедших распространение в промышленной практике примеров использования концентрированных потоков энергии. В связи с этим, как сам процесс формообразования (например снятие припуска), так и последствия воздействия концентрированных потоков энергии на материал изделия становятся весьма существенными не только с теоретической, но и практической точек зрения. Так, например, показатель качества обработки и как следствие этого, служебные свойства изделия (детали) в сильной степени связаны с энергетическими и временными характеристиками рабочего процесса удаления припуска.

В связи с этим оценка результатов воздействия потока энергии на обрабатываемый материал по всем возможным аспектам (качество, производительность, остаточные влияния и т. д.) весьма важна для практики, т. к. открывает путь к расчёту как технологических характеристик, так и формированию технически обоснованных требований к оборудованию.

В основе рабочих процессов электроэрозионной, электроннолучевой, электрохимической и лазерной размерной обработки лежит совокупность нестационарных электрических тепловых, электрохимических и термомеханических процессов. Как правило уравнения, описывающие эти процессы, существенно нелинейны и в ряде случаев аналитическое решение этих уравнений не известно. Тем не менее современный уровень развития теоретических представлений даёт возможность получить весьма близкие к истине оценки тех или иных параметров или прогнозировать определённые качественные эффекты.

Электроэрозионная обработка основана на явлении теплового разрушения металлов под действием нестационарного импульсного разряда. Плотность теплового потока лежит в диапазоне $10^5 \dots 10^7$ Вт/см². Под действием такого высокоинтенсивного теплового потока металл нагревается, плавится и частично испаряется. Рассмотрение всех особенностей теплового разрушения возможно только в трёхмерной постановке с учётом процессов плавления, испарения, а также температурной зависимости теплофизических характеристик разрушаемого металла. Однако решение такой задачи в аналитическом виде не получено и возможно только численное решение.

Для практических целей достаточно ограничиться оценками, полученными на основании ряда упрощающих предположений.

Во-первых, будем предполагать, что металл в течении импульса тока находится в расплавленном состоянии на поверхности металла и выбрасывается из лунки после окончания импульса тока.

Во-вторых, ограничимся рассмотрением только процесса плавления. Оценки показывают, что в диапазоне плотностей потока до 10^6 Вт/см² испарение не даёт существенного вклада в разрушение материала.

В-третьих, будем рассматривать одномерную (плоскую) задачу.

Это допущение справедливо в том случае, если выполняется неравенство

$$r_l \gg \sqrt{at_n}, \quad (1)$$

где r_l – радиус лунки,

$a = \lambda/c\rho$ – коэффициент температуропроводности,

t_n – длительность импульса.

Для большинства металлов неравенство (1) выполняется практически во всем диапазоне возможных режимов обработки.

Пусть поверхностью раздела (рис. 1) жидкой и твёрдой фаз является плоскость $x = \xi(t)$. За время $t, t + \Delta t$ граница $\xi(t)$ переместится от $\xi = h$ до $\xi = h + \Delta h$. Это перемещение произошло в результате плавления массы $\rho\Delta h$ для чего потребовалось количество тепла $L_{пл}\rho\Delta h$, где $L_{пл}$ – скрытая теплота плавления материала. Данное количество тепла должно равняться разности количества тепла, прошедших через границы $\xi = h$ и $\xi = h + \Delta h$.

$$\left[-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} \Big|_{x=h} - \left(-\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \Big|_{x=h+\Delta h} \right) \right] \Delta t = L_{пл}\rho\Delta h,$$

где T_1 – температура жидкой фазы,

T_2 – температура твёрдой фазы,

λ_1, λ_2 – коэффициенты теплопроводности жидкой и твёрдой фаз,

ρ – плотность материала.

Переходя к пределу при $\Delta t \rightarrow 0$, получим условие на границе раздела:

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} \Big|_{x=h} + \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \Big|_{x=h} = L_{пл}\rho \frac{\partial h}{\partial t}.$$

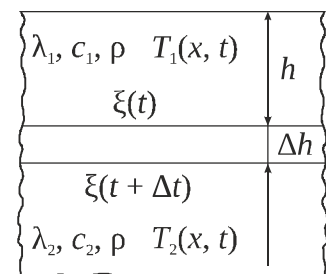


Рис. 1

Рассмотрим процесс плавления металла при постоянной температуре жидкой фазы на поверхности. Тем самым пренебрегаем временем установления этой температуры. Однако в начальный момент пробоя, когда плотность теплового потока чрезвычайно велика, нагрев поверхности в небольшой зоне, ограниченной радиусом канала разряда (не успевшем существенно расшириться за столь малое время) происходит за время $\approx 10^{-7}$ с.

Задача о плавлении может быть записана следующим образом [1, 2]:

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = a_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2}, \quad 0 < x < h, \quad (2)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = a_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2}, \quad h < x < \infty,$$

$$T_1(0, t) = \bar{T}, \quad (3)$$

$$T_2(\infty, t) = T_0, \quad (4)$$

$$T_2(x, 0) = T_0,$$

$$T_1(h, t) = T_2(h, t) = T_{\text{пл}},$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} \Big|_{x=h} + \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \Big|_{x=h} = L_{\text{пл}} \rho \frac{dh}{dt}. \quad (5)$$

Все условия задачи останутся неизменными, если масштаб длины увеличить в K раз, а масштаб времени в K^2 раз. Это означает, что решение зависит от аргумента x/\sqrt{t} т. е. $T(x, t) = f(x/2\sqrt{t})$. Движение изотермы плавления будет описываться уравнением $h = \alpha\sqrt{t}$, где α – значение аргумента, при котором

$$T(h, t) = f\left(\frac{\alpha}{2}\right) = T_{\text{пл}},$$

Для определения функции f имеем условия: введём $z = x/2\sqrt{t}$

$$\frac{dz}{dt} = -\frac{x}{4t\sqrt{t}} = -\frac{z}{2t},$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} \cdot \frac{1}{4t},$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial f}{\partial z} \frac{\partial z}{\partial t} = -\frac{z}{2t} \cdot \frac{\partial f}{\partial z}.$$

Подставив в (2) получим

$$-\frac{z}{2t} \frac{\partial f}{\partial z} = a_1 \frac{1}{4t} \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}$$

или

$$a_1 \frac{d^2 f}{dz^2} = 2z \frac{df}{dz}.$$

Для задачи о плавлении имеем два уравнения

$$a_1 \frac{d^2 f_1}{dz^2} = -2z \frac{df_1}{dz}, \quad 0 < z < \alpha,$$

$$a_2 \frac{d^2 f_2}{dz^2} = -2z \frac{df_2}{dz}, \quad \alpha < z < \infty,$$

$$\begin{aligned}
 f_1(0) &= \bar{T}, \\
 f_2(\infty) &= T_0, \\
 f_1(\alpha) &= f_2(\alpha) = T_{\text{пл}}, \\
 -\lambda_1 \frac{df_1}{dz} \Big|_{z=\alpha} + \lambda_2 \frac{df_2}{dz} \Big|_{z=\alpha} &= L_{\text{пл}} \rho \frac{\alpha}{2}.
 \end{aligned}$$

Функция $f(z)$ имеет вид

$$f(z) = \begin{cases} f_1(z) = A_1 + B_1 \operatorname{erf} \left(\frac{z}{2\sqrt{a_1}} \right), & 0 < z < \alpha, \\ f_2(z) = A_2 + B_2 \operatorname{erf} \left(\frac{z}{2\sqrt{a_2}} \right), & \alpha < z < \infty, \end{cases}$$

где $\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\pi} \int_0^x e^{-u^2} du$ – функция ошибок Гаусса. Возвращаясь к переменной T , получим

$$\begin{aligned}
 T_1 &= A_1 + B_1 \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{a_1}t} \right), \\
 T_2 &= A_2 + B_2 \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{a_2}t} \right).
 \end{aligned}$$

Из (3, 4) следует $A_1 = \bar{T}$; $A_2 + B_2 = T_0$.

На фронте плавления

$$\begin{aligned}
 A_1 + B_1 \operatorname{erf} \left(\frac{h}{2\sqrt{a_1}t} \right) &= T_{\text{пл}}, \\
 A_2 + B_2 \operatorname{erf} \left(\frac{h}{2\sqrt{a_2}t} \right) &= T_{\text{пл}}.
 \end{aligned}$$

Это возможно только при $h = \alpha\sqrt{t}$

$$\begin{aligned}
 \bar{T} + B_1 \operatorname{erf} \left(\frac{\alpha}{2\sqrt{a_1}} \right) &= T_{\text{пл}}, \\
 B_1 &= -\frac{\bar{T} - T_{\text{пл}}}{\operatorname{erf} \left(\frac{\alpha}{2\sqrt{a_1}} \right)}.
 \end{aligned}$$

Аналогично

$$\begin{cases} A_2 + B_2 \operatorname{erf} \left(\frac{\alpha}{2\sqrt{a_2}} \right) = T_{\text{пл}}, \\ A_2 + B_2 = T_0. \end{cases}$$

$$B_2 = \frac{T_0 - T_{\text{пл}}}{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{\alpha}{2\sqrt{a_2}}\right)},$$

$$A_2 = T_0 - \frac{T_0 - T_{\text{пл}}}{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{\alpha}{2\sqrt{a_2}}\right)},$$

$$T_1(x,t) = \bar{T} - \frac{\bar{T} - T_{\text{пл}}}{\operatorname{erf}\left(\frac{\alpha}{2\sqrt{a_1}}\right)} \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{a_1}t}\right),$$

$$T_2(x,t) = T_0 + \frac{T_{\text{пл}} - T_0}{1 - \operatorname{erf}\left(\frac{\alpha}{2\sqrt{a_2}}\right)} \cdot \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{a_2}t}\right)\right],$$

Для определения α получаем из (5)

$$\lambda_1 \frac{(\bar{T} - T_{\text{пл}})}{\operatorname{erf}\left(\frac{\alpha}{2\sqrt{a_1}}\right) \sqrt{a_1}} e^{-\frac{\alpha^2}{4a_1}} - \lambda_2 \frac{(T_{\text{пл}} - T_0)}{\left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{\alpha}{2\sqrt{a_2}}\right)\right] \sqrt{a_2}} e^{-\frac{\alpha^2}{4a_2}} = L_{\text{пл}} \rho \alpha \frac{\sqrt{\pi}}{2}.$$

Данное уравнение трансцендентное. Оно устанавливает связь между \bar{T} и α . Для большинства металлов при \bar{T} не превосходящих существенно температуру кипения α лежит в интервале от 0,1 до 1.

Условимся называть поверхностной плотностью энергии выражение

$$\omega_0 = \int_0^{t_n} q(t) dt, \quad (6)$$

где $q(t) = -\lambda \frac{dt}{dx} \Big|_{x=0}$. Из (6) следует, что

$$\omega_0 = \frac{2\lambda_1(\bar{T} - T_{\text{пл}})\sqrt{t}}{\operatorname{erf}\left(\frac{\alpha}{2\sqrt{a_1}}\right) \sqrt{\pi a_1}}.$$

Оценим количество тепла, сообщаемого электроду тепловым источником с гауссовым распределением плотности теплового потока

$$q(r, t) = q(t) e^{-kr^2}, \quad (7)$$

где r – расстояние от центра. Для оценки необходимо проинтегрировать (7) по r , φ , t (в полярных координатах).

$$W_3 = \int_0^{2T} \int_0^\infty \int_0^{t_n} q(t) e^{-kr^2} r d\varphi dr dt,$$

$$W_3 = \frac{\pi}{k} \omega_0.$$

Согласно [1]

$$k = \frac{h_l}{r_l^2 \sqrt{at_i}},$$

$$W_3 = \frac{\pi r_l^2 \sqrt{at_i}}{h_l} \omega_0 = \pi k_1^2 \alpha \sqrt{a} \omega_0 t_i,$$

где $k_1 = r_l/h_l$. Считая $W_3 \approx 0,5W_{и}$ получим

$$W_{и} = 2\pi k_1^2 \alpha \sqrt{a} \omega_0 t_i.$$

Но $W_k = \int_0^{t_i} u(t)i(t)dt \approx u_s I_{и} t_{и} k_{ф}$, где $k_{ф}$ – коэффициент формы импульса тока. Полагая импульс тока прямоугольным ($k_{ф} = 1$), получим

$$I_{и} = \frac{1}{u_s} 2\pi k_1^2 \alpha \sqrt{a} \omega_0.$$

Результаты работы позволяют для заданного материала построить зависимости эффективной температуры от параметра α в заданном интервале температур, глубины зоны проплавления от длительности импульса. Для заданного значения глубины зоны расплава возможно определить минимальную длительность импульса, обеспечивающую получение заданной зоны. Также для диапазона длительностей можно определить значения амплитуд импульсов тока, обеспечивающих получение заданной глубины лунки.

Библиографический список

1. Золотых Б. Н. Физические основы электрофизических и электрохимических методов обработки: учеб. пособие / М-во высш. и сред. спец. образования РСФСР. Моск. ин-т электронного машиностроения. Кафедра технологии электронного машиностроения. – М., 1975. – 104 с.
2. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики: учеб. пособие для высших учебных заведений / Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука». Изд. 5-е, стереотипное. – М., 1977. – 736 стр.

УДК 681.518.2; ГРНТИ 50.49

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ КОТЕЛЬНОЙ НА БАЗЕ ПЛК

С.Г. Сморчков, М.В. Ленков

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, ssmorchkov2001@gmail.com

Аннотация. В данной статье будет рассмотрена структура системы автоматического управления котельной, основанные на использовании ПЛК и требования к автоматизированной системе. Применение автоматизации процесса управления котельной является актуальным в связи с тем, что автоматизация позволяет соблюдать и регулировать технологические характеристики системы теплоснабжения, обеспечивая безопасность работы. Так же позволяет сократить количество обслуживающего персонала.

Ключевые слова: система автоматического управления, программируемый логический контроллер (ПЛК), автоматизация, котельная.

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR A PLC BASED BOILER HOUSE

S.G. Smorchkov, M.V. Lenkov

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, ssmorchkov2001@gmail.com

Annotation. This article will consider the structure of the boiler room automatic control system based on the use of a PLC and the requirements for an automated system. The use of automation of the boiler room control process is relevant due to the fact that automation allows you to observe and regulate the technological characteristics of the heat supply system, ensuring work safety. It also allows you to reduce the number of maintenance personnel.

Keywords: automatic control system, programmable logic controller(PLC), automation, boiler room

В настоящее время для создания благоприятной обстановки в помещениях мы активно используем энергию, включая и электрическую, и тепловую. По данным документа «Стратегии развития теплоснабжения и когенерации в Российской Федерации до 2025 года» значительная часть энергоресурсов страны тратится именно на тепло – около трети от общего потребления первоначальной энергии, достигая половины с учетом частных систем обогрева. Это ставит российскую энергетику на один уровень с экспортом углеводородов. Высокие затраты на поддержание тепла в помещениях уменьшают конкурентные преимущества отечественного бизнеса. Стоимость отопления и горячего водоснабжения для граждан оказывается выше, чем суммарные расходы на другие коммунальные услуги.

Повышение уровня контроля над котельными за счет внедрения современных систем автоматизации, чувствительных к изменениям погоды, представляет собой ключевое решение для снижения ручного участия операторов в процессах управления. Эти системы, оснащенные как программным, так и аппаратным обеспечением, включая программируемые контроллеры и датчики для сбора данных, предотвращают аварии и серьезные последствия, возникающие из-за нарушений в технологических циклах. Зачастую, сотрудники теряют массу времени на повторяющиеся задачи, но благодаря новейшим автоматическим системам, число таких задач может быть значительно сокращено.

Автоматика, реагирующая на погодные условия, вносит значительный вклад в оптимизацию расхода энергии и повышение безопасности эксплуатации систем отопления. Она влияет на экономическую эффективность за счет улучшения работы оборудования. Одной из главных особенностей погодозависимой автоматики является создание температурной кривой, отображающей зависимость между температурой снаружи и температурой теплоносителя в отопительном контуре. Кривая представляет собой линию, одна точка которой соответствует температуре на улице, а вторая - температуре теплоносителя, которая обеспечивает заданную температуру в помещении. В зависимости от утепления здания, наклон кривой может быть большим или меньшим.

Контроллер отслеживает текущие погодные условия и управляет системой отопления, обеспечивая заданную температуру в помещении. Диаграмма отопительных кривых приведена на рисунке 1.

Современная котельная представляет собой комплексные объекты инфраструктуры предназначены для подогрева теплоносителя, который затем распределяется по сетям теплоснабжения или используется для производства пара [1].

Максимальная температура отопительного контура (°C)

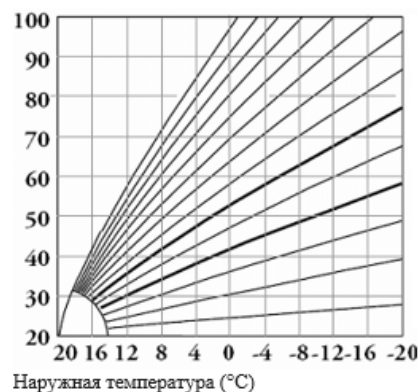


Рис. 1. Диаграмма отопительных кривых

В зависимости от своих функциональных особенностей и масштабов использования, котельные могут быть различных видов:

1. Стационарные, которые построены как отдельные постоянные сооружения.
2. Блочно-модульные, представляющие собой предварительно собранные узлы, готовые к быстрой сборке и монтажу на месте эксплуатации.
3. Крышные, устанавливаемые непосредственно на кровлях зданий и обслуживающие отдельные объекты.

С точки зрения типа используемых котлов, котельные делятся на:

- Паровые, в которых теплоноситель превращается в пар.
- Водогрейные, предназначенные для нагревания воды.
- Смешанные, сочетающие в себе оба предыдущих типа.

По виду используемого топлива котельные классифицируются на:

- Газовые, работающие на природном газе.
- Жидкотопливные, использующие для работы дизельное топливо или мазут.
- Твёрдотопливные, где в качестве источника энергии применяются уголь, древесина или пеллеты.
- Комбинированные (многотопливные), способные переключаться между разными видами топлива в зависимости от их доступности и стоимости.

Важной задачей в управлении котельными является обеспечение их бесперебойной и безопасной работы, что невозможно без внедрения современных технологий. Автоматизированные системы регулирования и управления играют ключевую роль в этом

процессе. Они позволяют не только точно контролировать все параметры работы оборудования, но и существенно сокращать риски, связанные с человеческим фактором.

В промышленности значительное внимание уделяется автоматизации процессов управления оборудованием, что позволяет повысить эффективность его работы и безопасность эксплуатации. Разработка системы автоматического управления котельной на базе программируемого логического контроллера (ПЛК) является одним из перспективных направлений в области автоматизации теплоэнергетических процессов. Такая система позволяет не только оптимизировать процесс сжигания топлива и поддержания температуры, но и существенно снизить риск аварийных ситуаций.

Требования к автоматизированной системе

Основными задачами проектирования автоматизированных систем котельных установок являются:

- минимизация затрат на эксплуатацию и обслуживание водогрейного/парового котла на газовом топливе;
- обеспечение высокого уровня безопасности работы водогрейного/парового котла на газовом топливе;
- передача точной и достоверной информации о параметрах технологического процесса эксплуатирующему персоналу;
- автоматическая защита объектов управления в случае аварии за счёт соблюдения технологического регламента работы установок с помощью систем автоматического регулирования.

Для выполнения данных задач необходимо обеспечить:

- контроль работы насосов (контроль должен осуществляться от установленных на каждом магнитном пускателе дискретных контактов);
- поддержание температуры теплоносителя в прямом трубопроводе системы ГВС и отопления посредством управления трехходовыми клапанами;
- регулирование температуры в контуре должно осуществляться по заданному в ПЛК графику отопления;

–защиту от превышения температуры на обратном трубопроводе контура ГВС и отопления (максимальная температура обратной воды вычисляется из графика зависимости температуры обратной воды от температуры подачи);

–возможность корректировки кривой отопления и графика зависимости температуры обратной воды от температуры подачи локально и дистанционно.

Также монтируемое оборудование должно обеспечивать передачу в диспетчерский центр следующего объема телеинформации о функционировании котельной:

–температуру и давление на входе и выходе с теплообменников, с котлов и от потребителей, температура наружного воздуха, давление на входе и напоре насосов;

–состояние насосов (включен, выключен, срабатывание автомата, режим управления насосами, срабатывание защиты по сухому ходу, срабатывание защиты по отсутствию перепада давления).

–наработка моточасов, состояние регуляторов (режим работы, состояние), факт аварийной ситуации, контроль параметров питающей сети и формирование сигнализации при отклонениях параметров от нормальных.

Монтируемое оборудование должно обеспечивать управление электродвигателями насосов в ручном и автоматическом режиме, а также обеспечивать управление электроприводными регулирующими клапанами по температуре воды в подающем трубопроводе отопления и ГВС.

Схема управления насосами должна обеспечивать: автоматический пуск, защиту по сухому ходу насосов, защита от короткого замыкания, защита по перегрузке, тепловая защита, защита по перекоосу фаз, автоматический ввод резервного насоса при отказе основного работающего, смену работающего насоса один раз в заданный оператором период времени.

Архитектура АСУ ТП котельной

В современных системах автоматизации, таких как АСУ котельных, ключевую роль играет четко организованная иерархическая структура. Данный подход позволяет эффективно управлять процессами и обеспечивать бесперебойную работу оборудования [2]. На рисунке 2 демонстрируется деление такой системы на три основных уровня, каждый из которых выполняет свои специфические функции.

Исходный принцип работы системы базируется на взаимодействии исполнительных механизмов, которые формируют фундамент нижнего уровня. Также здесь активно задействованы разнообразные датчики, собирающие информацию о текущем состоянии оборудования, и устройства, которые позволяют операторам осуществлять местное управление в режиме реального времени.

В центре этой иерархии находится средний уровень, который является своеобразным мозгом системы. Он представлен шкафами автоматики, в которых установлено оборудование для обработки сигналов. Эти устройства автоматически собирают и анализируют данные от датчиков, а затем, следуя заранее установленному алгоритму, управляют работой исполнительных механизмов. Кроме того, именно средний уровень отвечает за диалог с верхним уровнем, предоставляя ему обработанную информацию для дальнейшего анализа и управления.

На вершине структуры АСУ котельных находится верхний уровень, который играет роль интерфейса между человеком и системой. Это может быть графический терминал, встроенный непосредственно в шкаф управления, или же рабочая станция оператора, основанная на персональном компьютере. Тут оператор получает полный доступ к собранной информации, которая в реальном времени отображает состояние системы, полученное от нижнего уровня и обработанное средним уровнем. Верхний уровень дает возможность опе-

ратору не только наблюдать за процессами, но и активно вмешиваться в них, вводя оперативные команды, регулировки и новые установки для оптимизации работы котельной.

Система оснащена контроллером, оборудованным модулями для ввода и вывода как аналоговых, так и дискретных сигналов. В зависимости от конкретных нужд, контроллер может быть организован по принципу централизации или же распределения.

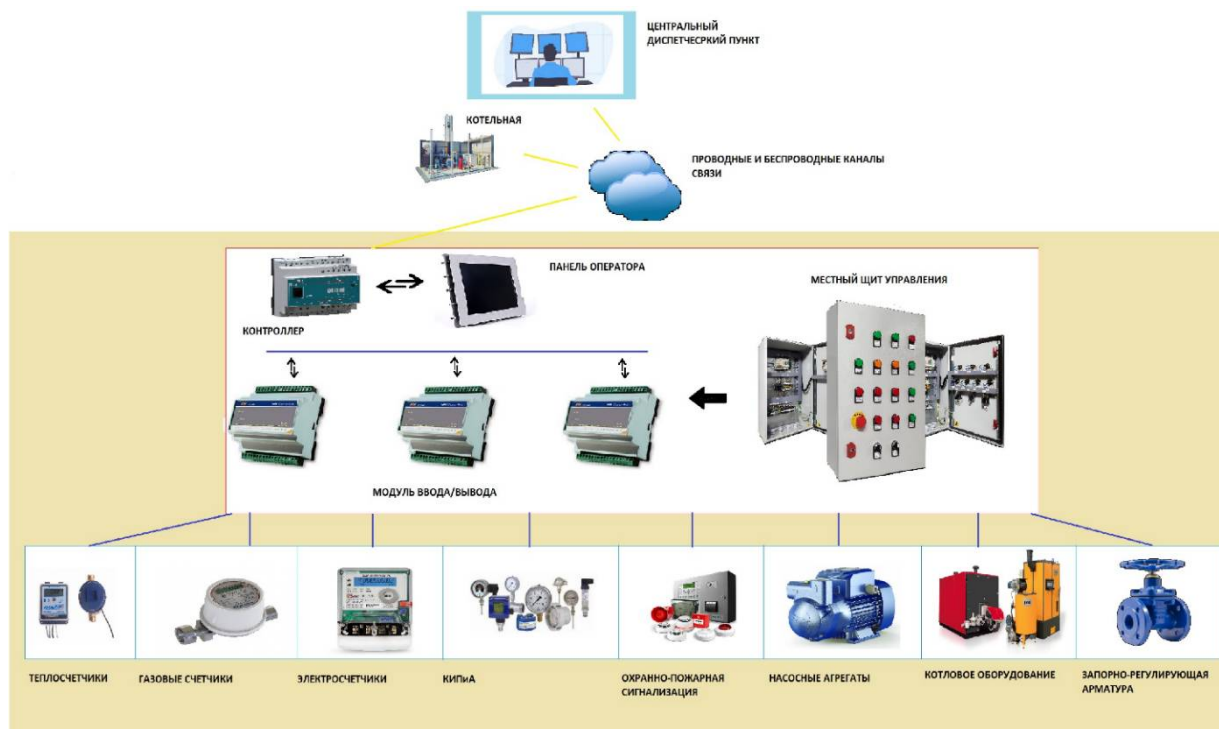


Рис. 2. Структурная схема АСУ ТП котельной

Для меньших по размеру котельных, где количество необходимых измерений ограничено, обычно используется централизованная структура. В такой конфигурации, модули для ввода и вывода данных размещаются в непосредственной близости от процессорного блока, часто внутри одного или нескольких специализированных шкафов.

При использовании распределённой системы модули для обработки данных обычно устанавливаются непосредственно рядом с устройствами, которые они мониторят или управляют, и это может быть основано на территориальном размещении или специфических функциях оборудования. Этот метод часто применяется в больших котельных, где технологические установки и параметры, которые нуждаются в мониторинге и управлении, разбросаны по различным местам.

Независимо от выбранной системы, контроллер выполняет несколько ключевых функций:

- Переводит аналоговые и дискретные сигналы, получаемые от датчиков, в цифровую форму.

- Выполняет заранее определённую обработку данных, собранных с датчиков низшего уровня в системе.

- Исполнительные механизмы регулируются основываясь на установленных технологических процессах или по инструкциям, полученным от диспетчерского персонала более высокого уровня.

- Коммуникация с более высокими уровнями системы происходит через отправку данных, которая может осуществляться по различным протоколам, включая реакцию на события, периодическую отправку, отправку по графику или по специальному запросу, через

проводные или беспроводные сети связи к районным и центральным диспетчерским пунктам.

-Система получает инструкции управления от вышестоящих уровней.

-Индикацию и сигнализацию по основным технологическим параметрам котельной, и управление исполнительными механизмами через пульт оператора. Контроль и управление параметрами котельной могут быть осуществлены через дополнительные, опциональные шкафы управления на местах.

Диспетчеризация

Неотъемлемой частью системы диспетчеризации котельной являются средства автоматизации расположенных в ней устройств, которые управляют оборудованием и не требуют непрерывного присутствия операторов, благодаря программно-логическим контроллерам (ПЛК). Сам контроллер реализует алгоритмы автоматизированного управления процесса и обмена данными с системой диспетчеризации. А также данное устройство способно следить за расходом энергии [3].

Пользователь может задать желаемые параметры работы ПЛК, используя специфическое программное обеспечение для его программирования. В контексте задач, которые на себя берет программируемый логический контроллер, стоит отметить его способность к преобразованию аналоговых сигналов от различных датчиков в цифровую информацию. Эти сигналы могут включать в себя данные о напряжении, силе тока, сопротивлении, частоте и времени импульсов, особенно это актуально в управлении паровыми котельными.

ПЛК также играет ключевую роль в координации автоматизированных систем местного уровня, регулируя обмен данными и предоставляя результаты на экран монитора персонального компьютера.

В случае паровых котельных, важно подчеркнуть, что контроллер связан с разнообразными датчиками и системами автоматического наблюдения, установленными на котлоагрегатах, что критически важно для поддержания безопасности работы горелок. В случае возникновения аварии, ПЛК обеспечивает немедленное отключение подачи топлива к котлоагрегатам, предотвращая возможные негативные последствия.

В большинстве случаев, аварийные ситуации в котельных возникают из-за ряда изменений, таких как превышение максимально допустимой температуры воды, падение атмосферного давления перед горелкой, колебания давления газа или воды, будь то на входе или выходе оборудования. Также к потенциальным опасностям относят внезапное гашение пламени горелки и сбои в работе защитных механизмов. В системах автоматического контроля котельных обычно предусмотрены устройства защиты и оповещения о неисправностях.

Для предотвращения нежелательных инцидентов, например, при отключении электроснабжения, обычно устанавливают автоматические запорные клапаны, которые быстро перекрывают подачу газа.

Этот клапан можно открыть только вручную, находясь внутри самой котельной. Когда происходят определённые инциденты, автоматически срабатывает тревожная система, в результате чего в помещение включаются световые сигналы.

Что касается процесса управления и мониторинга, информация о состоянии работы оборудования и сообщения о возможных ошибках собираются контроллером и отправляются на удалённый пульт управления посредством интернета. Существует также альтернатива, при которой данные могут быть отправлены оператору с использованием смс через модем. Что касается контроля, на экран мобильного или компьютера в случае с парной котельной выводятся режим работы горелки котлов, подмешивающего и сетевых насосов.

Данные о параметрах давления передаются относительно входных и выходных точек циркуляции теплоносителя в системе отопления, включая моменты, когда теплоноситель по-

дается или возвращается, и до и после прохождения через главные насосы. Электросчетчики и специализированные приборы также предоставляют показания, которые доставляются до оператора.

В случае возникновения аварийных ситуаций, контрольная система немедленно оповещает оператора о ряде сигналов тревоги. Это включает в себя увеличение уровня газов до опасных отметок, возгорание, несанкционированный доступ в помещение, отклонения в давлении теплоносителя, сбой в системе подпитки, а также закрытие топливного клапана. Оператор может также быть осведомлен о возможных неполадках с котлом, горелкой, насосами или об отсутствии электропитания в определенных точках.

Библиографический список

1. Гельман Г.А. Автоматизированные системы управления электроснабжением промышленных предприятий. -М.: Энергоатомиздат, 1984.-255 с., 3 экз..
2. Фаликов В.С. Автоматизация тепловых пунктов / В.С. Фаликов, В.П. Витальев Справочное пособие. М.: Энергоатомиздат, 1989. - 256 с.
3. Файерштейн Л.М. Справочник по автоматизации котельных / Л.М. Файерштейн, Л.С. Этинген, Г.Г. Гохбойм. – М.: Энергоатомиздат, 1985. - 296 с..

УДК 004.92, 004.94; ГРНТИ 50.51.02

РАЗРАБОТКА МИНИ-САПР КОНСТРУКТИВНО-ПОДОБНЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАССИВОВ В СИСТЕМЕ T-FLEX CAD 3D

В.Д. Волобуев, О.В. Миловзоров, Н.В. Грибов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, volvov12bliz@list.ru*

Аннотация. В работе рассматривается мини-САПР, требования при её создании, а также актуальность разработки данной системы.

Ключевые слова: мини-САПР, 3D-модель, система автоматизированного проектирования (САПР), параметризация, интерфейс.

DEVELOPMENT OF MINI-CAD STRUCTURAL-LIKE BODY PARTS USING ARRAYS IN T-FLEX CAD 3D SYSTEM

V.D. Volobuev, O.V. Milvovzorov, N.V. Gribov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, volvov12bliz@list.ru*

The summary. The paper examines the mini-CAD, the requirements for its creation, as well as the relevance of the development of this system.

Keywords: mini-CAD system, 3D model, computer-aided design system (CAD), parameterization, interface.

На современном этапе развития производственных сил трудно представить технологическую подготовку производства без программных средств автоматизации. Благодаря широкому внедрению Систем автоматизированного проектирования (САПР), создание различных моделей деталей существенно облегчено, но всё ещё является трудоёмким занятием. Данная проблема может быть решена за счет создания мини-САПР – программного обеспечения, обеспечивающего формирование параметрической 3D-модели некоторого комплекса конструктивно-подобных деталей, отличающихся друг от друга различным сочетанием конструктивных элементов, составляющих деталь, и их геометрических параметров.

Мини-САПР можно определить как специализированную систему, ориентированную на полуавтоматическую разработку 3D-модели детали на основе параметрической 3D-модели комплексной детали [1, 2]. Реализовать такую систему возможно на базе более мощ-

ной и сложной системы CAD 3D, обеспечивающей поддержку параметризации, например T-Flex CAD 3D. Данный программный комплекс содержит весь требуемый функционал для создания мини-САПР, а дополнительные модули среды T-Flex позволят дальше провести деталь по всему маршруту производства, включая разработку маршрутно-операционного технологического процесса (T-Flex Технология) и управляющих программ для станков с ЧПУ (T-Flex ЧПУ). Кроме традиционного диалогового проектирования маршрутно-операционных технологических процессов, комплекс T-Flex позволяет выполнить полуавтоматическое и автоматическое проектирование технологического процесса, опираясь на общие технологические процессы, которые можно рассматривать как один из вариантов проектирования техпроцессов на базе обобщенной структуры [3-5]. Поскольку при этом сохраняются параметрические связи с 3D-моделью, разработка моделей деталей с помощью мини-САПР в комплексе T-Flex позволит также ускорить процессы проектирования технологических процессов изготовления этих деталей [6].

Главным плюсом мини-САПР является возможность быстро создавать несколько моделей однотипных деталей, что при стандартном способе создания займёт несоизмеримо больше времени. Для создания таких моделей требуется:

1. Сформировать комплексную деталь как объединение нескольких более простых, имеющих сходную конструкцию и форму;
2. Продумать процесс формирования 3D-модели комплексной детали, учитывая различные параметрические построения последующих конструктивных элементов относительно уже построенных;
3. Параметрически задать переменные и присвоить им некоторые начальные значения;
4. Выполнить построение 3D-модели, формируя геометрические элементы только с использованием заданных переменных;
5. Выполнить проверку корректности созданной 3D-модели комплексной детали путем изменения численных значений переменных, соответствующих различным вариантам исполнения конкретных деталей на базе комплексной;
6. Выполнить корректировку 3D-модели комплексной детали, если при формировании некоторых исполнений конкретных деталей образуются некорректные построения, приводящие к вырождению 3D-модели.

Принципиально всё вышперечисленное можно выполнить и на базе мощных САПР с поддержкой параметризации. Тогда возникает вопрос: зачем создавать мини-САПР? Ответ кроется в удобстве, а именно – в возможности автоматического получения 3D-модели готовой детали путем простого ввода численных значений ее геометрических параметров.

Ранее рассматривались вопросы разработки мини-САПР для деталей импакта тела вращения [1, 7, 8]. Безусловно, такие детали в силу своих конструктивных особенностей более приспособлены для разработки мини-САПР, однако этот подход вполне может быть использован и при проектировании мини-САПР для корпусных конструктивно-подобных деталей. Рассмотрим особенности формирования мини-САПР для корпусных деталей с множеством однотипных конструктивных элементов. Такими элементами могут быть отверстия и бобышки. Отверстия – наиболее часто встречающийся конструктивный элемент корпусных деталей. Очень часто такие отверстия образуют группы, имеющие один диаметр отверстия и его длину. Расположение отверстий может быть как хаотичным, так и, подчиняющимся строгим геометрическим построениям. Так, для операции сверления группы отверстий очень часто используются циклы G73, G74, G81...G89. В них имеется параметр K – количество повторений и смещения по осям X и Y. Очевидно, что для использования этих циклов необходимо расположение отверстий строго по прямой с равными промежутками между осями отверстий. Также часто отверстия располагаются на одном диаметре, или дуге с равными промежутками.

Бобышки используются для крепления различных деталей к корпусу в процессе сборки узла. Как правило, они могут располагаться в несколько рядов и в зависимости от габаритов узла их количество, количество рядов могут колебаться.

Рассмотрим корпусную деталь, имеющую габаритные размеры $A \times B \times H$, где A – длина, B – ширина, а H – высота, толщина дна которой – C , толщина боковых стенок – S (рис. 1). По периметру детали в боковых стенках отверстия диаметром D . Количество отверстий может изменяться в зависимости от габаритов детали, отверстия расположены равномерно через равные расстояния. На дне детали располагаются бобышки, количество и расположение которых также зависит от габаритов детали. Бобышки располагаются рядами равномерно по всей длине, при этом размер, фиксирующий положение бобышки относительно стенок – E . Для упрощения примем, что отверстия в бобышках и в стенках детали имеют один диаметр D , бобышка имеет квадратную форму с размером стороны L со скруглениям на углах радиусом 2 мм, отстояние бобышек в направлениях X и Y от стенок одинаково (для параметрической системы этот момент не имеет принципиального значения, т.к. отразится лишь на общем количестве переменных).

Поскольку деталь симметрична, ее габаритные горизонтальные и вертикальные прямые строились относительно центра симметрии на расстояниях $\pm B/2$ и $\pm A/2$ соответственно, а прямые контура кармана – $\pm(B/2-S)$ и $\pm(A/2-S)$.

Формирование массива одинаковых конструктивных элементов в параметрических САД системах возможно различными способами. В частности, в системе T-Flex CAD 3D массивы таких простых элементов, как отверстия, могут быть получены путем формирования на одной рабочей плоскости массива окружностей, сохраняемых как один Профиль, с дальнейшим применением операции выталкивания (в других системах, например, Компас, именуемых операцией «выдавливания») и Булева вычитания. На примере нашей детали массив отверстий был сформирован с использованием двух операций Линейный массив – для верхнего и нижнего горизонтальных рядов. Прорисовывались лишь крайние левые отверстия, привязанные к узлам, построенным на пересечении горизонтальных и вертикальных прямых, отстоящих от центра симметрии на расстояниях:

$A/2-S/2$ – для вертикальной прямой;

$\pm (B/2-S/2)$ – для верхней и нижней горизонтальных прямых.

В операции использовалась опция, обеспечивающая равномерное распределение указанного количества отверстий на заданной длине. Длина задавалась параметрически значением $A-S$. Общее количество отверстий определялось параметром K_{OTV} , количество строк – 1.

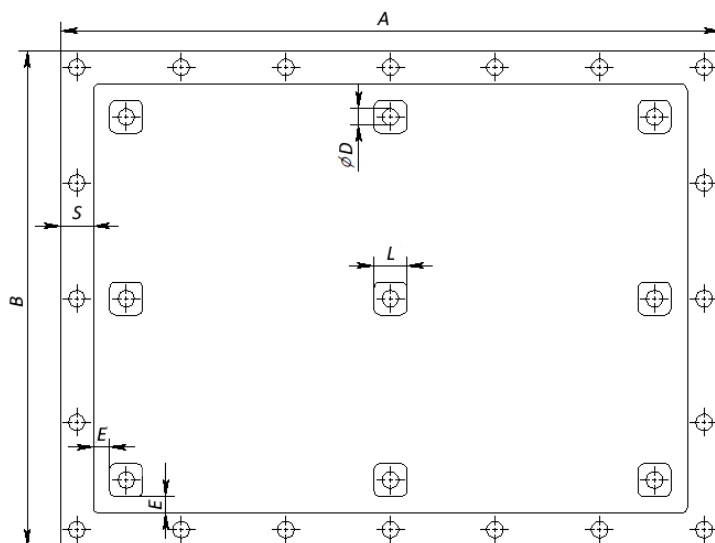


Рис. 1. Чертеж корпусной детали с отверстиями и бобышками

Группы из трех отверстий, расположенные на левой и правой стенках детали были сформированы с помощью дополнительного построения горизонтальных прямых, являющихся осями симметрии для габаритных горизонтальных прямых и горизонтальной прямой, проходящей через точку 0,0. Упомянутые прямые обеспечивали формирование центров отверстий, сами же окружности отверстий были прорисованы на 2D-рабочей плоскости, в качестве которой была выбрана верхняя грань детали. Таким образом был сформирован массив окружностей одного диаметра, которые объединены в один Профиль. Дальнейшие действия заключались лишь в выполнении операции выталкивания на высоту $-H$ и Булева вычитания тела отверстий из тела детали. В результате выполненных построений все отверстия оказались привязаны к основным параметрам детали – A, B, H, S, E, L, D .

Для формирования бобышек более целесообразным является полное формирование ее тела, включая отверстие и резьбу (при ее наличии) с дальнейшим его тиражированием с помощью операции Линейный массив 3D-элементов. В нашем примере для задания количества рядов (по горизонтали) и столбцов (по вертикали) использовались соответствующие переменные. В линейном массиве использовалась опция равномерного распределения на заданной длине по горизонтали и вертикали. Значения соответствующих параметров определялись как

$$l_{HOR} = A - (2 * S + 2 * E + L);$$

$$l_{VER} = B - (2 * S + 2 * E + L),$$

для горизонтали и вертикали соответственно.

Само тело бобышки в единственном экземпляре формировалось в нижнем левом углу модели детали. Сначала были сформированы оси, ее центра симметрии, затем относительно ее центра симметрии построены линии, определяющие габариты бобышки с использованием параметра L и окружность контура отверстия. Скругления в углах были выполнены радиусом 2 мм. Далее была выполнена операция выталкивания на величину $H-C$ и сформирована резьба с опцией «автоматический подбор резьбы по диаметру отверстия».

Для выполнения вышеперечисленных действий там, где обычная САПР потребует открыть несколько различных окон с параметрами и операциями, мини-САПР предлагает удобный интерфейс для ввода параметров и выбора различных операций, наподобие резьбы, в одном окне. Это ускоряет и упрощает создание моделей. Окно параметров представлено на рисунке 2.

Основные параметры		Параметры бобышек и отверстий	
Длина	<input type="text" value="300"/>	Длина стенки бобышки	<input type="text" value="10"/>
Ширина	<input type="text" value="200"/>	Расстояние от стенки до бобышки	<input type="text" value="5"/>
Толщина стенки	<input type="text" value="10"/>	Высота бобышки	<input type="text" value="15"/>
Толщина дна	<input type="text" value="5"/>	Диаметр отверстий	<input type="text" value="5"/>
Высота	<input type="text" value="20"/>	Число отверстий на горизонтальной прямой	<input type="text" value="7"/>
		Число отверстий на вертикальной прямой	<input type="text" value="5"/>
		Число рядов бобышек	<input type="text" value="3"/>
		Число бобышек в ряду	<input type="text" value="3"/>
		Радиус скругления	<input type="text" value="2"/>

Рис. 2. Окно для ввода параметров мини-САПР

На рисунках 3 и 4 наглядно представлено, как с помощью изменения параметров в окне мини-САПР изменяется модель детали. Потратив считанные минуты, можно получить новую деталь, на постройку которой стандартными методами уйдёт в разы больше времени.

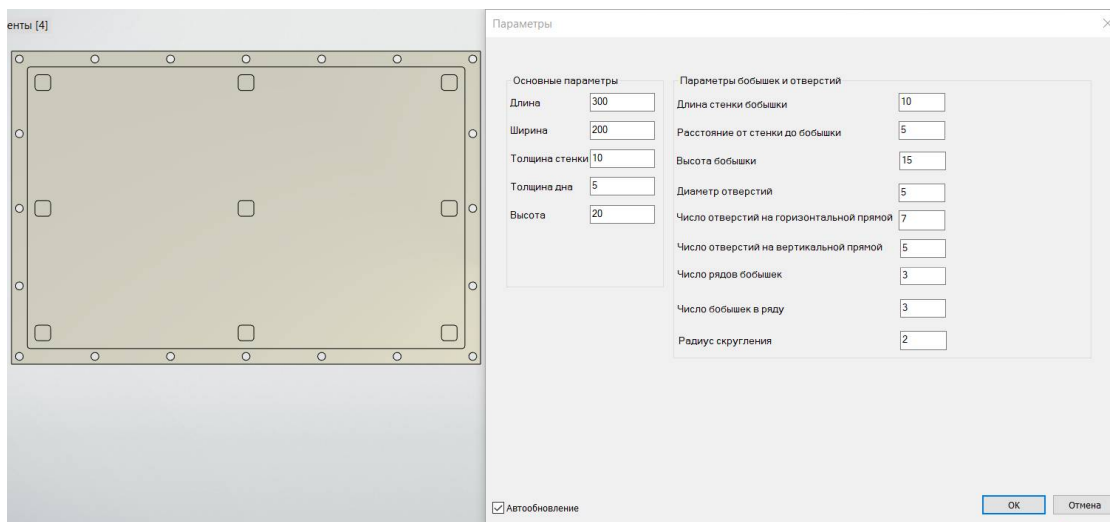


Рис. 3. 3D-модель, созданная мини-САПР

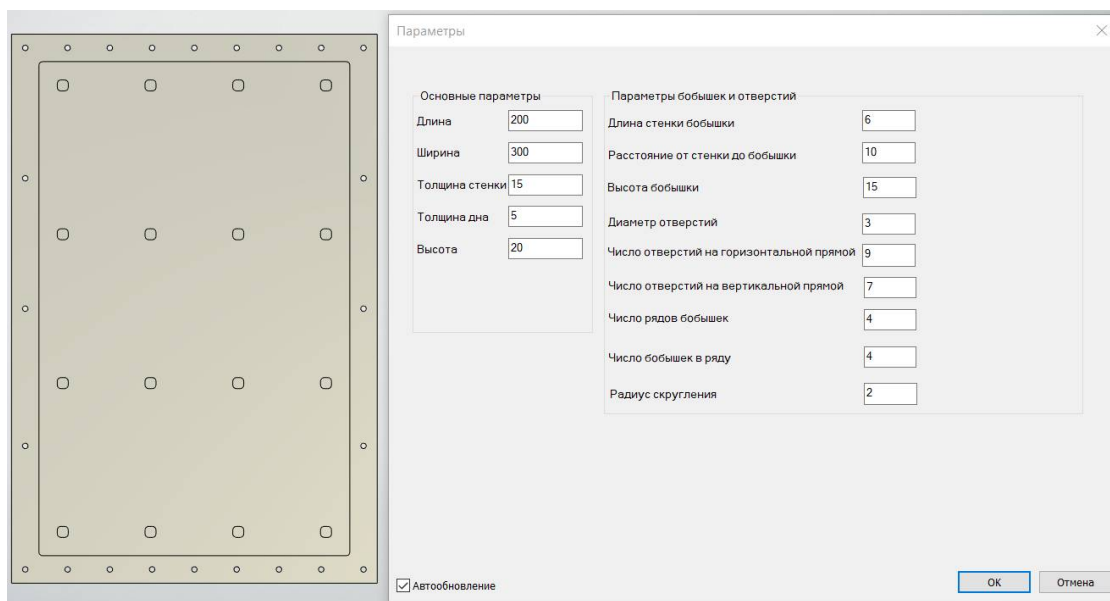


Рис. 4. 3D-модель, полученная после изменения параметров в окне мини-САПР

Но, несмотря на очевидные плюсы, есть и минусы мини-САПР, которые вытекают из её преимуществ:

1. Нужно создать параметрическую 3D-модель, а для этого учесть связь многих переменных между собой;
2. Требуется создать интерфейс для ввода параметров и выбора операций;
3. Создание такой системы занимает ресурсы и время специалистов, которые могут быть направлены на другие задачи предприятия.

Из вышеперечисленного следует, что создание мини-САПР экономически невыгодна предприятиям с единичным и мелкосерийным производством, так как для их нужд не требуется создавать множество однотипных деталей. А вот многосерийным производствам, которые заточены на создание широкой номенклатуры однотипных деталей, данная система по-

зволит сократить временные издержки на создание и изменение 3D-моделей, что в свою очередь сократит простой оборудования и станков.

Библиографический список

1. Миловзоров О.В., Грибов Н.В. Мини-САПР 3-D моделирования многоступенчатых валов на основе системы T-FLEX CAD 3D // GraphiCon 2022: труды 32-й Междунар. конф. по компьютерной графике и машинному зрению (Рязань, 19–22 сент. 2022 г.). – М.: Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2022. – С. 1039-1049.
2. Миловзоров О.В., Грибов Н.В. О создании 3D-мини-САПР на базе унифицированных программных комплексов 3D-моделирования // GraphiCon 2022: труды 32-й Междунар. конф. по компьютерной графике и машинному зрению (Рязань, 19–22 сент. 2022 г.). – М.: Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2022. – С. 1050-1058.
3. Миловзоров О.В. Реализация принципов синтеза технологических процессов из обобщенной структуры на базе системы T-FLEX Технология / Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. № 54-1. С. 133-138.
4. Миловзоров О.В., Тарабрин Д.Ю. Обобщенная структура как средство автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов // Вестник РГРТУ. 2014. № S1. С. 59-66.
5. Миловзоров О.В. Особенности автоматизированного проектирования маршрутно-операционных технологических процессов в системе T-FLEX Технология // Современные технологии в науке и образовании -СТНО-2016: сб. тр. межд. науч.-техн. конф.: в 4 т. Т.6. (Рязань, 28 февраля – 2 марта 2016 г.). Рязань: РГРТУ, 2016.: в 4 томах. Рязанский государственный радиотехнический университет. 2016. С. 178-182.
6. Миловзоров О.В., Грибов Н.В., Шитова С.М. К вопросу создания мини-САПР формирования 3D-моделей машиностроительных деталей для дальнейшей интеграции с САПР- и САМ-системами // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2022 [текст]: сб. тр. V междунар. науч.-техн. форума: в 10 т. Т.6./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2022. – С.
7. Миловзоров О.В., Грибов Н.В. Мини-САПР 3-D моделирования многоступенчатых валов на основе системы T-FLEX CAD 3D // GraphiCon 2022: труды 32-й Междунар. конф. по компьютерной графике и машинному зрению (Рязань, 19–22 сент. 2022 г.). – М.: Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2022. – С. 1039-1049.
8. Миловзоров О.В., Шитова С.М. Принципы построения параметрической 3D-модели тела вращения для группы конструктивно-подобных деталей // Актуальные проблемы современной науки и производства: сб. тр. VI Все рос. науч.-техн. конф. (Рязань, 27-29 декабря 2021 г.). Рязань: РГРТУ, 2021. Рязанский государственный радиотехнический университет. 2021. С. 383-390.

УДК 681.5; ГРНТИ 50.51

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УЧПУ SIEMENS ДЛЯ УПРОЩЕНИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ СТАНДАРТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТАЛИ

Н.В. Грибов, М.Ю. Мичкидяев, О.В. Миловзоров

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, gribov112@yandex.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются современные технологические возможности УЧПУ Siemens в части выполнения стандартных циклов обработки типовых конструктивных элементов корпусных деталей – сверления группы отверстий, расположенных в виде массива правильной геометрической формы, фрезерования плоскостей, пазов различной геометрической формы, карманов, резьбофрезерования. Демонстрируются способы программирования обработки типовых конструктивных элементов с использованием функциональных программных блоков, формируемых на базе стандартизованных команд УЧПУ Siemens.
Ключевые слова: УЧПУ, Siemens, разработка управляющих программ, стандартные циклы, обработка типовых конструктивных элементов.

APPLICATION OF SIEMENS TECHNOLOGY CAPABILITIES TO FACILITATE PROGRAMMING OF STANDARD PART ELEMENTS

Н.В. Грибов, М.Ю. Мичкидяев, О.В. Миловзоров

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, gribov112@yandex.ru

Abstract. The article discusses the modern technological capabilities of Siemens MCC in terms of performing standard processing cycles of typical structural elements of body parts - drilling a group of holes located in the form of an array of regular geometric shape, milling planes, slots of various geometrical shape, pockets, threading. The methods of programming the processing of typical structural elements using functional software blocks formed on the basis of standardized Siemens MCC commands are demonstrated.

Keywords: MCC, Siemens, разработка управляющих программ, стандартные циклы, обработка типовых конструктивных элементов.

За последние годы технологические возможности УЧПУ довольно расширились, в контексте методов написания управляющих программ [1, 2]. В настоящий момент имеются три возможности составления УП для станков:

1. Ручное написание управляющей программы в буквенно-цифровом коде ISO-7bit.
2. Программирование с помощью САМ систем.

3. Применение внутренних (технологических) возможностей системы ЧПУ станка для написания управляющей программы, для стандартного фрагмента обрабатываемой детали.

Первый способ на данный момент практически не применяется, т.к. требует огромных затрат времени создания управляющей программы как технологом, так и оператором.

Второй способ получил доминирующее распространение на предприятиях, особенно для фрезерной обработки.

Однако, разработчики систем ЧПУ на данный момент создали благоприятные условия для написания программ обработки с использованием возможностей «стойки» ЧПУ.

Станки с ЧПУ наиболее эффективны в условиях определенной серийности обработки. Это связано с подготовкой управляющих программ, их отладкой, а также квалификации операторов оборудования.

В производстве довольно часто встречаются корпусные детали, у которых поверхности представляют из себя простые элементы:

- различные группы отверстий;
- карманы;
- резьбовые отверстия;
- **выпуклые** цилиндрические бобышки т.д.

Разные производители систем ЧПУ по разному подходят к решению задач упрощенного программирования. Наиболее развита эта опция у систем ЧПУ HEIDENHAIN, DMG MORI и Siemens SINUMERIK 840D.

Рассмотрим функции упрощенного программирования ЧПУ Siemens SINUMERIK 840D. В этой стойке они называются стандартными циклами для упрощения программирования.

Циклы сверления – это установленные алгоритмы сверления, расточки, нарезания внутренней резьбы. с принятыми операционными названиями и списком параметров.

Наибольшего внимания заслуживают следующие циклы:

1. Сверление нескольких отверстий – MCALL. Когда с помощью одного цикла требуется обработать несколько отверстий одного диаметра. Цикл HOLES1. С помощью этого цикла можно просверлить ряд отверстий, лежащих на одной прямой, или изготовить решетку отверстий.. Способ сверления определяется через заранее модально выбранный цикл сверления.

В управляющей программе цикл записывается отдельным кадром: HOLES1 (SPCA, SPCO, STA1, FDIS, DBH, NUM). В открывшемся рабочем окне необходимо заполнить параметры цикла HOLES1. (рис. 1).

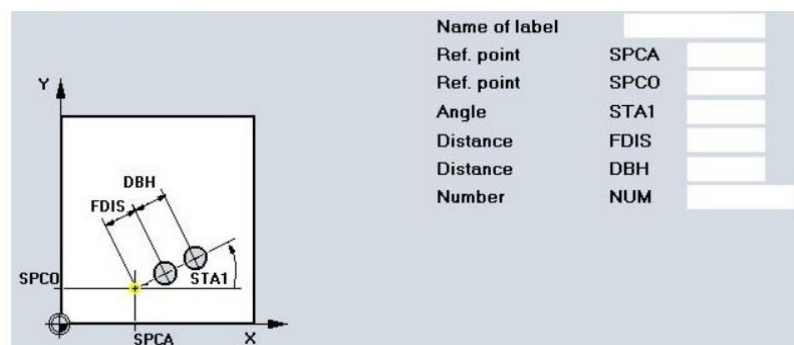


Рис. 1. Цикл сверления HOLES1

Name of label – название цикла.

SPCA – центральная точка по оси X.

SPCO – центральная точка по оси Y.

STA1 – начальный угол относительно оси X.

FDIS – расстояние между центральной точкой и первым отверстием.

DBH – расстояние между отверстиями.

NUM – число отверстий.

Программирование поля отверстий задается циклом 801. Для применения цикла 801 необходимо в цикле HOLES1 нажать в вертикальном ряду кнопку Hole grid (V4). В рабочем окне необходимо заполнить параметры: (SPCA, SPCO, STA1, DIS1, DIS2, NUM1, NUM2) (рис. 23)

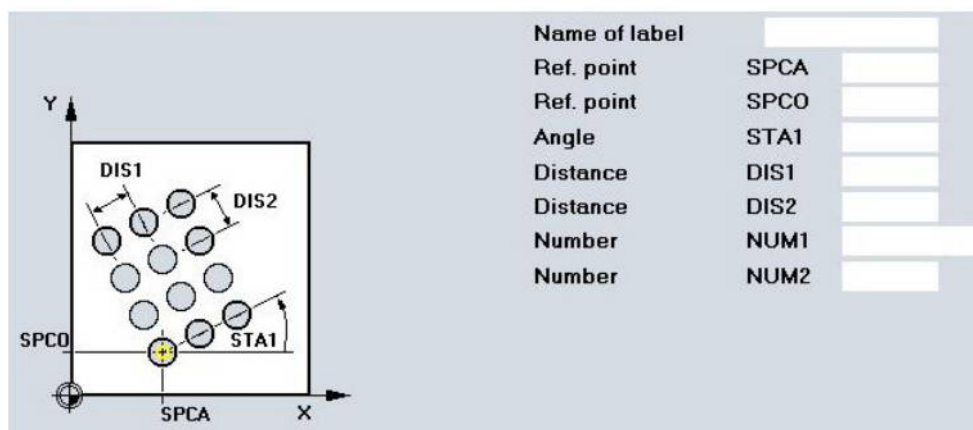


Рис. 2. Цикл 801

Name of label – название цикла.

SPCA – центральная точка по оси X.

SPCO – центральная точка по оси Y.

STA1 – начальный угол относительно оси X.

DIS1 – расстояние между вертикальными рядами (без знака).

DIS2 – расстояние между горизонтальными рядами (без знака).

NUM1 – число вертикальных рядов.

NUM2 – число горизонтальных рядов.

Циклы фрезерования – это установленные процессы для фрезерования плоскостей, контуров, пазов и карманов с установленными названиями и списком параметров. Наиболее востребованы следующие циклы:

- Фрезерование различных плоских поверхностей.
- Фрезерование продольных отверстий, расположенных на одной окружности. В отличие от ширины паза ширина продольного отверстия определяется через диаметр инструмента.
- Фрезерование пазов, которые расположены на одной окружности. Продольная ось пазов центрирована радиально.
- Фрезерование круговых пазов, расположенных на одном радиусе
- Фрезерование внутреннего прямоугольного кармана. Врезная подача всегда начинается в центре выемки и выполняется вертикально из этой точки.
- Фрезерование внутреннего кругового кармана. Врезная подача всегда начинается в центре выемки и выполняется вертикально из этой точки.
- Фрезерование наружного прямоугольного выступа.
- Фрезерование наружного кругового выступа.
- Нарезание наружной или внутренней резьбы фрезой. При резьбофрезеровании траектория основывается на винтовой интерполяции.

Покажем алгоритм работы циклов на рисунках.

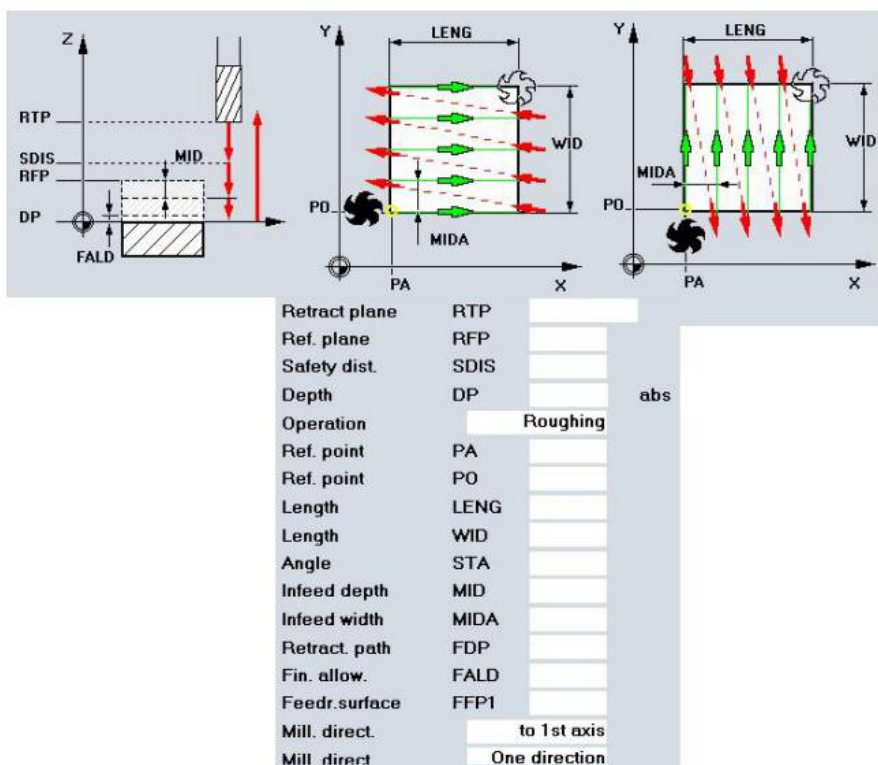


Рис. 3. Цикл фрезерования плоскости.

Параметры цикла имеет следующий вид и записываются одним кадром: CYCLE71 (RTR, RFP, SDIS, DP, PA, PO, LENG, WID, STA, MID, MIDA, FDP, FALD, FFP1, VARI, FDP1).

Циклы фрезерования пазов на окружности – SLOT1 и SLOT2. Назначение Цикл SLOT1 – это комбинированный цикл черновой и чистовой обработки. При помощи данного цикла можно обработать пазы, которые расположены на одной окружности. Продольная ось пазов центрирована радиально. В противоположность продольному пазу (LONGHOLE) нужно задать значение ширины паза.

Цикл фрезерования круговых пазов – SLOT2. Назначение Цикл SLOT2 – это комбинированный цикл черновой и чистовой обработки.

В управляющей программе цикл записывается отдельным кадром: SLOT1 (RTR, RFP, SDIS, DP, NUM, LENG, WID, CPA, CPO, RAD, STA1, INDA, FFD, FFP1, MID, FAL, MIDF, FFP2, SSF).

SLOT2 (RTR, RFP, SDIS, DP, NUM, AFSL, WID, CPA, CPO, RAD, STA1, INDA, FFD, FFP1, MID, FAL, MIDF, FFP2, SSF).

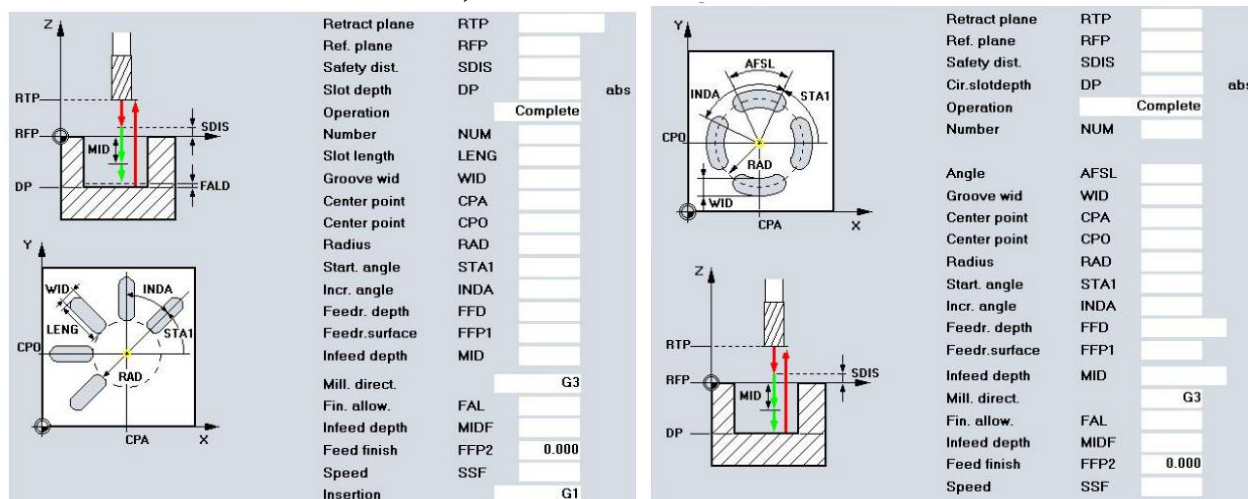


Рис. 4. Циклы фрезерования пазов на окружности – SLOT1 и SLOT2

Цикл фрезерования прямоугольного кармана – POCKET3. Цикл POCKET3 – это комбинированный цикл черновой и чистовой обработки. Для чистовой обработки требуется концевая фреза. Врезная подача всегда начинается в центре выемки и выполняется вертикально из этой точки. Имеет смысл сделать в данной позиции предварительное сверление. Поэтому коррекцию на инструмент следует программировать перед вызовом цикла. В ином случае цикл прерывается тревогой. При программировании цикла POCKET3 следует продумать стратегию обработки прямоугольного кармана по следующим параметрам цикла:

- направление фрезерования можно по выбору определить через G-команды (G2/G3) или по сравнению с направлением вращения шпинделя;
- максимальная ширина врезания в плоскости при выборке металла является программируемой;
- припуск на чистовую обработку задается в соответствии с выемкой;
- используются три различные стратегии захода: перпендикулярно в середине выемки, по винтовой траектории от середины выемки, челночно по средней оси выемки;
- выбирается кратчайший путь захода в плоскости при чистовой обработке;
- принимаются во внимание контур заготовки в плоскости и припуск на черновую обработку по дну;
- возможна оптимальная обработка предварительно сформированной заготовки.

В управляющей программе цикл записывается отдельным кадром: POCKET3 (RTP, RFP, SDIS, DP, LENG, WID, CRAD, PA, PO, STA, MID, FAL, FALD, FFP1, FFD, CDIR, VARI, MIDA, AP1, AP2, AD, RAD1, DP1).

Пример фрагмента управляющей программы для фрезерования кармана.

```
T1 M6
D1
G90 G0 G54 X0 Y0
S1500 M3
```

M8

POCKET3 (5,0,2,-8,30,15,5,60,60,20,2,0.3,0.2,200,80,3,21,5,10,2) G0 Z80 M9

M30

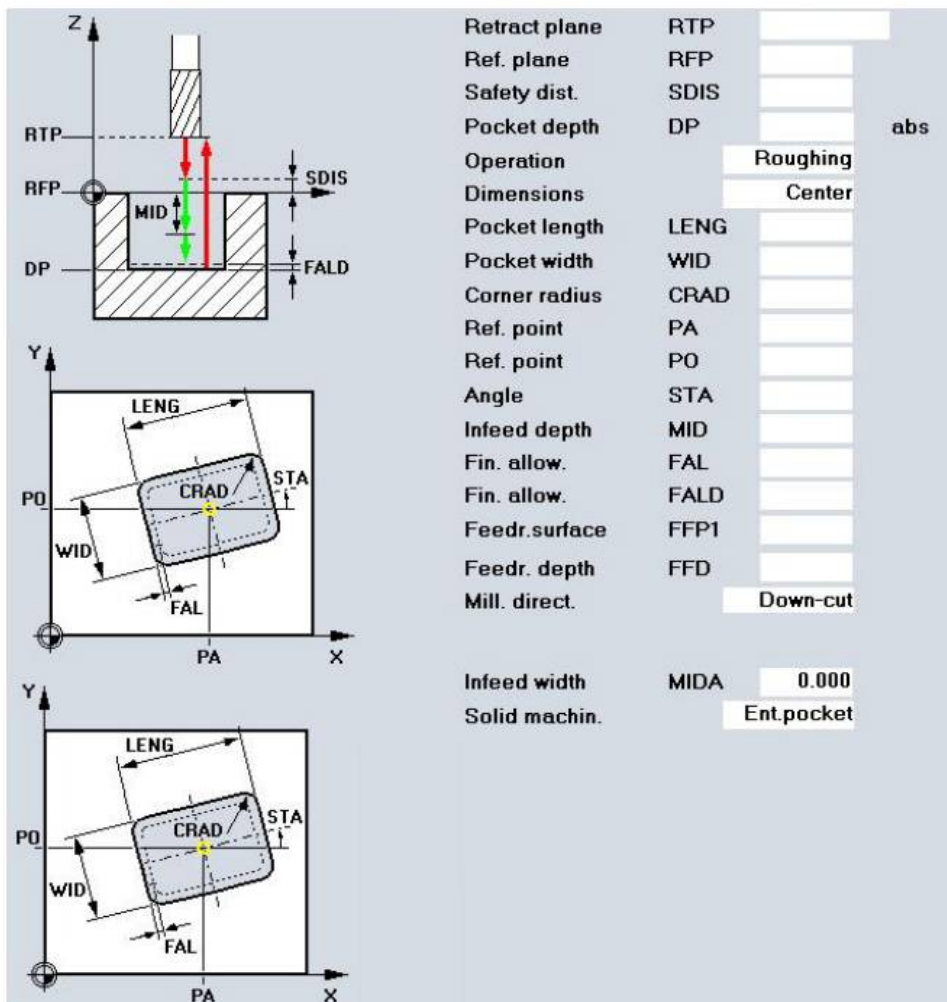


Рис. 5. Циклы фрезерования кармана

Из выше описанного можно сделать заключение, что написать управляющую программу для фрезерования может оператор средней квалификации, используя возможности «стойки» ЧПУ. Это позволяет переложить часть функций штатного программиста на оператора (во время длительной обработки оператор не всегда задействован на обслуживании нескольких станков), тем самым снизив стоимость детали.

Библиографический список

1. SINUMERIK 840D sl/828D Основы Руководство по программированию.
2. Грибов Н.В. Миловзоров О.В. Современное оборудование промышленных предприятий. Издательство: М.: Горячая линия – Телеком. 256 с.; 2023 г.

УДК 528.5-5; ГРНТИ 47.14.17

УНИВЕРСАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ БЫТОВЫМИ ПРИБОРАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОВОЛН

И.В. Фокин, И.Н. Романов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, vanek_1010@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются системы дистанционного управления приборами, установленными в доме с использованием радиоволн на основе пульта дистанционного управления. Приводятся его основные особенности, характеристики, а также требования к программному обеспечению. Рассмотрен конструктивный вид и его работоспособность.

Ключевые слова: пульт дистанционного управления, радиоволны, радиочастоты.

UNIVERSAL REMOTE CONTROL SYSTEMS FOR HOUSEHOLD APPLIANCES USING RADIO WAVES

I.V. Fokin, I.N. Romanov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, vanek_1010@mail.ru*

The summary. The paper considers remote control systems for devices installed in a house using radio waves based on a remote control. Its main features, characteristics, and software requirements are given. The constructive view and its operability are considered.

Keywords: remote control, radio waves, radio frequencies.

В сегодняшней быстро меняющейся жизни довольно сложно поддерживать параллельную работу и домашний уют. Под давлением необходимости вовремя явиться на работу и уложиться в установленные сроки работающие люди часто забывают выключать свою бытовую технику, что может представлять большую опасность и привести к растрате ценных ресурсов, таких как топливо, электричество и т.д.

Большая часть исследований в наши дни сосредоточена на управлении только DVD, телевизором, видеомагнитофоном и другими аудио и видеоустройствами. Хотя это полезно, но использование ограничено.

Здесь мы создаем универсальную систему дистанционного управления, которая будет использовать радиоволны для связи с каждым прибором, установленным в доме. Датчики радиоволн будут установлены в бытовой технике, такой как светильники, вентиляторы, кондиционеры, электрические водонагреватели, микроволновые печи, телевизоры, музыкальные системы, проигрыватели DVD/VCD, оцифрованные шторы и т.д. Его функциональность может быть расширена до систем домашней безопасности, таких как пожарная сигнализация и система контроля дверей. Центральное управление датчиком будет осуществляться с пульта дистанционного управления, который будет способен поддерживать связь и управлять приборами различного типа.

Проектирование и работа

Ниже приведен базовый чертеж пульта дистанционного управления (рис.).

Кнопка включения / выключения питания в правом верхнем углу пульта дистанционного управления позволяет блокировать / разблокировать сенсорный экран для экономии заряда батареи.

Основной каркас представляет собой обычный телевизионный пульт дистанционного управления с гнездом для вставки батареек. Размер сенсорного дисплея составляет примерно 5х3 см. Он предназначен для отображения текущего состояния устройства и предоставляет пользователю возможность включить или выключить его, а также установить соответствующий режим. У нас будет кнопка меню «MENU» для входа в настройки соответствующего устройства. Кнопка меню «MENU» отображает список устройств, управляемых пультом

дистанционного управления. Мы перемещаемся по меню с помощью прилагаемых кнопок. Выбор устройства можно произвести с помощью прилагаемой кнопки «ОК» [1].

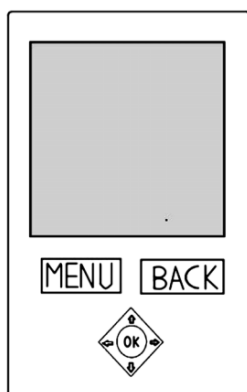


Рис. Вид дистанционного пульта управления

Кнопка "ОК" используется для выбора любой конкретной опции, а также для включения питания прибора. Кнопки перемещения могут использоваться многократно. Они используются для навигации по экрану меню. Они действуют как регулятор температуры в случае кондиционера, вентиляторов, водонагревателя и микроволновых печей. Они обеспечивают регулировку громкости динамиков в телевизионных и музыкальных системах. Кнопки перемещения также управляют яркостью подсветки.

Соединения и сети

Для эффективного управления системой в домах различных размеров используется вспомогательный радиочастотный пульт дистанционного управления. Его основная функция заключается в работе в качестве ретранслятора, при этом он увеличивает мощность сигнала, принимаемого с центрального пульта дистанционного управления, так что потери, возникающие из-за ослабления сигнала, компенсируются. Вспомогательный пульт дистанционного управления устанавливается на соответствующем расстоянии от центрального пульта управления, что позволяет улучшить связь со всеми устройствами в непосредственной близости.

Универсальный пульт дистанционного управления является одноадресным по своей природе. Он доставляет сообщение на один конкретный узел / устройство, подключенное к сети. В нем используется архитектура сети «звезда». Все устройства подключены к центральному пульту дистанционного управления, но независимы друг от друга.

Между устройством и пультом дистанционного управления может использоваться двустороннее подтверждение связи [2].

Технические характеристики оборудования

Пульт дистанционного управления состоит из микросхемы микроконтроллера, такой как PIC16C5X. Мы используем NiMH-аккумуляторы 2ХАА для центрального пульта дистанционного управления, который выдает напряжение 1,5 В и ток 700 мА. Пульт дистанционного управления изготовлен из формованного пластика. Датчик для устройства отправки и приема радиоволн покрыто пластиком, называемым акриловым или поликарбонатным. Для удобства использования в пульте дистанционного управления могут использоваться емкостные сенсорные экраны.

Вспомогательный пульт дистанционного управления работает аналогично Wi-Fi маршрутизатору. Он должен содержать радиочастотные приемопередатчики, такие же, как и в центральном пульте дистанционного управления. Маршрутизатор может быть круглой формы, радиусом около 1,5 дюймов. Круглая форма обеспечивает равномерное распределение хорошего уровня сигнала во всех направлениях.

Требования к программному обеспечению

Наиболее подходящей операционной системой для удаленного компьютера может быть LinuxMCE (Linux Media Center Edition), потому что это бесплатная программная платформа с открытым исходным кодом, которая позволяет компьютеру выступать в качестве ПК для домашнего кинотеатра, для телевизора в гостиной, персонального видеомэгнитофона и системы домашней автоматизации. Это позволяет контролировать все в доме, от освещения и климата до камер наблюдения и домашней безопасности. Пакет LinuxMCE установлен в ОС Kubuntu.

Распределение полосы пропускания

Общепринятая частота гражданской радиосвязи составляет 2,4 ГГц, что обеспечивает необработанную скорость передачи данных в эфире 250 Кбит/с на канал. Пройденное расстояние будет составлять от 10 до 20 м в зависимости от строительных материалов и количества стен, которые необходимо преодолеть.

Чтобы избежать помех между устройствами, им присваивается уникальный идентификатор, чтобы пульт дистанционного управления точно знал, с каким устройством осуществляется связь. По месту жительства каждому устройству присваивается уникальный идентификационный номер из четырех байт. Один байт предназначен для кода страны, один для штата или провинции, один для комбинированного кода города, населенного пункта и почташика и один для идентификатора используемого устройства.

Импровизации

Возможности данной модели пульта дистанционного управления могут быть в дальнейшем использованы для разработки приложения для Android, которое может поддерживаться на телефоне. Это позволит нашему смартфону действовать как универсальный пульт дистанционного управления. Также пульт дистанционного управления можно сделать полностью сенсорным, чтобы придать ему лучший внешний вид [3].

Управление рисками

В случае выхода из строя каких-либо компонентов или датчиков пульт дистанционного управления определяет неисправность как отсутствие ответа от устройства во время двусторонней связи по принципу рукопожатия. В такой ситуации пользователь уведомляется об аварийной ситуации, и пользователь может отправлять соответствующие команды для управления ею, не приближаясь физически к устройству, что позволяет избежать угрозы своей безопасности.

Заключение

Бытовые устройства, используемые дома, призваны сделать жизнь комфортной, и с появлением этого пульта дистанционного управления управление этими устройствами станет намного проще. Это также может помочь нам экономить электроэнергию в наших домах.

Библиографический список

1. Гюнтер Миль Электронное дистанционное управление моделями, 1980.
2. Днищенко В.А. Дистанционное управление моделями, 2007.
3. Вэй Дэн, “Конференция AASRI по спортивной инженерии и информатике”, 2014. С. 8-11.

УДК 621.983; ГРНТИ 55.16.01

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПЕРФОРАЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

А.В. Володина

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, nastyavolodina03@yandex.ru

Аннотация. В работе произведен обзор современных средств и методов автоматизации процессов перфорации металлических изделий такие как: специализированные станки, прессы, системы ЧПУ и роботизированные системы. Основное внимание уделено формированию отверстий штампами определенного вида. При данном способе перфорации используются пресс формы. В более сложных операциях применяются линии штамповки, а также используются роботы и специальное программное обеспечения. Особое внимание уделено преимуществам данных процессов, а также отмечена важность автоматизации для современной промышленности.

Ключевые слова: автоматизация процессов перфорации, роботизированные системы, компьютерно-числовое управление (CNC), линии штамповки, преимущества автоматизации.

METHODS AND TOOLS FOR AUTOMATING PROCESSES OF PERFORATION OF METAL PRODUCTS

A.V. Volodina

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, nastyavolodina03@yandex.ru

The summary. The work provides a review of modern tools and methods for automating the processes of perforation of metal products, such as: specialized machines, presses, CNC systems and robotic systems. The main attention is paid to the formation of holes with stamps of a certain type. With this perforation method, press molds are used. In more complex operations, stamping lines are used, as well as robots and special software. Particular attention is paid to the advantages of these processes, and the importance of automation for modern industry is noted.

Keywords: automation of perforation processes, robotic systems, computer numerical control (CNC), stamping lines, advantages of automation.

Автоматизация процессов перфорации металлических изделий – это важный этап в производстве, который позволяет значительно увеличить эффективность работы, снизить трудозатраты и повысить качество конечного продукта. Современные технологии и методы автоматизации позволяют достичь высокой точности и скорости перфорации, что является ключевым фактором в современной промышленности [1].

Автоматизация процессов перфорации металлических изделий - это использование различных методов и средств для автоматизации и упрощения процесса перфорации, то есть создания отверстий в металлических изделиях.

Одним из наиболее распространенных методов автоматизации перфорации является использование специализированного оборудования. Эти устройства позволяют точно и эффективно создавать отверстия нужного диаметра и глубины в металлических изделиях, сокращая время и затраты на производство и обеспечивая высокую точность и повторяемость результатов.

Кроме того, существуют и другие методы автоматизации процесса перфорации металлических изделий, такие как использование ЧПУ (числового программного управления) и роботизированных систем. Программное управление позволяет задавать и контролировать параметры перфорации, что обеспечивает высокий уровень автоматизации и повышает качество и надежность процесса.

Также распространенным методом автоматизации процессов перфорации является использование компьютерно-числового управления (CNC). CNC-машинные центры с программным обеспечением, специально разработанным для перфорации металлических изде-

лий, позволяют автоматически выполнять сложные операции без участия оператора. Это существенно повышает точность выполнения и снижает вероятность ошибок.

Частным случаем перфорации является штамповка отверстий определенного вида. [1] Одним из методов автоматизации перфорации металлических изделий штампованием является использование специализированного оборудования, такого как автоматические штамповочные прессы или линии штамповки. Автоматические штамповочные прессы обеспечивают автоматическую подачу и перфорацию металлических листов. Они могут быть оборудованы различными пресс-формами, позволяющими выполнять различные операции штамповки, включая перфорацию отверстий в металлическом листе.

В случае более сложных операций штамповки, например, при создании металлических деталей с высокой точностью, может быть использована линия штамповки. Линия штамповки представляет собой комплексное оборудование, состоящее из нескольких прессов, автоматической системы подачи материала и конвейерной ленты для перемещения металлических листов между прессами. Это позволяет автоматизировать процесс штамповки и повысить производительность.

Кроме того, в процессе автоматизации перфорации металлических изделий штампованием могут быть использованы роботы, которые выполняют подачу и вынимание металлических листов из прессы, а также могут контролировать качество перфорации и выполнять другие операции, например, обработку поверхности.

Также важным средством автоматизации перфорации металлических изделий штампованием является использование специализированного программного обеспечения, которое позволяет контролировать и управлять процессом штамповки, а также оптимизировать его для достижения наилучших результатов.

Все эти методы и средства автоматизации позволяют значительно повысить производительность и качество перфорации металлических изделий штампованием, а также снизить затраты и время на производство.

Ключевые факторы автоматизации процессов перфорации металлических изделий

1. Значительно снижают эксплуатационные расходы при крупносерийном изготовлении
2. Демонстрируют высокую производительность продукции любой сложности
3. Отличаются простым и понятным управлением за счет автоматической подачи заготовок и настраиваемых режимов
4. Оснащены надежным сервоприводом, который гарантирует 100%-ную точность позиционирования.

В заключении, автоматизация процессов перфорации металлических изделий является неотъемлемой частью современной промышленности. Методы и средства автоматизации, такие как перфорация штампованием, CNC-машинные центры, специализированные перфорационные станки позволяют достичь высокой точности и производительности при формировании отверстий, что имеет важное значение для конечного продукта. Развитие новых инструментов и технологий также вносит свой вклад в улучшение процесса перфорации металлических изделий, повышая эффективность и сокращая время выполнения задач.

1. Сараев А. В., Зайцев Н. П., Кузнецов П. С. Штамповка отверстий как метод автоматизации перфорации металлических изделий. – Краснодар: КубГУ, 2014.

УДК 004.021; ГРНТИ 28.29

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПОСЕВНЫХ МАШИН

К.В. Немтинов, М.А. Ерусланова, К.А. Ерусланов
*Тамбовский Государственный технический университет,
Российская Федерация, Тамбов, nemtinov.va@yandex.ru*

Аннотация. Рассмотрены вопросы разработки системы поддержки принятия решений при проектировании посевных машин. Представлена структура программы системы и проиллюстрированы результаты ее апробации на примере многофункциональной машины для обработки почвы и проведения посева зерновых культур.

Ключевые слова: информационная поддержка; принятие решений; программный комплекс; многофункциональная машина для обработки почвы и проведения посева зерновых культур.

SUPPORT SYSTEM FOR DESIGN AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN THE DESIGN OF SOWING MACHINES

K.V. Nemtinov, M.A. Eruslanova, K.A. Eruslanov
*Tambov State Technical University,
Russian Federation, Tambov, nemtinov.va@yandex.ru*

The summary. The issues of developing a decision support system for the design of sowing machines are considered. The structure of the system program is presented and the results of its testing are illustrated using the example of a multifunctional machine for tillage and sowing of grain crops.

Keywords: information support; decision-making; software package; multifunctional machine for tillage and sowing of grain crops.

В настоящее время конструирование сложных технологических машин сельскохозяйственного назначения невозможно осуществить без использования информационных технологий [1 - 4].

В связи с этим в данной работе рассмотрены создания информационной системы, реализованной на базе совокупности известных программных сред, и предоставляющей возможность с ее помощью сгенерировать в соответствии с требованиями заказчика структуру посевной машины, произвести все необходимые технологические, прочностные, механические расчеты, построить ее 3D-модель и, в случае необходимости, получить чертежи для ее изготовления [5- 9].

Структура системы, используемой при проектировании посевных машин приведена на рисунке 1. Система состоит из ряда подсистем, реализующих отдельные функции:

- подсистема ввода исходных данных проектирования посевной машины;
- подсистема выбора структурной схемы посевной машины;
- подсистема выбора типовых узлов и деталей;
- подсистема конструкторской разработки оригинальных узлов и деталей;
- подсистема принятия проектного решения и подготовки конструкторской документации (создания цифрового двойника посевной машины);
- подсистема анализа полевых исследований физического прототипа посевной машины;
- подсистема сопровождения банка данных.

В таблице 1 приведен фрагмент базы элементов цифрового двойника посевной машины, которая в настоящее время включает более 300 наименований оригинальных и типовых деталей и узлов, входящих в посевные машины.

При программной реализации системы использованы базовые программные комплексы: Компас, Mathcad, Excel, Clips, Clarion и другие. Передача информации из одной подсистемы в другую осуществляется через подсистему сопровождения банка данных [10 - 12].

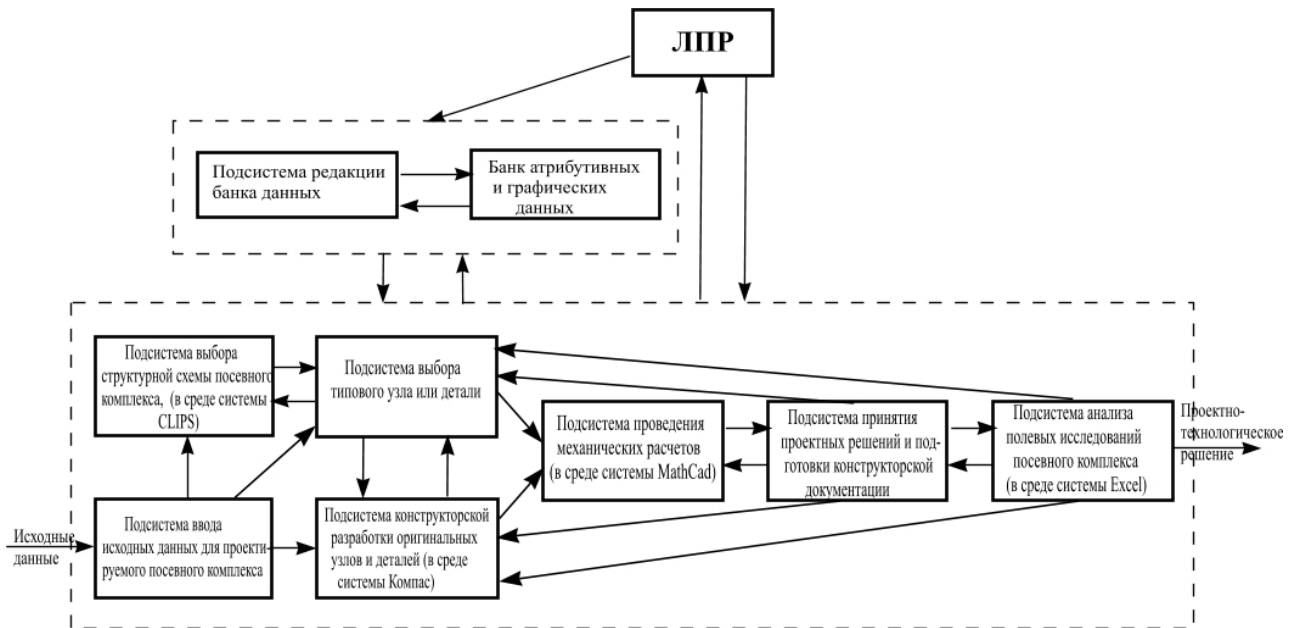


Рис. 1. Схема структуры подсистем при конструировании посевной машины

Таблица 1. Фрагмент базы элементов цифрового двойника посевной машины

Наименование	Вид 3-D модели	Фрагмент чертежа
Головка режущая		
Элемент режуще-го узла		

Апробация системы выполнена при конструкторской разработке посевной машины для одного из сельскохозяйственных предприятий Ростовской области, которому потребовалась посевная машина, реализующую Null-технология обработки почвы (чернозема), для посева зерновых культур (пшеницы), с использованием трактора тягового класса ≤ 1.4 .

На основе разработанных электронных моделей конструкций рабочих органов, узлов и был создан цифровой двойник посевной машины. Ее вид приведен на рисунке 2.

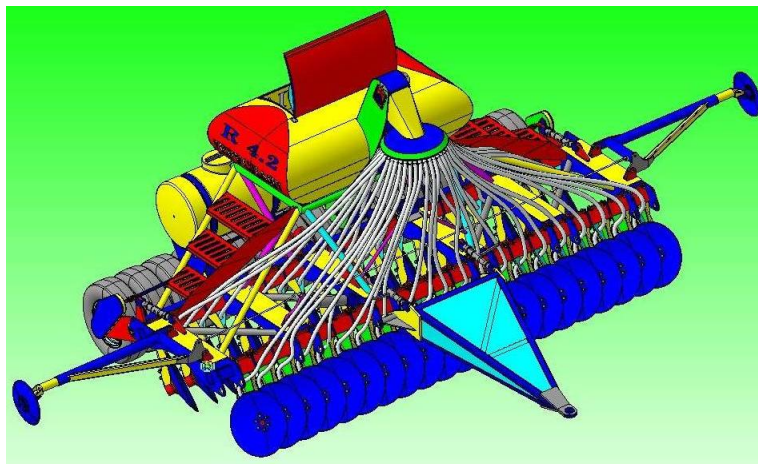


Рис. 2. Визуализация общего вида цифрового двойника посевной машины

По результатам апробации были сделаны следующие выводы, описывающие ее преимущества: обеспечение укладки семян на оптимальную глубину, сокращение сроков посевных работ и расхода энергоресурсов, возможность использования посевной машины в качестве культиватора и дискатора.

Библиографический список

1. Решение проблемы оптимального синтеза технологических процессов сложных систем / Е. Н. Малыгин, В. А. Немтинов, Ж. Е. Зимнухова, Ю. В. Немтинова // Вестн. Тамб. ун-та. Серия: Естественные и технические науки. – 2002. – Т. 7, № 2. – С. 242 – 245.
2. Цифровое машиностроение / М. Н. Краснянский, В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов [и др.]. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", 2023. – 266 с.
3. Analysis of Decision-Making Options in Complex Technical System Design / V. A. Nemtinov, A. N. Zazulya, V. P. Kapustin, Yu. V. Nemtinov // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1278 (1). – P. 012018. doi: 10.1088/1742-6596/1278/1/012018
4. Mokrozub, V. G. An Approach to Smart Information Support of Decision-Making in the Design of Chemical Equipment / V. G. Mokrozub, V. A. Nemtinov // Chemical and Petroleum Engineering. – 2015. – Vol. 51, No. 7. – P. 487 – 492. doi: 10.1007/s10556-015-0074-4
5. Mokrozub, V. G. Procedural Model for Designing Multiproduct Chemical Plants / V. G. Mokrozub, V. A. Nemtinov, A. V. Mokrozub // Chemical and Petroleum Engineering. – 2017. – Vol. 53, No. 5-6. – P. 326 – 331. doi: 10.1007/s10556-017-0342-6
6. Nemtinov, V. Automation of the Early Stages of Plating Lines Design / V. Nemtinov, N. Bolshakov, Yu. Nemtinova // MATEC Web of Conferences : International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017), 11 – 15 September, 2017, Sevastopol. – 2017. – Vol. 129. – P. 01012.
7. Рыбина, Г. В. Применение интеллектуального анализа данных для построения баз знаний интегрированных экспертных систем / Г. В. Рыбина // Авиакосмическое приборостроение. – 2012. – № 11. – С. 36 – 53.
8. Мокрозуб, В. Г. Информационно-логические модели технических объектов и их представление в информационных системах / В. Г. Мокрозуб, В. А. Немтинов, С. Я. Егоров // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2010. – № 3. – С. 68 – 73.
9. Мокрозуб, В. Г. Представление информационной модели технического объекта в системе автоматизированного проектирования / В. Г. Мокрозуб, С. В. Карпушкин, К. С. Корнилов // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2017. – Т. 1. – С. 124-129.
10. Моделирование и оптимизация высокоточных технических объектов / Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин, М. Н. Краснянский [и др.] // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн : Тамбов, 14–16 ноября 2018 года. Том 1, Выпуск 5. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО "Тамбовский государственный технический университет", 2018. – С. 35-41.
11. Информационные технологии при проектировании и управлении техническими системами. Часть 4 : Учебное пособие / В. А. Немтинов, С. В. Карпушкин, В. Г. Мокрозуб [и др.]. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2014. – 160 с. – ISBN 978-5-8265-1241-8.
12. Мокрозуб, В. Г. Системный анализ процессов принятия решений при разработке технологического оборудования / В. Г. Мокрозуб, Е. Н. Малыгин, С. В. Карпушкин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 23, № 3. – С. 364 – 373. doi: 10.17277/vestnik.2017.03.pp.364-373.

УДК 519.242; ГРНТИ 27.35

ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ОБЪЕКТОВ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ НА ФУНКЦИЮ ОТКЛИКА

Е.В. Городничева, Ю.А Сосулин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, gorod.9@ mail.ru, sosulin45@mail.ru*

Аннотация. Рассматривается задача планирования эксперимента для построения линейно параметризованной регрессионной модели второго порядка для объектов с заданными ограничениями на значение выходной величины. Предлагается численная процедура последовательного уточнения границ области допустимых значений факторов. Предлагается численная процедура построения экспериментальных планов с заданным числом наблюдений на базе критерия D-оптимальности. Рассматриваются вопросы определения технологических допусков на значения факторов объекта, в пределах которых соблюдаются поставленные ограничения на функцию отклика.

Ключевые слова: регрессионный анализ, функция отклика, факторное пространство, планирование эксперимента, D-оптимальный экспериментальный план.

EXPERIMENTAL PLANNING TASKS WHEN STUDYING OBJECTS WITH LIMITATIONS ON THE RESPONSE FUNCTION

E.V. Gorodnicheva, U.A. Sosulin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkina,
Russian Federation, Ryazan, gorod.9@ mail.ru, sosulin45@mail.ru*

Annotation. The problem of planning an experiment for constructing a linearly parameterized second-order regression model for objects with specified restrictions on the value of the output quantity is considered. A numerical procedure for sequentially clarifying the boundaries of the region of permissible factor values is proposed. A numerical procedure for constructing experimental plans with a given number of observations based on the D-optimality criterion is proposed. The issues of determining technological tolerances for the values of object factors, within which the set restrictions on the response function are observed, are considered.

Key words: regression analysis, response function, factor space, experimental design, D-optimal experimental design.

Для решения задачи идентификации сложных технических объектов или технологических процессов обычно используются статистические методы, позволяющие получить математическую модель исследуемого объекта по экспериментальным данным. При этом предполагается, что модель объекта представляется регрессионной зависимостью известного вида:

$$y = \sum_{i=1}^k \beta_i f_i(x_1, x_2, \dots, x_m) + \varepsilon, \quad (1)$$

где y – выходная величина объекта;

$x = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ – вектор входных факторов;

$\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)^T$ – вектор неизвестных коэффициентов (параметров) модели;

k – число коэффициентов модели;

f_i – функции-регрессоры постулируемой регрессионной модели;

ε – случайная ошибка, приложенная к выходу объекта.

Наблюдаемые значения выходной величины во всех опытах могут быть представлены следующей матричной формой:

$$y = F\beta + \varepsilon, \quad (2)$$

где $y = (y_1, y_2, \dots, y_N)^T$ – вектор значений зависимой переменной в N опытах;

$\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_N)$ – вектор случайных ошибок с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ^2 ;

F – матрица значений функций – регрессоров, определяемых видом модели, во всех N опытах.

Для получения оценок неизвестных коэффициентов регрессии обычно используется метод наименьших квадратов (МНК). МНК – оценки b вектора неизвестных коэффициентов β могут быть получены в соответствии со следующим выражением [1]:

$$b = (F^T F)^{-1} F^T y. \quad (3)$$

При соблюдении предпосылок классического регрессионного анализа получаемые методом наименьших квадратов оценки являются наилучшими в классе линейных оценок.

Фигурирующая в выражении (3) $(N \times k)$ матрица F называется матрицей регрессоров, или расширенной матрицей плана эксперимента. В каждой строке этой матрицы записаны значения функций f_i из модели (1) при данном j -м наблюдении ($j = 1, 2, \dots, N$). Так как в регрессионном анализе предварительно предполагается определенная структура модели, функции f_{ij} известны и их значения легко вычислить по данным проведенного эксперимента.

Таким образом, свойства получаемых оценок коэффициентов зависят, с одной стороны, от используемого метода оценивания, а с другой стороны, от используемого в процедуре оценивания множества экспериментальных точек, на основании которого формируется матрица F , то есть от плана эксперимента [2].

В зависимости от целей экспериментально-статистического исследования, вида регрессионной модели и имеющихся в распоряжении ресурсов, используются различные критерии оптимальности экспериментальных планов. При этом всегда предполагается функция отклика гладкой, не имеющей скачков и разрывов на области исследования, а пространство планирования представляет собой односвязную область, в условиях нормировки ограниченную значениями факторов -1 и $+1$.

В практике экспериментальных исследований большое место занимают задачи построения оценки \hat{y} функции отклика изучаемого объекта в виде квадратичной регрессионной модели вида:

$$\hat{y}(x) = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m b_{ii} x_i^2. \quad (4)$$

При этом в качестве экспериментальных планов обычно используются трехуровневые полные факторные планы, центральные композиционные планы и D-оптимальные планы.

Заметим, что существует большой класс объектов, выходная величина которых ограничена некоторым предельным значением. Это может быть, например, максимальное или минимальное значение некоторого показателя качества продукта, обеспечиваемое в определенном диапазоне значений факторов, определяющих этот показатель. В этом случае зависимость выходной величины объекта от определяющих ее факторов представляется параболом (4) в многомерном пространстве с усеченной вершиной. Очевидно, что представить такую зависимость в форме квадратичного полинома (4) невозможно. Для описания такой зависимости в виде регрессионной модели требуется существенное увеличение степени аппроксимирующего полинома. Это, в свою очередь, приводит к значительному увеличению требуемого для построения регрессионной модели числа наблюдений во всех указанных выше типах экспериментальных планов, а также к возрастанию сложности их построения с помощью численных процедур.

Заметим также, что в рассматриваемом случае область факторного пространства, в пределах которой выходной показатель объекта имеет постоянное значение Y_{const} , представляет собой эллипсоид в пространстве планирования. Параметры этого эллипсоида могут быть получены из условия:

$$b_0 + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m b_{ii} x_i^2 = y_{const}. \quad (5)$$

Очевидно, что измерения в пределах этой области при наложенных ограничениях на функцию отклика являются неинформативными при построении модели вида (4). Ввиду этого полные факторные планы и композиционные планы не могут использоваться в данном случае для построения регрессионной модели (4), так как они будут требовать постановки опытов внутри области ограничений. Исключение точек, попадающих в область ограничений, нарушает сам принцип формирования планов указанных видов, а, следовательно, и свойства получаемых при этом оценок коэффициентов регрессии. Построение D-оптимальных планов возможно для любой конфигурации пространства планирования, но процедура построения оптимального плана в этом случае существенно усложняется.

Еще одной особенностью постановки задачи регрессионного анализа с ограничениями на значения функции отклика является то, что изначально область ограничений в факторном пространстве неизвестна. Кроме того, вместе с поиском регрессионной модели, работоспособной в области активного эксперимента, представляют интерес именно границы области ограничений, так как они определяют допуски на значения факторов, в пределах которых обеспечивается требуемый уровень выходной величины исследуемого объекта. Понятно, задание области ограничений в виде эллипсоида в факторном пространстве неудобно с практической точки зрения. Такие ограничения обычно задаются в виде минимальных и максимальных значений факторов. Это может быть достигнуто при использовании в качестве области ограничений параллелепипед в пространстве планирования, охватывающий эллипсоид, определяемый выражением (5). При такой постановке задачи возможна следующая процедура планирования эксперимента с последовательным уточнением границ области ограничений.

1. В активной области пространства планирования с границами ± 1 нормированного факторного пространства выбирается произвольным образом начальное приближение области ограничений с границами $\pm\alpha$, $\pm\beta$, $\pm\gamma$,... по каждому фактору. При этом требуется, чтобы для величин, определяющих границы области ограничений, соблюдались условия α , $\pm\beta$, $\pm\gamma < 1$ и на этих границах значение выходной величины Y не достигало заданного значения Y_{const} .

2. В полученном пространстве в соответствии с некоторым критерием оптимальности строится экспериментальный план ϵ^0 .

3. В соответствии с полученным планом ϵ^0 выполняются необходимые измерения и по выражению (3) определяются оценки коэффициентов регрессионной модели (4).

4. На основании выражения (5) определяются новые границы $\pm\alpha_1$, $\pm\beta_1$, $\pm\gamma_1$,... по каждому фактору и, соответственно, следующее приближение пространства планирования, и следующий экспериментальный план ϵ^1 .

5. В соответствии с полученным планом ϵ^1 выполняются необходимые измерения и определяются уточненные оценки коэффициентов регрессионной модели и следующее приближение пространства планирования, и следующий экспериментальный план ϵ^2 .

6. Такие действия продолжаются с последовательностью получаемых экспериментальных планов до достижения некоторого правила останова. В качестве такого правила мо-

жет быть принят некоторый заданный уровень уточнения границ области ограничений на двух последовательных итерациях процедуры.

В качестве экспериментального плана при реализации данной последовательной процедуры, при условии задания области ограничений в виде параллелепипеда, может быть использован полный факторный эксперимент с использованием двух пространств планирования: пространства активного эксперимента и пространства, представляющего область ограничений. В качестве плана эксперимента берутся все возможные комбинации значений факторов, варьируемых на трех уровнях, для каждого из указанных пространств. Понятно, что из полученной совокупности экспериментальных точек должны быть исключены все точки, попадающие внутрь области ограничений.

Очевидно, что такой метод построения экспериментального плана для поставленной задачи с ограничениями, значительно усугубляет проблему избыточности степеней свободы, характерную для полного факторного планирования. В данной ситуации переход к дробным факторным экспериментам возможен на основе анализа получаемой при таком способе планирования матрицы плана эксперимента.

Отбор выборки заданного объема из полученной в результате реализации предложенной последовательной процедуры совокупности экспериментальных точек может быть выполнен с использованием критерия D-оптимальности.

Критерий D-оптимальности требует такого выбора плана ε , содержащего N опытов, при котором определитель дисперсионной матрицы $C = (F^T F)^{-1}$ имеет минимальную величину. Это означает, что D-оптимальный план минимизирует обобщенную дисперсию оценок неизвестных коэффициентов регрессионной модели. Заметим, что требование минимальной величины определителя дисперсионной матрицы C эквивалентно требованию максимальной величины определителя информационной матрицы $M = (F^T F)$.

Для построения точного плана, близкого к D-оптимальному и содержащему только точки спектра, полученного при реализации последовательного планирования эксперимента при наличии ограничений, может быть предложена следующая процедура.

1. Задается произвольная выборка объема N из спектра плана ε , полученного при реализации последовательной процедуры, т.е. формируется начальный N – точечный план ε_N^0 с информационной матрицей $M(\varepsilon_N^0)$. При этом множество точек спектра непрерывного плана оказывается разбитым на два подмножества: $x_i, i=1,2,\dots,N$, составившие начальный план ε_N^0 и $x_j, j=N+1,N+2,\dots,n$, не вошедшие в него.

2. Каждая точка $x_i, i=1,2,\dots,N$ начального плана ε_N^0 последовательно заменяется на одну из оставшихся $n-N$ точек $x_j, j=N+1,N+2,\dots,n$ спектра плана ε . Для этого из начального плана ε_N^0 отбрасывается одна из точек $x_i, i=1,2,\dots,N$ и формируется план ε_{N-1}^0 с информационной матрицей

$$M(\varepsilon^0(N-1)) = M(\varepsilon^0(N)) - f(x_i)f^T(x_i).$$

Далее в полученный план ε_{N-1}^0 поочередно добавляются точки из подмножества $x_j, j=N+1,N+2,\dots,n$. После каждой такой замены вычисляется определитель информационной матрицы

$$M(\varepsilon^0(N)) = M(\varepsilon^0(N-1)) + f(x_j)f^T(x_j).$$

3. Точка x_j^* , дающая максимальное значение определителя

$$\max_{x_j \in Q_x} |M(\varepsilon^0(N-1)) + f(x_j)f^T(x_j)|,$$

окончательно включается в план ε_{N-1}^0 и получается план ε_N^1 с информационной матрицей

$$M(\varepsilon^1(N)) = M(\varepsilon^0(N-1)) + f(x_j^*)f^T(x_j^*).$$

4. Действия пунктов 2 и 3 повторяются с полученным на предыдущих этапах планом ε_N до тех пор, пока происходит увеличение определителя информационной матрицы.

5. Останов по предлагаемой процедуре построения точных D-оптимальных планов выполняется после полного перебора всех точек исходного плана.

6. Данные операции повторяются с различными начальными выборками из спектра плана ε , и выбирается план, в наибольшей степени удовлетворяющий критерию D – оптимальности.

В результате многократного проведения предлагаемой процедуры построения точных D-оптимальных планов будет получена последовательность планов, удовлетворяющих неравенствам

$$|M(\varepsilon^0(N))| \leq |M(\varepsilon^1(N))| \leq \dots \leq |M(\varepsilon^s(N))|. \quad (6)$$

Сходимость данной последовательности вытекает из существования верхней границы, равной определителю информационной матрицы точного оптимального плана.

Таким образом, решение задачи построения регрессионной модели объекта с ограничениями на значение выходной величины приводит к циклическому исполнению этапов планирования эксперимента, выполнения требуемых в соответствии с полученным планом наблюдений, обработки результатов наблюдений методом наименьших квадратов и построения регрессионной модели и определения уточненных границ области ограничений на значения входных факторов объекта. Получаемая регрессионная модель работоспособна на области планирования эксперимента и обеспечивает в пределах этой области эффективное управление объектом. Область ограничений, определяемая в виде параллелепипеда, описанного вокруг эллипсоида фиксированных значений функции отклика, не может использоваться в виде технологических допусков на значения входных факторов объекта. Очевидно, что в углах построенного параллелепипеда поставленное ограничение на значение функции отклика будет нарушаться. Для определения поля технологических допусков необходимо определить границы параллелепипеда, вписанного в эллипсоид (5), ограничивающий область постоянных значений функции отклика. Это может быть достигнуто при фиксации значений всех факторов кроме одного на некоторых уровнях, заданных центром эксперимента, и определения диапазона значений оставшегося свободным фактора, в пределах которого соблюдается поставленное условие. Поочередное выполнение таких действий обеспечивает решение поставленной задачи.

Библиографический список

1. Айвазян С.А. Основы эконометрики. – М.:ЮНИТИ-ДАНА, 2001. — 432 с.
2. Введение в теорию планирования эксперимента: учеб. пособие / Н. И. Сидняев, Н. Т. Вилисова. - М. : Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2011. - 463 с.

УДК 621.7:621.9; ГРНТИ 55.13.17

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОРПУСНЫХ ЗАГОТОВОК

Я.А. Петина, В.А. Лашин

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, petina.ian@yandex.ru, petina.ian@yandex.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается механическая обработка корпусных заготовок. Приведены самые распространенные, а так же инновационные методы обработки. Каждому методу дана краткая характеристика. Приведены преимущества и недостатки современных методов механической обработки.

Ключевые слова: механическая обработка, ЧПУ, ковка, штамповка, прессование, точение, шлифование, зенкерование, сверление, фрезерование, резьба, ультразвуковая обработка, электроэрозионная обработка, гидроабразивная обработка.

MODERN METHODS OF MACHINING OF HULL BLANKS

Y.A. Petina, V.A. Lashin

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, petina.ian@yandex.ru, petina.ian@yandex.ru

The summary. This paper deals with machining of hull workpieces. The most common as well as innovative methods of machining are given. Each method is briefly characterized. Advantages and disadvantages of modern methods of machining are given.

Keywords: machining, CNC, forging, stamping, pressing, turning, grinding, countersinking, drilling, milling, threading, ultrasonic machining, electric discharge machining, hydro-abrasive machining.

Механическая обработка – это процесс, при котором материалы подвергаются физическому воздействию для изменения их формы, размера или поверхности, и она широко применяется в различных отраслях промышленности. В данной статье рассмотрим методы механической обработки корпусных заготовок [1, 2].

Корпусная заготовка - это деталь, используемая в качестве основы для дальнейшей обработки или сборки изделия. Их изготавливают литыми или сварными. Конструкции литых заготовок (чугунных или стальных) - корпусных деталей должны отвечать требованиям машинной формовки, т. е. толщина стенок в разных сечениях не должна иметь резких переходов. Конструкции корпусных деталей из цветных сплавов должны обеспечивать возможность их литья в постоянные металлические формы.

Механическая обработка корпусных заготовок сводится главным образом к обработке плоскостей и отверстий, поэтому технологические требования, обуславливающие наименьшую трудоемкость обработки, определяют следующими основными условиями:

- форма корпусной детали должна быть возможно ближе к правильной геометрической форме, например в поперечном сечении предпочтительнее форма четырехугольника;
- обработка плоскости и торцов отверстий по возможности должна выполняться на проход, для чего плоскости и торцы не должны иметь выступов;
- корпусная деталь не должна иметь поверхностей, не перпендикулярных к осям отверстий как на входе, так и на выходе сверления;
- точно растачиваемые отверстия не должны иметь внутренних выступов, препятствующих растачиванию на проход;
- диаметры обрабатываемых отверстий внутри корпусной детали не должны превышать диаметров соосных им отверстий в наружных стенках детали;
- в корпусных деталях следует избегать многообразия размеров отверстий и резьб.

Механическая обработка корпусных заготовок - это процесс, с помощью которого детали можно придать нужную форму и размер. В технологическом процессе могут использоваться разные виды механической обработки. Они применяются как вместе, так и по отдель-

ности, в зависимости от поставленной технологической задачи, а также типа используемых заготовок и их свойств. Рассмотрим самые распространенные методы механической обработки, часто используемые при изготовлении корпусных деталей.

Ковка

Процесс ковки представляет собой процесс обработки заготовки, в ходе которого металл подвергается нагреву и последующей механической обработке для придания ему необходимой формы и размеров. Этот процесс может включать в себя несколько этапов, таких как нагрев металла до определенной температуры, удаление пустот из материала, придание заготовке необходимой формы и окончательная обработка. После ковки изделия могут также подвергаться дополнительным операциям, таким как сварка или резка, в зависимости от их конструкции.

Штамповка

Еще один метод механической обработки заготовок - это штамповка, которая также включает в себя пластическую деформацию металла. Штамповка обычно используется для работы с черными металлами и их сплавами, и она подходит для тех случаев, когда необходимо сохранить целостность заготовки. Для штамповки используются специальные агрегаты, которые оказывают большое давление на заготовку.

Существуют два основных вида штамповки: листовая и объемная. Листовая штамповка используется для получения плоских деталей определенной формы, а объемная - для создания объемных конструкций. В обоих случаях используются специальные агрегаты с двумя основными компонентами - матрицей и пуансоном, один из которых остается неподвижным, а другой перемещается. Между ними помещается заготовка, и после их соединения заготовка принимает нужную форму, а лишние части удаляются.

Формообразующая и отрезная листовая штамповка - это два разных типа листовой штамповки. Формообразующая штамповка позволяет получать детали различной формы, а отрезная - отрезать нужные части заготовки. Оба типа штамповки требуют тщательного расчета размеров заготовки и правильного выбора оборудования.

Прессование

Метод прессования используется для обработки хрупких металлических сплавов, таких как чугун и алюминий. Заготовки могут нагреваться или не нагреваться перед обработкой. В процессе прессования заготовка помещается в специальную форму с отверстиями, и под давлением пресса металл выдавливается через эти отверстия, принимая нужную форму. Формы изготавливаются из жаропрочной стали. Выбор метода прессования зависит от материала, который обрабатывается. Для обработки алюминия, меди и олова используется холодное прессование без нагрева, а для обработки чугуна и сплавов, содержащих никель или титан, используется горячее прессование с нагревом заготовок.

Точение

Это метод токарной обработки металлических деталей, при котором заготовка закрепляется на шпинделе и обрабатывается на токарном станке. Точение используется для обработки цилиндрических и конических заготовок и включает в себя снятие определенного слоя материала с поверхности заготовки. Заготовка вращается вокруг своей оси, а резец токарного станка обрабатывает ее, перемещаясь в продольном и поперечном направлениях.

Современные токарные станки часто имеют числовое программное управление (ЧПУ), которое позволяет автоматически управлять процессом точения. Параметры обработки вводятся в компьютерную программу, и станок автоматически выполняет все необходимые операции.

Существует два основных типа точения: чистовое и черновое. Чистовая обработка дает готовую деталь, которую можно использовать в готовом изделии. Черновая обработка используется для подготовки детали к другим методам обработки.

Шлифование –

Это метод обработки металлических деталей, который может выполняться вручную или на автоматическом оборудовании. Цель шлифования - получить нужную шероховатость или гладкость поверхности детали. Шлифование обычно проводится на заключительном этапе обработки и позволяет довести качество детали до требуемого уровня. Во время шлифования тонкий слой металла снимается с поверхности детали, толщина которого может составлять всего несколько микрон. Основным инструментом, используемым при шлифовке, является шлифовальный круг с различными абразивными зёрнами. Зернистость круга выбирается в зависимости от требуемых параметров готовой детали. В процессе шлифовки деталь перемещается относительно вращающегося шлифовального круга, и для обработки различных материалов используются круги с разными типами абразивных зёрен. После шлифовки может проводиться полировка детали для придания ей блеска.

Зенкерование

Это процесс механической обработки отверстий в металлических деталях, в результате которого отверстия доводятся до нужных размеров и формы. Для зенкерования используются зенкеры - специальные инструменты, которые снимают фаску с отверстия. Зенкерование позволяет получить цилиндрические или конические углубления в отверстиях, сформировать полости с заданной геометрией, изготовить каналы нужной длины и формы с фаской и создать углубления в определенных местах конструкции. Зенкерование отличается от зенкования тем, что зенкерование воздействует на весь канал, а зенкование - только на его начало.

Сверление

Для выполнения отверстий в металлических заготовках используются сверлильные станки. Они позволяют создавать как сквозные, так и глухие отверстия различных форм, размеров и толщины. Эти отверстия могут впоследствии использоваться для нарезания резьбы.

Процесс сверления состоит из следующих этапов:

- заготовка закрепляется в тисках или на станке;
- выбирается сверло, соответствующее типу отверстия и его диаметру;
- сверлится отверстие с использованием сверлильного станка.

Во время сверления сверло перемещается относительно заготовки в двух направлениях: вокруг ее оси и внутрь. Важно правильно выбрать сверло, чтобы оно соответствовало обрабатываемому материалу и не сломалось.

Фрезерование

Это высокопроизводительный метод обработки заготовок, осуществляемый на фрезерных станках. Современные фрезерные станки часто оснащены числовым программным управлением (ЧПУ), что позволяет задавать настройки обработки с помощью компьютерной программы, уменьшая количество ошибок и улучшая точность обработки. В процессе фрезерования фреза вращается с определенной скоростью, а заготовка остается неподвижной и подается к фрезе. В зависимости от типа станка и требований к обработке, заготовка может быть установлена на станке в горизонтальной, вертикальной или наклонной плоскости. Цель фрезерования - создание на поверхности металла углублений различной формы и размера в заданных местах.

Существуют различные виды фрезерования, включая фасонное, торцевое, периферийное и концевое фрезерование. В зависимости от степени обработки, фрезерование может быть черновой или чистовой обработкой.

Нарезка резьбы

Это еще один метод механической обработки металлов. Она может выполняться с помощью токарного резца на универсальном токарном станке. Во время нарезки резьбы деталь и резец вращаются, и резьба получается путем удаления слоя металла. Этот метод позволяет нарезать внутреннюю и внешнюю резьбу на деталях различного диаметра.

Также для нарезки резьбы можно использовать плашку и метчик. Плашка используется для нарезания наружной резьбы и имеет круглую форму с внутренней резьбой. Метчик используется для нарезания внутренней резьбы и вставляется в отверстие, где нужно нарезать резьбу.

Кроме того, нарезка резьбы может выполняться методом накатывания с использованием специальных станков или приспособлений для токарного оборудования.

Современные методы механообработки

Помимо традиционных технологий, в промышленности используются и инновационные способы обработки корпусных заготовок механическим способом.

Ультразвуковая обработка - это инновационный метод механической обработки металла, при котором разрушение верхнего слоя заготовки происходит под воздействием ультразвуковых волн. Абразивные частицы, находящиеся в ультразвуковой волне, начинают двигаться и воздействуют на заготовку. Абразив является режущим инструментом и обычно изготавливается из электрокорунда или других аналогичных материалов. Этот метод особенно подходит для обработки контурных частей металлических изделий и глухих отверстий различной формы. В результате получается высококачественная поверхность.

Ультразвуковая обработка может использоваться для различных целей, включая резку, сверление, фрезерование, шлифование и полирование. Этот метод также может быть использован для удаления заусенцев, очистки поверхности от загрязнений и подготовки детали к дальнейшей обработке.

Одним из преимуществ ультразвуковой обработки является возможность обработки деталей сложной формы и малых размеров. Кроме того, этот метод позволяет обрабатывать различные типы металлов, включая нержавеющую сталь, алюминий, медь и другие.

Однако, ультразвуковая обработка также имеет некоторые недостатки. Во-первых, этот метод может быть более дорогим, чем традиционные методы обработки. Во-вторых, ультразвуковая обработка может привести к нагреву металла, что может вызвать изменение его свойств. В-третьих, ультразвуковая обработка требует специального оборудования и навыков, что может ограничить ее использование в некоторых случаях.

В целом, ультразвуковая обработка является эффективным методом изготовления деталей с высокой точностью и качеством поверхности. Однако, перед выбором этого метода обработки необходимо учитывать его преимущества и недостатки, а также требования к детали и процессу обработки.

Электроэрозионная обработка - еще один современный метод механической обработки заготовок, при котором для разрушения поверхности металла используется мощный электрический разряд. В зоне разряда происходит резкое повышение температуры, что приводит к разрушению поверхности металла.

Электроэрозионная обработка основана на явлении электрической эрозии, которое заключается в разрушении материала под действием электрических разрядов между электродами, один из которых является обрабатываемой деталью, а другой - инструментом. В ре-

зультате электрических разрядов происходит удаление материала с поверхности детали, что позволяет получить изделия с высокой точностью размеров и качеством поверхности.

Преимущества электроэрозионной обработки включают возможность обработки деталей из труднообрабатываемых материалов, высокую точность обработки, возможность обработки деталей сложной формы, а также возможность получения деталей с минимальными припусками на обработку.

Недостатки электроэрозионной обработки включают высокую стоимость оборудования и инструмента, необходимость специальных навыков и опыта работы с оборудованием, а также высокие требования к качеству и точности изготовления инструмента и деталей.

В целом, электроэрозионная обработка является эффективным методом обработки заготовок, который находит широкое применение в различных отраслях промышленности. Однако, для успешного использования этого метода необходимо учитывать его особенности и требования к оборудованию, инструменту и квалификации персонала.

Гидроабразивная обработка - это метод, при котором абразивные частицы смешиваются с водой под высоким давлением и воздействуют на металлическую поверхность. Этот метод обеспечивает высокую чистоту и матовость поверхности и занимает мало времени. Состав смеси может включать различные абразивные материалы и добавки для улучшения качества обработки.

Гидроабразивная резка металла может использоваться для резки различных материалов, включая сталь, нержавеющей сталь, титан, алюминиевые сплавы и другие. Этот метод резки позволяет получать детали различной формы и размеров, а также выполнять сложные контуры и внутренние отверстия.

Основными преимуществами гидроабразивной резки металла являются высокая точность и качество резки, возможность обработки различных материалов, низкий уровень шума и отсутствие вредных выбросов. Кроме того, гидроабразивная резка не требует специальной подготовки поверхности металла и не вызывает термических напряжений в материале.

К недостаткам гидроабразивной резки можно отнести высокую стоимость оборудования, необходимость специального обучения персонала и ограничения по толщине обрабатываемого материала. Однако, в некоторых случаях гидроабразивная резка может быть более выгодной, чем другие методы резки металла, благодаря своим преимуществам.

Таким образом, механическая обработка корпусных изделий не предполагает изменения свойств исходного материала. Она предназначена только для смены формы и размера деталей в соответствии с заданными условиями. К основным преимуществам таких технологических операций можно отнести: высокую эффективность, скорость выполнения как простых, так и сложных технологических операций, получение максимально качественных изделий с точной геометрией, возможность обрабатывать детали сложной конфигурации.

Библиографический список

1. Технология конструкционных материалов: Учебник для машиностроительных специальностей ВУЗов / А.М. Дольский, И.А. Арутюнова, Т.М. Барсукова и др.; Под ред. А.М. Дольского. – М.: Машиностроение, 2005 г.
2. Основы технологии важнейших отраслей промышленности: В 2 ч. Ч.1: Учеб. пособие для вузов / И.В. Ченцов, И.А.

УДК 621.74 ГРНТИ 55.15.01

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПАССИВНОГО КОРРЕКТОРА ДУГИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Е.М. Кузьмина, В.А. Лашин

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, katushka_1959@mail.ru*

Аннотация. В работе проверяется возможность реализации корректора дуги в электросталеплавильных печах постоянного тока. Методом математического моделирования воспроизведён приём симметрирования электромагнитного режима путём достижения равенства равнодействующих сил, определяющих траекторию горения дуги. Приводится расчёт требуемого коэффициента коррекции, необходимого для поддержания необходимого расположения дуги.

Ключевые слова: дуга постоянного тока, отклонение, корректор дуги, электродуговая печь, футеровка, траектория горения.

SIMULATION OF THE OPERATION OF A PASSIVE DC ARC CORRECTOR

E.M. Kuzmina, V.A. Lashin

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, katushka_1959@mail.ru*

Annotation. The paper checks the possibility of implementing an arc corrector in electric steelmaking furnaces of direct current. The method of mathematical modeling reproduces the method of symmetrization of the electromagnetic regime by achieving equality of the resultant forces determining the trajectory of arc gorenje. The calculation of the required correction factor required to maintain the required arc location is given.

Keywords: DC arc, deflection, arc corrector, electric arc furnace, lining, gorenje trajectory.

Серьезным недостатком электродуговых сталеплавильных печей постоянного тока (ДППТ) является отклонение дуги от геометрического центра печи и разрушение теплозащиты на боковой стенке из-за местного перегрева. Попытки устранить этот недостаток путем управляемого воздействия на траекторию горения дуги пока успеха не принесли. Есть расхождения в оценке того, что является причиной отклонения дуги, месте её расположения и в мере допустимости принимаемых решений. Отрицательную роль сыграло то, что в любой точке пространства величина силы включает в себя кроме основной составляющей ещё и некоторую совокупность сил стороннего воздействия, которые действуют с разной интенсивностью и подчас в произвольном направлении. Поэтому желание компенсировать действие только одной силы оставляет за пределами охвата все остальные без достижения желаемого результата.

Авторская позиция по данному вопросу изложена в [1], имеет под собой, как представляется, достаточно убедительную аргументацию и состоит в следующем:

1. источник отклонения дуги находится не внутри печного пространства, а на внешнем металлическом корпусе печи;
2. достижение сбалансированности электромагнитного режима необходимо обеспечивать не по одному влияющему фактору, а по равнодействующей всех активных в данный момент возмущений.

Величину равнодействующей силы можно оценить опосредованно через величину создаваемого её действием отклонения дуги. Если в точках 1 и 2 на диаметре отклонения дуги (рисунок 1) действуют силы $P_1 = B_1 \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$ и $P_2 = B_2 \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$, то под действием разности $P_2 - P_1 = (B_2 - B_1) \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$ в зависимости от ее знака дуга будет отклоняться либо к точке 1, либо к точке 2.

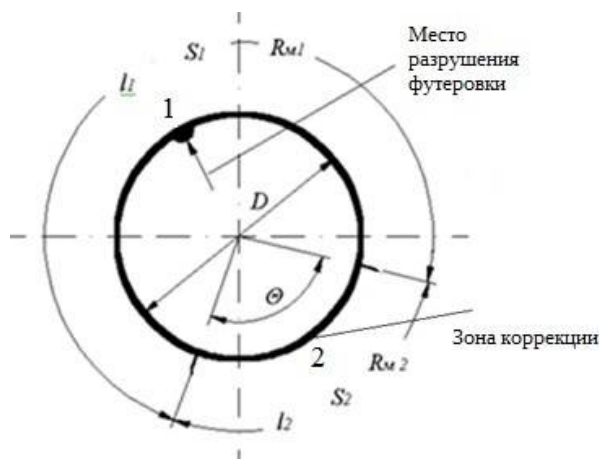


Рис. 1. Эскиз горизонтального сечения плавильной ванны

Если действующие на дугу силы создаются только магнитным потоком, протекающим по наружному контуру печи, то силы равны между собой, а дуга расположится по центру ванны. Если под действием каких-либо воздействий увеличится сила P_2 , то для возвращения разности сил к нулю можно либо увеличить ту, что меньше, либо уменьшить ту, что больше. В данном случае предполагается выравнивание сил путем уменьшения одной из них. Эту задачу должен выполнить корректор положения дуги, который предполагается построить в будущем под сформулированный сценарий работы.

Корректор в данной работе предполагается пассивным, т.е. не имеющим стороннего подмагничивания, с уравниванием силовых характеристик магнитного поля объекта чисто параметрическими средствами.

В работах поискового характера всегда имеется в виду обязательность проверки полученных результатов, среди которых наиболее достоверные - натурные испытания на действующем оборудовании. При отсутствии такой возможности можно прибегнуть к помощи моделирования, которое обладает возможностями обнаруживать ошибочные решения на ранних стадиях проектирования.

Таким образом, **целью данной работы** является проверка составленного сценария работы корректора на непротиворечивость основным закономерностям классической теории электромагнетизма методом моделирования.

Режим работы и параметры аппроксимации магнитных характеристик

Ток дуги создает в металлическом корпусе плавильной ванны с радиусом 2 м напряженность $H = I / 2\pi R = 35000 / (2 \cdot 3,14 \cdot 2) = 2787$ А/м, что соответствует режиму глубокого насыщения. Если принять для этой напряженности $\mu = 7,4$ и $B_s = 2,2$ Тл, то из выражения $B_s = B_r + \mu \cdot H$ определено значение остаточной индукции.

Параметрами насыщенного участка кривой намагничивания кожуха печи приняты:

$$B_s = 2,2 \text{ Тл}, \quad B_r = 2,174 \text{ Тл}, \quad \mu = 7,4,$$

$$\mu_a = 7,4 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} = 93 \cdot 10^{-7}$$

Определение геометрических соотношений

Общая длина кругового контура печи по наружному обводу

$$L = l_1 + l_2 = \pi \cdot D = 3,14 \cdot 4 = 12,56 \text{ м}$$

Длина участка корпуса печи, охваченного корректором, пропорциональна центральному углу Θ :

$$l_2 = L \cdot (\Theta / 360^0) = 12,56 \cdot (\Theta / 360^0) \text{ м.}$$

Длина остальной круговой части обвода корпуса:

$$l_1 = L \cdot (1 - \Theta / 360^0) = 12,56 \cdot (1 - \Theta / 360^0) \text{ м.}$$

Определим сечение магнитопровода, по которому проходит магнитный поток через участок боковой стенки печи, охваченный корректирующим контуром. Для этого условимся считать длину дуги равной 1 метру, а толщину листа внешней обшивки боковых стенок – 25 мм, т.е. 0,025 м. При этих условиях площади поперечных сечений обоих участков (l_1 и l_2) на длине горения дуги составит $S_1 = S_2 = 1 \text{ м} \cdot 0,025 \text{ м} = 0,025 \text{ м}^2$.

Поскольку на участке длины l_2 наружного контура некоторая часть протекающего магнитного потока ответвляется в параллельную цепь вводимого корректора, площадь сечения корректирующего шунта S_3 можно задать в виде некоторой доли от величины S_2 , т.е. $S_3 = S_2 \cdot K$, где K – изменяемый коэффициент интенсивности коррекции. Таким образом можно считать, что $S_3 = 0,025 \cdot K \text{ м}^2$.

Такое задание площади поперечного сечения корректора удобно не только простотой её определения, но и позволит при моделировании варьировать её величину для установления её влияния на эффективность работы корректора.

Магнитные сопротивления участков цепи

Их вычисление необходимо для того, чтобы количественно определить как распределяется магнитное напряжение, создаваемое током дуги, между различными участками контура замыкания магнитного потока.

Магнитное сопротивление участка цепи, не охваченного контуром коррекции:

$$R_{m1} = R_1 = l_1 / (\mu_1 \cdot S_1) = [12,56 \cdot (1 - \Theta / 360^0)] / (\mu \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 0,025) = 4000 \cdot (1 - \Theta / 360^0) / (\mu \cdot 10^{-5}).$$

Аналогично этому запишется выражение для сопротивления участка кожуха печи длиной l_2 , ограниченного контуром коррекции:

$$R_{m2} = R_2 = l_2 / (\mu_2 \cdot S_2) = [12,56 \cdot (\Theta / 360^0)] / (\mu \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 0,025) = 4000 \cdot (\Theta / 360^0) / (\mu \cdot 10^{-5}).$$

Корректор образуется шунтированием участка корпуса длиной l_2 , увеличенной на 0,2 метра из-за того, что шунт располагается на расстоянии 10 см от корпуса, поэтому его длина задана в виде: $l_3 = (l_2 + 0,2)$ метра.

$$R_{m3} = R_3 = l_3 / (\mu_3 \cdot S_1 \cdot K) = (l_2 + 0,2) / (\mu \cdot \mu_0 \cdot S_1 \cdot K) = [12,56 \cdot (\Theta / 360^0) + 0,2] / (\mu \cdot 12,56 \cdot 0,025 \cdot K \cdot 10^{-7}),$$

который после подстановки некоторых данных примет вид:

$$R_{m3} = R_3 = 318 \cdot ([12,56 \cdot (\Theta / 360^0) + 0,2] \cdot 10^5) / (\mu \cdot K).$$

Поскольку в схеме замещения сопротивления R_2 и R_3 включены параллельно, их общее сопротивление R_4 должно быть вычислено как

$$R_4 = (R_2 \cdot R_3) / (R_2 + R_3).$$

Вывод уравнений для расчёта напряжённостей

В этом разделе формулируется способ расчёта распределения магнитных напряжений между двумя секторами кругового обвода печи, выводятся расчётные соотношения для определения основных магнитных характеристик объекта с выполненной коррекцией электромагнитного режима.

Для этого на основе исходного варианта записи баланса напряжений

$$F = I \cdot w = H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2 = I,$$

так как $w=1$, необходимо выполнить несложные преобразования. При этом следует учесть, что две различающиеся формы записи: $H \cdot l$ и $\Phi \cdot R_m$ по существу означают одно и то же, так как это две различные формы записи магнитного напряжения. По схеме замещения объекта видно, что по единственной цепи протекает один и тот же поток Φ . Его величину можно определить из соотношения $\Phi = (H_2 \cdot l_2) / R_4$.

Тогда $(H_1 \cdot l_1) = \Phi \cdot R_1 = (H_2 \cdot l_2) \cdot (R_1 / R_4)$, что позволяет записать:

$$I = (H_2 \cdot l_2) \cdot (R_1 / R_4) + H_2 \cdot l_2 = (H_2 \cdot l_2) \cdot [(R_1 + R_4) / R_4].$$

Отсюда легко находятся магнитные напряжения и их распределение по секторам корпуса печи:

$$H_2 \cdot l_2 = (I \cdot R_4) / (R_1 + R_4);$$

$$H_1 \cdot l_1 = (H_2 \cdot l_2) \cdot (R_1 / R_4).$$

Всё это сделано для того, чтобы можно было рассчитать напряжённости H_1 и H_2 . Подстановками

$$H_1 = (H_1 \cdot l_1) / l_1 = (I \cdot R_4 \cdot R_1) / [(R_1 + R_4) \cdot R_4 \cdot l_1]$$

уравнения приводятся к более компактному виду для расчётов:

$$H_1 = I \cdot R_1 / [(R_1 + R_4) \cdot 12,56 \cdot (1 - \Theta / 360^0)],$$

$$H_2 = I \cdot R_4 / [(R_1 + R_4) \cdot 12,56 \cdot (\Theta / 360^0)].$$

Варианты определения индукций и магнитных потоков

В самом начале этого раздела, аппроксимация кривой намагничивания выполнялась на том допущении, что магнитный каркас печи находится в состоянии глубокого насыщения. Этим определено представление кривой в зоне насыщения в виде прямой линии с углом наклона, равным $\mu = 7,4$. Поэтому при малых значениях коэффициента коррекции K есть основания считать допустимым определять индукции по выражениям вида

$$B_1 = B_r + (\mu \cdot H_1 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}) = B_r + H_1 \cdot 93 \cdot 10^{-7};$$

$$B_2 = B_r + (\mu \cdot H_2 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}) = B_r + H_2 \cdot 93 \cdot 10^{-7}.$$

При больших коэффициентах K индукция B_1 будет проявлять постоянную тенденцию к увеличению, а вот B_2 сравнительно легко может сойти с насыщенного участка. В этом случае логичнее B_1 рассчитывать как и прежде, а индукции в обеих ветвях корректируемого сектора определять через величину потока, например, следующим образом:

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= B_1 \cdot S_1 = B_1 \cdot 0,025 & B_1 &= B_r + H_1 \cdot 93 \cdot 10^{-7}; \\ \Phi_2 &= \Phi_1 \cdot R_3 / (R_2 + R_3) & B_2 &= B_1 \cdot R_3 / (R_2 + R_3); \\ \Phi_3 &= \Phi_1 \cdot R_2 / (R_2 + R_3) & B_3 &= B_1 \cdot R_2 / [(R_2 + R_3) \cdot K]. \end{aligned}$$

Часто бывает, что нет необходимости определять отдельно индукции B_2 и B_3 , а требуется лишь находить результат их совместного действия (как, например, в данном случае). В этих случаях индукцию B_Σ в пределах корректирующего сектора целесообразно определять как частное от деления потока Φ_1 на суммарную площадь поперечного сечения

$$\begin{aligned} S_1 + S_3 + (1 + K) \cdot S_1; \\ B_\Sigma = \Phi_1 / (S_1 + K \cdot S_1) = \Phi_1 / [(1 + K) \cdot S_1]. \end{aligned}$$

Результаты расчёта модели по приведённым выше параметрам объекта и режима его работы приведены на рисунке 2.

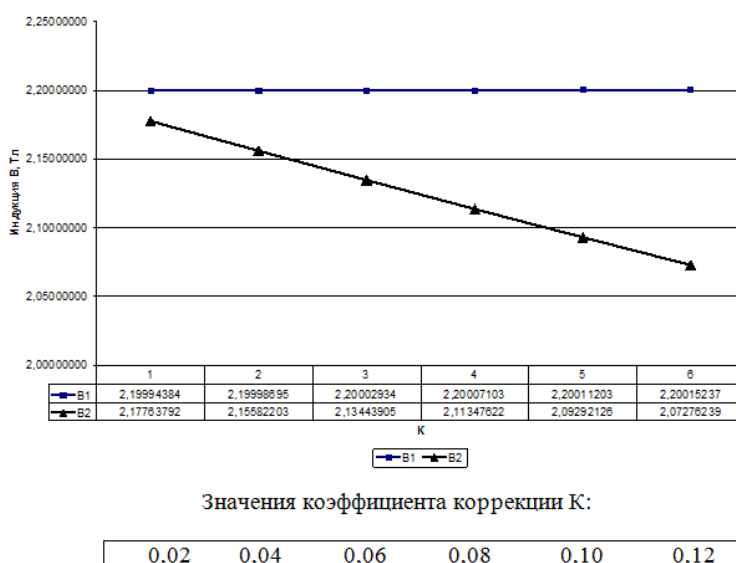


Рис. 2. Результаты работы корректора при различных коэффициентах коррекции K

Диаграммы соответствуют тому случаю, когда имеет место равенство сил при отсутствии коррекции. Поэтому при нулевом K обе прямые сойдутся в одной точке. Если будут действовать сторонние источники помех, увеличивающие допустим B_2 , эта прямая сместится параллельно самой себе вверх, появится точка пересечения обеих зависимостей, координата которой будет равна требуемому значению K .

Выводы по результатам выполненной работы:

Расчёт по полученным уравнениям с введёнными параметрами и коэффициентами режимов работы объекта выполнен без замечаний с представлением ожидаемых результатов, что подает надежду на возможность практической реализации.

2. Результаты расчёта дают основания полагать, что влияние на дугу оказывает не состояние внутреннего пространства печи, а процессы распределения полей на её наружном контуре. Следовательно, и корректирующее воздействие следует прилагать, ориентируясь на стальной корпус печи.

3. Достижение баланса именно между равнодействующими силами значительно упрощает задачу и делает её разрешимой, а вот конечный результат получается, как если бы компенсации подвергалась каждая из составляющих этой обобщающей силы в отдельности.

4. Технически уменьшение индукции может быть реализовано различными средствами как параметрического исполнения, так и на основе подмагничиваемых устройств.

1. Лашин В.А. О воздействии на траекторию горения дуги в электросталеплавильных печах постоянного тока - Термическая обработка и плавка металлов - Металлический форум [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chipmaker.ru/files/file/17594/> – Дата доступа: 28.02.2024.

УДК 656.01; ГРНТИ 73.43.01

ОПТИМИЗАЦИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ КОРРЕКТИРОВКИ ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Ю.А. Меркулов, М.В. Ленков

*Рязанский государственный радиотехнический университет
Рязань, Merkulov_UA@mail.ru*

Аннотация. В данной работе разработана методика оптимизации существующей транспортной системы на основе корректировки показателя эффективности, заключающейся в распределении расхождения в требуемом и фактическом уровнях эффективности на составные элементы показателя эффективности. На основе новых показателей эффективности определяются новые характеристики элементов транспортной системы густонаселенной территории.

Ключевые слова: транспортная система, густонаселенная территория, эффективность транспортной системы, оптимизация транспортной системы, методика распределения расхождения уровней эффективности.

OPTIMIZATION OF THE EXISTING TRANSPORT SYSTEM BASED ON THE EFFICIENCY INDICATOR ADJUSTMENT

Yu.A. Merkulov, M.V. Lenkov

*Ryazan State Radio Engineering University
Ryazan, Merkulov_UA@mail.ru*

Abstract. This work has developed a methodology for optimizing the existing transport system on the basis of correcting the efficiency indicator, which consists in allocating the discrepancy in the required and actual levels of efficiency to the components of the efficiency indicator. On the basis of the new performance indicators, new characteristics of the components of the transport system of the dense-bearing area are determined.

Keywords: transport system, densely populated area, efficiency of transport system, optimization of transport system, methodology of distribution of difference in efficiency levels.

Введение

В настоящее время в густонаселенных территориях существует целый комплекс проблем, связанных с их транспортным обслуживанием. Существующая транспортная инфраструктура данных территорий уже не в состоянии обеспечить удовлетворение потребностей населения в перемещениях в условиях роста автомобилизации и ускорения урбанизационных процессов.

В связи с данными обстоятельствами, появилась задача разработки инструмента, позволяющего определить качество выполнения транспортной системой своих функций, а так-

же выявить существующие в ней проблемы. В качестве такого инструмента была разработана модель эффективности транспортной системы густонаселенной территории [1, 2].

Модель эффективности транспортной системы густонаселенной территории

В своей основе модель имеет некоторые основополагающие принципы:

1. Эффективность городской транспортной системы целесообразно рассматривать, как степень соответствия городской транспортной системы запросам к ней со стороны потребителей ее услуг.

2. Эффективность городской транспортной системы рассматривается, как совокупность экономической, социальной и экологической составляющих.

3. Определение эффективности осуществляется на основе сравнения фактического значения показателя, выбранного в качестве критерия эффективности с его эталонным значением.

$$x_i = \Phi_i / \Delta_i,$$

где x_i - оценка i -го элемента эффективности;

Φ_i - фактическое значение показателя эффективности i -го элемента;

Δ_i - эталонное значение показателя эффективности i -го элемента;

i - количество элементов оценки.

Значение эффективности, определенное по данной методике, варьируется в интервале от 0 до 1, при том, что 1 иллюстрирует полное соответствие потребностям населения, а 0 - полное несоответствие.

Рассмотрим каждый тип эффективности подробнее.

1. Экономическая эффективность определяется на основе критерия минимизации времени передвижения в рамках городской территории:

$$\Delta \varepsilon = \sum((\text{Тот}\varepsilon * \text{Риот}) / \text{Тотф}) + \sum((\text{Тит}\varepsilon * \text{Риит}) / \text{Титф}),$$

где $\Delta \varepsilon$ - значение экономической эффективности;

$\text{Тот}\varepsilon$ - матрица эталонного времени движения на общественном транспорте;

Риот - матрица долей корреспонденций по общественному транспорту;

Тотф - матрица фактического времени движения на общественном транспорте;

$\text{Тит}\varepsilon$ - матрица эталонного времени движения на личном индивидуальном транспорте;

Риит - матрица долей корреспонденций по общественному транспорту;

Титф - матрица фактического времени движения на личном индивидуальном транспорте.

2. Социальная эффективность городской транспортной системы представляет собой степень соответствия рассматриваемой системы требованиям, предъявляемым к ней со стороны городского населения - потребителей ее услуг. Интегральный показатель социальной эффективности можно определить по следующей формуле на основе аддитивной свертки:

$$\Delta \varepsilon_c = \sum_{i=1}^8 (x_i * \alpha_i),$$

где $\Delta \varepsilon_c$ - социальная эффективность городской транспортной системы; x_i - состояние i -го элемента городской транспортной системы; α_i - весовой коэффициент уровня значимости i -го элемента городской транспортной системы.

Составные элементы данного расчета и формулы их вычисления приведены в таблице 1.

Таблица 1. Элементы расчета социальной эффективности

№	Наименование элемента	Формула расчета
1	Остановочные комплексы	$x_1 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{n\phi}}{x_{nэ}} \right) / n$
2	Остановочная сеть	$x_2 = (Смск/Ос) / 0,5$
3	Пешеходные переходы	$x_3 = (Пф/Пэ)$
4	Парковочные места	$x_4 = (Пк/0,75Av)$
5	Маршрутная сеть	$x_5 = 0,33 (Кпок + (Кперэ/Кперф) + (Плсф/Плсэ))$
6	Возраст транспортных средств	$x_6 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{B_{\phi}}{B_{э}} \right) / m$
7	Безопасность	$x_7 = 4 / ((ПДдл * 1000) / N)$
8	Расписание общественного транспорта	$x_8 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{I_{э}}{I_{\phi}} \right)$

В таблице 1 использованы следующие обозначения:

$x_{n\phi}$ – фактическое состояние остановочного комплекса;

$x_{nэ}$ – эталонное состояние остановочного комплекса;

n - количество остановочных комплексов;

Смск – длина маршрутной сети городского общественного пассажирского транспорта без учета дублирования маршрутов;

Ос – количество остановочных комплексов;

Пф – фактическое количество пешеходных переходов на городской территории;

Пэ – эталонное количество пешеходных переходов на территории города;

Пк – количество парковочных мест в городе;

Av – количество личных индивидуальных транспортных средств у городского населения;

Кпок – коэффициент покрытия (изменяется в интервале от 0 до 1, следовательно, в нормировании не нуждается);

Кперэ – эталонное значение коэффициента пересадочности;

Кперф – фактическое значение коэффициента пересадочности;

Плсф – фактическое значение показателя линейности сети;

Плсэ – эталонное значение показателя линейности сети;

B_{ϕ} - фактический возраст транспортного средства городского общественного пассажирского транспорта;

$B_{э}$ - эталонный возраст транспортного средства городского общественного пассажирского транспорта;

m – количество транспортных средств городского общественного пассажирского транспорта;

ПДдл - количества человек, погибших в результате дорожно-транспортных происшествий за 1 год;

N – среднегодовая численность населения;

$I_{э}$ - эталонная величина интервалов движения транспортных единиц городского общественного пассажирского транспорта по данному маршруту;

I_{ϕ} - фактическая величина интервалов движения транспортных единиц городского общественного пассажирского транспорта по данному маршруту.

3. Экологическая эффективность определяется посредством выявления превышения концентрации вредных веществ, выбрасываемых автомобильным транспортом в воздушный бассейн города над допустимыми концентрациями. Расчет производится по следующей формуле:

$$\text{Ээкол} = \sum_{i=1}^n (\text{ПДК}_i / K_{\phi i}),$$

где ПДК_i – предельно допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества;

$K_{\phi i}$ - фактическая концентрация i -го загрязняющего вещества;

n – количество загрязняющих веществ, выбрасываемых транспортом.

Общая эффективность городской транспортной системы определяется посредством аддитивной свертки. При условии, что все три вида эффективности вносят равный вклад в формирование общей эффективности, применение весовых коэффициентов становится нецелесообразным, что позволяет использовать следующую формулу:

$$\text{Эгтс} = (\text{Ээ} + \text{Эс} + \text{Ээкол}) / 3 \quad \text{Эгтс} = (\text{Ээ} + \text{Эс} + \text{Ээкол}) / 3.$$

Разработка методики обратного распределения необходимого прироста эффективности

В результате применения вышеприведенной методики, определяются уровни каждого типа эффективности и общий показатель эффективности транспортной системы густонаселенной территории. В случае, если уровень эффективности признается низким, необходимо разработать мероприятия для увеличения данного уровня. С данной целью была разработана методика, состоящая из ряда взаимосвязанных этапов (рис. 1).

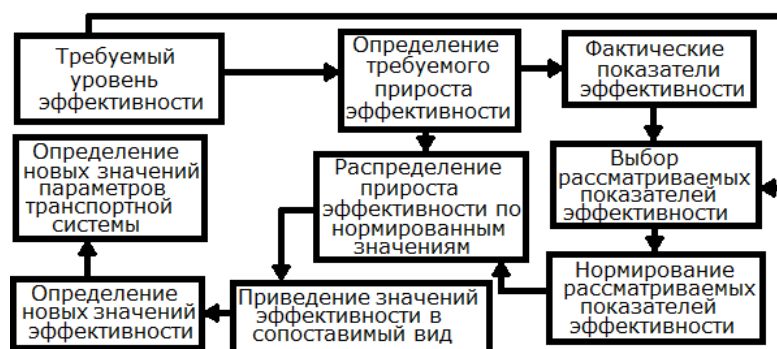


Рис. 1. Схема определения необходимых изменений уровня эффективности

Рассмотрим разработанную методику подробнее.

1. Установление требуемого уровня эффективности (Эт). Идеальным вариантом является установление требуемого уровня на уровне 1, но, как правило, значение устанавливается меньшей единицы.

2. Выявление необходимого прироста эффективности. Производится путем определения разности между требуемым уровнем эффективности и ее фактическим уровнем:

$$\Delta \text{Э} = \text{Эт} - \text{Эф}$$

где $\Delta \text{Э}$ – необходимый прирост эффективности, а Эф – значение фактической эффективности.

3. Исключение из рассмотрения показателей эффективности, для которых выполняется условие $\mathcal{E}_\phi \geq \mathcal{E}_{тр}$.

4. Нормирование оставшихся в рассмотрении показателей фактической эффективности.

$$\mathcal{E}_n^i = \frac{\mathcal{E}_\phi^i}{\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_\phi^i},$$

где \mathcal{E}_n^i – нормированное значение эффективности; n – количество показателей эффективности, оставшихся в рассмотрении.

В результате реализации данного этапа формируется матрица нормированных значений эффективности.

5. Распределение прироста эффективности по матрице нормированных значений эффективности.

$$\Delta \mathcal{E}_p^i = \Delta \mathcal{E}^i * \mathcal{E}_n^i,$$

где $\Delta \mathcal{E}_p^i$ – элементы матрицы распределенного прироста эффективности.

6. Приведение распределенного прироста эффективности к сопоставимому виду со значениями фактической эффективности. Учет действие весового коэффициента, используемого при вычислениях эффективности, так как в расчетах используются взвешенные показатели эффективности:

$$\Delta \mathcal{E}_{пр}^i = \Delta \mathcal{E}_p^i * a^i,$$

где $\Delta \mathcal{E}_{пр}^i$ – элемент матрицы приведенных к сопоставимому виду показателей прироста эффективности; a^i – весовой коэффициент значимости i -го показателя эффективности.

7. Получение итоговых значений показателей эффективности. Производится путем нахождения суммы исходных значений фактических показателей эффективности и приведенного в сопоставимый вид распределенного значения прироста эффективности.

$$\mathcal{E}_\phi^n = \mathcal{E}_\phi^i + \Delta \mathcal{E}_{пр}^i,$$

где \mathcal{E}_ϕ^n – новое значение фактического показателя эффективности.

После определения требуемых уровней эффективности необходимо перейти к определению новых значений количественных параметров транспортной системы густонаселенной территории. Рассмотрим осуществление данного перехода для каждого типа эффективности.

1. Экономическая эффективность. В соответствии с разработанной методикой определяется эффективность для каждого рассматриваемого пути корреспонденции населения. Затем определяется новое фактическое время перемещения по данному участку улично-дорожной сети по следующей формуле:

$$T_\phi = (T_\mathcal{E} * P) / \mathcal{E}_\phi^n.$$

На основе требуемого фактического времени проезда рассматриваемого участка улично-дорожной сети разрабатывается комплекс мероприятий по увеличению пропускной способности данного участка.

2. Социальная эффективность. Способы определения новых фактических параметров по каждому показателю социальной эффективности приведены в таблице 2.

Таблица 2. Способы определения новых параметров транспортной системы

№	Наименование элемента	Способ расчета
1	Остановочные комплексы	Согласно разработанной методике
2	Остановочная сеть	$O_c = S_{мск}/0,5 \times 2$
3	Пешеходные переходы	$Pф = Пэ \times 3$
4	Парковочные места	$Пк = 0,75 A_v \times 4$
5	Маршрутная сеть	Согласно разработанной методике
6	Возраст транспортных средств	Согласно разработанной методике
7	Безопасность	$ПДДл = N/250 \times 7$
8	Расписание общественного транспорта	Согласно разработанной методике

Применение разработанной методики для указанных показателей социальной эффективности имеет следующие особенности.

Остановочные комплексы учитываются без весовых коэффициентов, а итоговое значение эффективности выводится, как среднее арифметическое, следовательно, в п. 6 разработанной методики применяется умножение на количество рассматриваемых в расчете остановок. Аналогично производится расчет для показателей маршрутной сети.

Расписание общественного транспорта. Нормирование происходит по взвешенной оценке, в качестве весов используются мощности пассажиропотока по маршрутам. Распределенное расхождение переводится во взвешенное значение. Общая взвешенная эффективность очищается от действия весов. Затем определяется новая величина интервала по следующей формуле:

$$I_{ф} = x_8 \cdot I_{э}.$$

3. Экологическая эффективность. На первой итерации, по разработанной методике определяется эффективность по каждому типу загрязняющих веществ. Затем, определяются требуемые уровни концентрации загрязняющих веществ по следующей формуле:

$$K_n = ПДК / Э_{э},$$

где K_n - новая концентрация загрязняющего вещества, ПДК – предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества, а $Э_{э}$ – новый уровень экологической эффективности по данному загрязняющему веществу.

Выводы

Методика определения эффективности транспортной системы густонаселенной территории позволяет определить степень соответствия транспортной системы потребностям городского населения. В случае, если уровень эффективности является низким, возникает необходимость в разработке комплекса мероприятий, направленных на оптимизацию параметров данной организационной системы. Для решения обозначенной проблемы была разработана методика, основанная на определении расхождения между фактическим и требуемым значениями эффективности и распределения данного расхождения на составные элементы показателя эффективности. На основе полученных требуемых значений частных показателей эффективности определяются требуемые характеристики отдельных элементов транспортной системы густонаселенной территории.

Библиографический список

1. Меркулов Ю.А., Ленков М.В. Существующие подходы к управлению транспортной системой густонаселенной территории. // Новые информационные технологии в научных исследованиях. Материалы XXVII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань, 2022. Т. 1. С. 51-52.
2. Меркулов Ю.А., Ленков М.В. Разработка прикладной модели эффективности городской транспортной системы // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2023. Сборник трудов VI международного научно-технического форума. В 10-ти томах. Под общей редакцией О.В. Миловзорова. Рязань, 2023. Т. 6. С. 148-157.

УДК 656.01; ГРНТИ 73.43.01

ФОРМИРОВАНИЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОБРАБОТКА МАССИВА ДАННЫХ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ МОДЕЛЕЙ

Ю.А. Меркулов, М.В. Ленков

*Рязанский государственный радиотехнический университет
Рязань, Merkulov-UA@mail.ru*

Аннотация. В данной работе рассматриваются и анализируются основные методы формирования и обработки массива данных, необходимых для построения транспортных моделей.
Ключевые слова: транспортная система, густонаселенная территория, эффективность транспортной системы, транспортное моделирование, исходные данные для моделирования.

FORMATION AND AUTOMATED PROCESSING OF DATA ARRAY FOR CONSTRUCTION OF TRANSPORT MODELS

Yu.A. Merkulov, M.V. Lenkov

*Ryazan State Radio Engineering University
Ryazan, Merkulov-UA@mail.ru*

Abstract. This paper discusses and analyzes the main methods for generating and processing an array of data required for the construction of transport models

Keywords: transport system, densely populated area, efficiency of transport system, transport modeling, input data for modeling.

Введение

Для управления функционированием и развитием современных транспортных систем густонаселенных территорий необходимы качественно новые инструменты управления [1]. Одним из таких инструментов является методика расчета эффективности транспортной системы, предполагающая определение интегрального показателя эффективности, состоящего из экономической, социальной и экологической составляющих [2]. Для применения указанной методики необходим значительный массив исходной информации.

Определение состава массива исходных данных

Для определения экономической составляющей эффективности необходимы следующие данные:

1. Минимальное расстояние между районами по улично-дорожной сети.
2. Минимальное расстояние между районами по маршрутам общественного транспорта.
3. Матрица корреспонденций.
4. Фактическое время перемещений между транспортными районами на общественном транспорте.
5. Фактическое время перемещений между транспортными районами на индивидуальном транспорте.

Для определения социальной составляющей эффективности транспортной системы на данном участке необходимо собрать следующий массив исходной информации.

- 1) Фактическое состояние остановочных комплексов.
- 2) Длина маршрутной сети городского общественного пассажирского транспорта без учета дублирования маршрутов.
- 3) Количество остановочных комплексов.
- 4) Фактическое количество пешеходных переходов на городской территории. Определяется путем натурного наблюдения.

5) Эталонное количество пешеходных переходов на территории города. Определяется путем натурального учета количества остановочных комплексов и объектов притяжения корреспонденций.

6) Количество парковочных мест. Определяется путем натуральных наблюдений.

7) Количество личных индивидуальных транспортных средств у городского населения. Используются данные официальной статистики.

8) Коэффициент покрытия, определяемый, как отношение длины маршрутной сети (без учета дублирования маршрутов) к общей длине улично-дорожной сети города.

9) Эталонное значение коэффициента пересадочности.

10) Фактическое значение коэффициента пересадочности.

11) Фактическое значение показателя линейности сети.

12) Эталонное значение показателя линейности сети.

13) Фактический возраст транспортного средства городского общественного пассажирского транспорта. Для его определения используются данные официальной статистики.

14) Количество транспортных средств городского общественного пассажирского транспорта. Для его определения используются данные официальной статистики.

15) ПДДл - количества человек, погибших в результате дорожно-транспортных происшествий за 1 год. Используются данные статистики ГИБДД [3].

16) Среднегодовая численность населения. Используются данные официальной статистики.

17) Фактическая величина интервалов движения транспортных единиц городского общественного пассажирского транспорта по данному маршруту. Определяется путем проведения натуральных наблюдений, обычно в составе исследований, направленных на определение мощности пассажиропотоков.

Для определения экологической составляющей эффективности необходимы следующие данные:

1. Концентрация угарного газа в воздушном бассейне территории.

2. Концентрация оксида азота в воздушном бассейне территории.

Все методы получения указанной информации можно разделить на две группы:

А) натурные наблюдения;

Б) технические.

Формирование и автоматизированная обработка массива исходных данных

Наиболее распространены следующие методы получения информации для построения матрицы корреспонденций:

а) анкетное обследование генеральной совокупности;

б) анкетирование по месту жительства;

в) обследование сплошных баз данных.

Сущность и характеристики данных методов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сущность и характеристика основных методов получения информации для построения матрицы корреспонденций

Наименование метода	Сущность метода	Достоинства метода	Недостатки метода
Анкетное обследование генеральной совокупности	Дополнительное анкетирование всех жителей при переписи населения	Простота обработки и формализации результатов, широта охвата	Возможность искажения данных, большие промежутки времени между обследованиями, большой объем информации, подлежащей обработке

Продолжение таблицы 1

Анкетирование по месту жительства	Анкетирование выборочной совокупности по месту проживания	Простота обработки и формализации результатов	Возможность, высокая трудоемкость, затратность, трудности поиска контакта с респондентами, трудности при посещении домов
Обследование сплошных баз данных	Обследование баз данных медицинского страхования	Точность, простота обработки и формализации результатов, низкая трудоемкость, малозатратность	Трудность получения доступа к базе данных, необходимость сохранения анонимности данных, необходимость привлечения большого числа учетчиков

Наиболее удобным является метод анкетирования по месту жительства в силу следующих причин:

1. Метод обследования генеральной совокупности не применим в силу того, что проведении таких исследований необходимо объединять с полномасштабными социологическими исследованиями, такими, как переписи населения, что делает его сложным в организации не позволяет получать данные в необходимый момент.

2. Метод обследования сплошных баз данных сложен в организации и отсекает от исследования значительную часть населения (пенсионеры, школьники, студенты), а также не позволяет получить информация о социальных и культурно-бытовых корреспонденциях, а также о распределении корреспонденций по времени и системам транспорта.

3. Метод анкетирования по месту жительства, по сравнению с другими является менее затратным, более оперативным по времени, лишенным зависимости от внешних причин, таких как проведение переписи населения, обеспечения доступа к базам данных.

Исследование при этом проводится по следующей методике:

1. Проведение условного районирования городской территории.
2. Формирование группы учетчиков, непосредственно проводящих анкетирование населения.
3. Определение объема репрезентативной выборки по каждому району города.
4. Распределение районов между учетчиками.
5. Подготовка исходных материалов для проведения анкетирования.
6. Проведение анкетирования.
7. Объединение и формализация результатов анкетирования.
8. Построение матрицы корреспонденций.

Для определения объема выборки в теории статистики используются формулы, полученные из формул предельных ошибок, что позволяет задать необходимую точность и получить объем выборки ее обеспечивающий. При этом, существующие формулы не подходят для решения данной задачи [4], [5].

Для решения выявленной проблемы была использована формула определения объема репрезентативной выборки при бесповторном отборе, направленном на выяснение доли признака:

$$m = \frac{t^2 * p * (1 - p) * M}{\Delta^2 * M + t^2 * p * (1 - p)},$$

где m – объем выборочной совокупности;

t - показатель кратности квадратичного отклонения, определяемый в зависимости от избранной доверительной вероятности;

p – доля единиц, обладающих обследуемым значением признака σ^2 - дисперсия времени передвижения из дома в микрорайон, где расположена их работа;

Δ - предельная ошибка выборки;

M – объем генеральной совокупности.

Значения p , при котором объем репрезентативной выборки будет максимальным, составит 0,5. Подставив полученное значение p в вышеуказанное выражение, получаем выражения для определения объема репрезентативной выборки при проведении обследования корреспонденций населения [6]:

$$m = \frac{0.25t^2 * M}{\Delta^2 * M + 0.25t^2}.$$

Таким образом, получена научно обоснованная методика определения объема репрезентативной выборки при осуществлении анкетирования населения, направленном на получение информации для построения матрицы корреспонденций. Предлагаемая методика имеет ряд преимуществ, таких как:

а) рассмотрение производится относительно четко определенного искомого признака (варианты), что позволяет научно обосновать содержание формулы;

б) определяется максимальный размер репрезентативной выборки, обеспечивающий заданную точность, что снижает ошибки репрезентативности при проведении исследования.

В силу данных обстоятельств, предлагаемая методика жизнеспособна, пригодна для применения при организации исследований, направленных на выяснение корреспонденций населения.

4. Фактическое время движения на личном индивидуальном транспорте. Определяется посредством осуществления хронометража.

5. Фактическое время движения на общественном транспорте. Определяется посредством осуществления хронометража.

Хронометраж осуществляется путем замеров времени передвижения соответствующей транспортной единицы. Замеры проводится учетчиком, непосредственно находящимся в данном транспортном средстве. Необходимо осуществить минимум три замера по каждому направлению движения в утренний и вечерний часы пик. Итоговый результат определяется, как среднее арифметическое.

Возможно проведение хронометража при помощи учета данных системы ГЛОНАСС-мониторинга транспорта, но при этом необходимо учитывать степень точности данных указанной системы.

Для проведения хронометража выбирается кратчайший путь из одного района в другой в соответствии с действующими правилами проезда.

На основе собранной информации производится построение шести матриц:

1) Матрица эталонного времени движения на общественном транспорте. Определяется, как частное от минимального расстояния по маршрутной сети и максимально разрешенной скорости передвижения:

$$T_{э} = S_{\min} / V_{\max},$$

где $T_{э}$ – эталонное время передвижения;

S_{\min} – минимальное расстояние по маршрутной сети между двумя транспортными районами;

V_{\max} – максимальная разрешенная скорость передвижения на рассматриваемых участках улично-дорожной сети.

2) Матрица долей корреспонденций по общественному транспорту.

3) Матрица фактического времени движения на общественном транспорте.

4) Матрица эталонного времени движения на личном индивидуальном транспорте. Определяется, как частное от минимального расстояния по улично-дорожной сети и максимально разрешенной скорости передвижения. Расчет производится по формуле, аналогичной формуле (1), но вместо расстояния по маршрутной сети используется расстояние по улично-дорожной сети.

5) Матрица долей корреспонденций по общественному транспорту.

6) Матрица фактического времени движения на личном индивидуальном транспорте.

Для получения и обработки вышеозначенных данных могут применяться современные технические средства:

Для определения экологической эффективности необходимы следующие данные:

1. Концентрация угарного газа в воздушном бассейне территории.

2. Концентрация оксида азота в воздушном бассейне территории.

Данные показатели могут быть получены из данных официального экологического мониторинга.

Выводы

Таким образом, проработан состав массива исходных данных необходимых для построения транспортных моделей, главным образом, модели эффективностям. Формируемый массив данных включает в себя экономические, социальные и экологические параметры. Для их получения используются натурные, расчетные и технические методы. К техническим методам относятся: камеры видеонаблюдения, системы машинного зрения, данные ГЛОНАСС-мониторинга, электронные спутниковые карты с функцией измерения расстояний. Именно технические методы имеют наибольшую перспективность в силу того, что позволяют ускорить время получения и обработки данных, а также снизить вероятность получения ошибочной информации.

Библиографический список

1. Меркулов Ю.А., Ленков М.В. Существующие подходы к управлению транспортной системой густонаселенной территории. // Новые информационные технологии в научных исследованиях. Материалы XXVII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань, 2022. Т. 1. С. 51-52.

2. Меркулов Ю.А., Ленков М.В. Разработка прикладной модели эффективности городской транспортной системы // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2023. Сборник трудов VI международного научно-технического форума. В 10-ти томах. Под общей редакцией О.В. Миловзорова. Рязань, 2023. Т. 6. С. 148-157.

3. Показатели состояния безопасности дорожного движения. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://stat.gibdd.ru/>

4. Перевозки пассажиров городским транспортом: справочное издание./ Спирин И. В. – М.: «Академкнига», 2006. С. 152-214.

5. Письмо Государственного комитета РФ по статистике от 14 февраля 2002 года № ОР-09-23/292.

6. Меркулов Ю.А., Федотов Н.И. Оценка параметров выборочного наблюдения при построении информационной модели системы управления городским транспортом на базе программного комплекса PTV VISION VISUM // Вестник РГРТУ № 4 (выпуск 34) 2010 год. Рязань, 2010 – С. 122-124.

УДК 656.01; ГРНТИ 73.43.01

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ НА МИКРОУРОВНЕ

Ю.А. Меркулов, М.В. Ленков

Рязанский государственный радиотехнический университет

Рязань, Merkulov_UA@mai.ru

Аннотация. В данной работе описано использование специализированного программного продукта для оптимизации функционирования транспортной системы на микроуровне.

Ключевые слова: транспортная система, густонаселенная территория, эффективность транспортной системы, оптимизация транспортной системы, микромоделирование, светофорное регулирование

SOFTWARE IMPLEMENTATION OF FINDING OPTIMAL PARAMETERS OF TRANS TAILOR SYSTEM AT MICRO LEVEL

Yu.A. Merkulov, M.V. Lenkov

Ryazan State Radio Engineering University

Ryazan, Merkulov_UA@mail.ru

Abstract. This paper describes the use of a specialized software product to optimize the performance of the transport system at the micro level.

Keywords: transport system, densely populated territory, functional efficiency of transport system, optimization of transport system, micro-modeling, traffic light regulation

Введение

Проблемы в функционировании транспортных систем густонаселенных территорий требуют применения новых решений в процессе их повседневного функционирования и долгосрочного развития. При этом, необходимо получить наилучший результат при минимальных затратах, что приводит к необходимости оптимизации параметров функционирования транспортной системы. Особенно важным данный процесс становится на микроуровне.

Управление развитием транспортной системы густонаселенной территории

Управление развитием транспортной системы густонаселенной территории необходимо проводить на двух уровнях: 1 Макроуровень – уровень всей транспортной системы в целом. 2. Микроуровень – уровень отдельного участка улично-дорожной сети.

Наиболее удобно такое сопряженное управление осуществляется в процессе связанного микро- и макро моделирования. Связь осуществляется по следующей методике: 1. Производится расчет в макро модели. 2. Полученные данные для конкретного участка УДС переносятся в микро модель.

Основными объектами транспортной системы, подвергающимися оптимизации на микроуровне являются перекрестки. Особое значения имеют перекрестки с светофорным регулированием. Проблему транспортных заторов, возникающих на данных участках улично-дорожной сети часто можно решить путем изменения параметров работы светофорного объекта. Оптимальные значения времени горения разрешающего сигнала, как правило, подбираются интуитивно, а затем проверяются при помощи микро моделирования.

Разработка программы для определения оптимальных параметров функционирования светофорного объекта

Для автоматизации и упрощения процесса подбора оптимальных параметров функционирования светофорного объекта, была разработана специализированная программа. Работа программы построена следующим образом.

Исходными данными для программы являются показатели пассажиропотока в каждом из направлений (ПП), количество полос в заданном направлении (N), а также время работы одного цикла светофорного объекта на перекрестке в секундах (T). Пропускная способность для каждой полосы равна 1894 транспортных единиц в час. Чтобы рассчитать пропускную способность в заданном направлении необходимо количество полос умножить на пропускную способность (ПС * N):

$$A_i = N_i * ПС_i.$$

После ввода всех необходимых значений, необходимо определить отношение пассажиропотока к пропускной способности в каждом направлении. Получается количество времени необходимое для проезда всего транспорта в направлении:

$$B_i = \frac{ПП_i}{A_i}.$$

Полученные значения умножаются на количество секунд в часе (3600 сек). Получается количество времени, сколько должен гореть зеленый сигнал в направлении:

$$C_i = B_i * 3600.$$

Следующим шагом идет нормирование времени горения зеленого сигнала светофора. Оно производится по следующим формулам:

$$а) \sum_{i=1}^n C_i = D, \text{ сек.};$$

$$б) \frac{C_i}{D} = E_i.$$

Определение время горения зеленого сигнала в первом цикле работы:

$$F_i = E_i * T.$$

Определение времени горения зеленого сигнала для каждого подцикла работы светофора. Данное время назначается по максимальному значению F в комбинации:

$$G = \max(F_i), \text{ сек.}$$

Нормирование времени горения зеленого сигнала светофора для выбранных комбинаций:

$$а) \sum_{i=1}^n \max(G_i), \text{ сек.};$$

$$б) H_i = \frac{G_i}{\sum_{i=1}^n \max(G_i)}.$$

Нахождение времени горения зеленого сигнала для каждой комбинации:

$$J_i = H_i * T, \text{ сек}$$

Представленная методика является наиболее подходящей для правильного программирования программы вычисления оптимального времени горения зеленого сигнала светофора в заданном направлении. Организацию работы со светофорными объектами на основе данной программы можно реализовать для перекрестка любой сложности.

С точки зрения удобства разработки и отладки программы выгодно использовать среду Visual Studio Code, в которой возможно создание интернет страницы с графическим интерфейсом, с применением технологий HTML/CSS и JavaScript.

Внешний вид страницы представлен на рисунке 1. На нем изображены два типа перекрестков (Т-образный и Х-образный)

Ниже приведен фрагмент программного кода для добавления соответствующих перекрестков на страницу в виде картинок.

```
<section class="content container">
  
  
</section>
```

Расчёт времени горения зеленого сигнала светофора по всем направлениям перекрестка

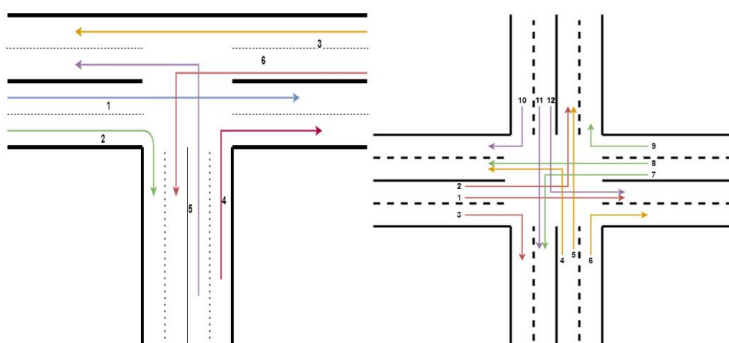


Рис. 1. Внешний вид страницы

При клике на картинки вызывается соответствующая функция. Для Т-образного перекрестка вызывается функция `imageT`, для Х-образного `imageX`.

У этих функций есть общие, повторяющиеся этапы. Под такими этапами подразумеваются:

Массив значений пропускной способности `ability`.

```
const ability = [1894, 1894, 1894, 1894, 1894, 1894];
```

Создание массива `countStripe` и заполнение его введенными значениями (массив со значениями количества полос по каждому направлению).

```
const count = ability.length;
```

```
const countStripe = new Array();
```

```
for (let i = 0; i < count; i++)
```

```
countStripe[i] = +prompt("Введите кол-во полос в направлении " + " " + `${i+1}`, "");
```

Умножение значений массива `countStripe` на значения массива `ability`. Получаем массив `resAbility` (массив с результирующими значениями пропускной способности по каждому направлению).

```
const resAbility = [];
```

```
for(let i = 0; i < ability.length; i++){
```

```
resAbility.push(countStripe[i] * ability[i]);
```

```
}
```

Ввод значений пассажиропотока для каждого направления и занесение их в массив `flow`.

```
const flow = new Array();
```

```
for (let i = 0; i < count; i++)
```

```
flow[i] = +prompt("Введите кол-во пассажиропотока в направлении" + " " + `${i+1}`, "");
```

Значения массива `flow` делим на значения массива `ability`. Получаем массив `res` (массив значений количества времени необходимое для проезда всего транспорта в направлении)

```
const res = [];
```

```
for(let i = 0; i < ability.length; i++){
```

```
res.push(flow[i] / ability[i]);
}
```

Значения массива res умножаем на 3600 секунд. Получаем массив fraction (массив количества времени, сколько должен гореть зеленый сигнал в направлении).

```
const fraction = [];
for (let i = 0; i < ability.length; i++) {
  fraction.push (Math.round(3600*res[i]))
}
```

Нахождение суммы последнего массива sum.

```
let sum = 0;
for(var i = 0; i < fraction.length; i++){
  sum += fraction[i];
}
```

Деление элементов массива fraction на значение sum. Получаем массив fractionTime (значения горения зеленого сигнала светофора в каждом направлении к общему времени).

```
const fractionTime = [];
for (let i = 0; i < count; i++) {
  fractionTime.push (fraction[i]/sum);
}
```

Ввод значения времени цикла светофора в секундах.

```
const timeCycle = +prompt('Введите время одного цикла работы светофора, сек');
```

Умножение значений массива fractionTime на значение T. Получаем массив greenTime (массив времени горения зеленого сигнала в каждом направлении в 1 цикле работы).

```
const greenTime = fractionTime.map((n) => Math.round(n * timeCycle));
```

Далее создаются комбинации для соответствующего перекрестка. Из созданных комбинаций выбирается наибольшее значения greenTime.

Комбинация для T-образного перекрестка (1-3, 2-5, 4-6). Для X-образного перекрестка действия идентичны, возрастает только число элементов в массиве.

```
let oneCombination = Math.max(greenTime[0], greenTime[2]);
let twoCombination = Math.max(greenTime[1], greenTime[3]);
let threeCombination = Math.max(greenTime[4], greenTime[5]);
const combination = new Array();
combination[0] = oneCombination;
combination[1] = twoCombination;
combination[2] = threeCombination;
```

Далее снова проводится нормирование для времени комбинаций и на выходе получается массив timeCombination, который содержит в себе значения времени горения зеленого сигнала светофора для каждой комбинации.

```
const timeCombination = [];
for (let i = 0; i < combinationFractionTime.length; i++) {
  timeCombination.push (Math.round(timeCycle * combinationFractionTime[i]));
}
```

На рисунке 2 представлено окно ввода данных в программу о количестве полос по каждому направлению движения. Ввод остальных исходных данных производится аналогично.

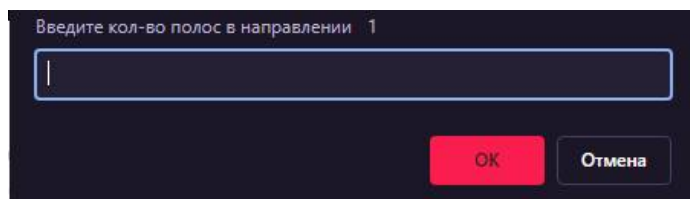


Рис. 2. Ввод количества полос по направлению

На рисунке 3 представлено окно вывода результатов работы программы.

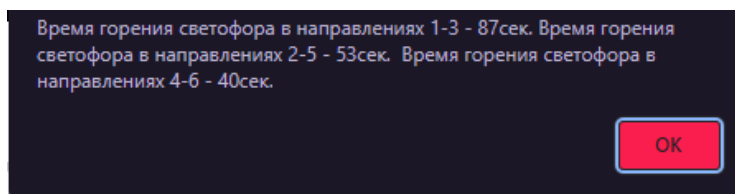


Рис. 3. Полученный результат

Полученные данные являются временем горения зеленого сигнала светофорного объекта по каждому направлению движения. Недостатком полученных данных является то, что не учитывается остановка движения для перехода дороги пешеходами. Решением данной проблемы является одновременное перекрытие движения по всем направлениям для одновременного перехода дороги пешеходами.

Выводы

Таким образом, был разработан программный код на языке JavaScript, которые по введенным данным пассажиропотока, количества полос и времени рабочего цикла светофора высчитывает оптимальное время горения зеленого сигнала светофора для соответствующих комбинаций. Полученные данные могут использоваться, как основа для определения оптимальных фаз работы светофорного объекта в процессе микромоделирования.

Библиографический список

1. Меркулов Ю.А., Ленков М.В. Существующие подходы к управлению транспортной системой густонаселенной территории. // Новые информационные технологии в научных исследованиях. Материалы XXVII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань, 2022. Т. 1. С. 51-52.
2. Меркулов Ю.А., Ленков М.В. Разработка прикладной модели эффективности городской транспортной системы // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2023. Сборник трудов VI международного научно-технического форума. В 10-ти томах. Под общей редакцией О.В. Миловзорова. Рязань, 2023. Т. 6. С. 148-157.

УДК 338.001.36; ГРНТИ 06.81.25

ПОСТРОЕНИЕ ТОЧНЫХ D-ОПТИМАЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПЛАНОВ

Н.О. Ястребцев, Ю.А Сосулин

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, nickita.jast@yandex.ru, sosulin45@mail.ru

Аннотация. Рассматривается задача планирования эксперимента для построения линейно параметризованной регрессионной модели заданного вида. Предлагается численная процедура построения точных экспериментальных планов, близких к D-оптимальным, на базе известных непрерывных D-оптимальных планов.

Ключевые слова: регрессионный анализ, планирование эксперимента, D-оптимальный экспериментальный план.

CONSTRUCTION OF EXACT D-OPTIMAL EXPERIMENTAL PLANS

N.O. Yastrebtsev, U.A. Sosulin

Ryazan State Radiotechnical University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, nickita.jast@yandex.ru, sosulin45@mail.ru

Annotation. The problem of planning an experiment for constructing a linearly parametrized regression model of a given type is considered. A numerical procedure is proposed for constructing exact experimental designs close to D-optimal based on known continuous D-optimal designs.

Keywords: regression analysis, experiment design, D-optimal experimental design.

Для решения задачи идентификации сложных технических объектов или технологических процессов обычно используются статистические методы, позволяющие получить математическую модель исследуемого объекта по экспериментальным данным. При этом предполагается, что модель объекта представляется регрессионной зависимостью известного вида:

$$y = \sum_{i=1}^k \beta_i f_i(x_1, x_2, \dots, x_m) + \varepsilon, \quad (1)$$

где y – выходная величина объекта;

$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$ – вектор входных факторов;

$\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k)^T$ – вектор неизвестных коэффициентов (параметров) модели;

k – число коэффициентов модели;

f_i – функции-регрессоры постулируемой регрессионной модели;

ε – случайная ошибка, приложенная к выходу объекта.

Наблюдаемые значения выходной величины во всех опытах могут быть представлены следующей матричной формой:

$$y = F\boldsymbol{\beta} + \varepsilon, \quad (2)$$

где $y = (y_1, y_2, \dots, y_N)^T$ – вектор значений зависимой переменной в N опытах;

$\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_N)$ – вектор случайных ошибок с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ^2 ;

F – матрица значений функций – регрессоров, определяемых видом модели, во всех N опытах.

Для получения оценок неизвестных коэффициентов регрессии обычно используется метод наименьших квадратов (МНК). МНК – оценки b вектора неизвестных коэффициентов $\boldsymbol{\beta}$ могут быть получены в соответствии со следующим выражением [1]:

$$b = (F^T F)^{-1} F^T y. \quad (3)$$

При соблюдении предпосылок классического регрессионного анализа получаемые методом наименьших квадратов оценки являются наилучшими в классе линейных оценок.

Фигурирующая в выражении (3) ($n \times k$) матрица F называется матрицей регрессоров, или расширенной матрицей плана эксперимента. В каждой строке этой матрицы записаны значения функций f_i из модели (1) при данном j -м наблюдении ($j = 1, 2, \dots, N$). Так как в регрессионном анализе предварительно предполагается определенная структура модели, функции f_{ij} известны и их значения легко вычислить по данным проведенного эксперимента.

Таким образом, свойства получаемых оценок коэффициентов зависят, с одной стороны, от используемого метода оценивания, а с другой стороны, от используемого в процедуре оценивания множества экспериментальных точек, на основании которого формируется матрица F , то есть от плана эксперимента [2].

В зависимости от целей экспериментально-статистического исследования, вида регрессионной модели, имеющих в распоряжении ресурсов используются различные критерии оптимальности экспериментальных планов. Критерием оптимальности, обеспечивающим наибольшую точность получаемого регрессионного уравнения, является критерий D-оптимальности.

Критерий D-оптимальности требует такого выбора плана ε , содержащего N опытов, при котором определитель дисперсионной матрицы $C = (F^T F)^{-1}$ имеет минимальную величину. Это означает, что D-оптимальный план минимизирует обобщенную дисперсию оценок неизвестных коэффициентов регрессионной модели. Естественно, что точки постановки опытов должны выбираться из условия принадлежности их к заданной области Q_x , где возможны эксперименты.

$$\varepsilon \in Q_X, \text{ или } x_j \in Q_X, j = 1, 2, \dots, N. \quad (4)$$

Заметим, что требование минимальной величины определителя дисперсионной матрицы C эквивалентно требованию максимальной величины определителя информационной матрицы $M = (F^T F)$. Таким образом, оптимальный план ε^* , удовлетворяющий критерию D-оптимальности, может быть определен с помощью следующих эквивалентных условий:

$$|C(\varepsilon^*)| = \min_{\varepsilon \in Q_X} |C(\varepsilon)| = \min_{\varepsilon \in Q_X} |F^T F|^{-1}. \quad (5)$$

$$|M(\varepsilon^*)| = \max_{\varepsilon \in Q_X} |M(\varepsilon)| = \max_{\varepsilon \in Q_X} |F^T F|. \quad (6)$$

Экспериментальные планы могут быть определены в классе непрерывных, либо в классе точных планов.

Непрерывный D-оптимальный план концентрируется в ограниченном числе точек пространства планирования, которые составляют спектр плана, и определяется совокупностью величин:

$$\varepsilon = \left\{ \begin{array}{l} x_1, x_2, \dots, x_n \\ \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n \end{array} \right\}, \quad (7)$$

где $x_i, i=1, 2, \dots, n$ – точки спектра плана, а $\xi_i, i=1, 2, \dots, n$ – частоты проведения наблюдений в соответствующих точках спектра.

Непрерывный D-оптимальный план не связан с каким-либо конкретным числом наблюдений, он задает распределение имеющихся ресурсов по точкам спектра плана. В большинстве случаев Непрерывный оптимальный план в большинстве случаев используется как эталон для определения степени приближения экспериментального плана к оптимальному плану. В практических ситуациях необходимо задать конкретное число наблюдений N и построить точный оптимальный план в смысле заданного критерия.

Точный D-оптимальный план, то есть план, оптимальный при заданном числе наблюдений N , и концентрирующийся в ограниченном числе точек пространства планирования, определяется совокупностью величин:

$$\varepsilon = \left\{ \begin{array}{l} x_1, x_2, \dots, x_n \\ r_1, r_2, \dots, r_n \end{array} \right\}, \quad (8)$$

где $r_i, i=1, 2, \dots, n$ – число наблюдений в точках x_i спектра плана.

Задача построения точного оптимального плана заключается в определении такого расположения заданного числа N экспериментальных точек в пространстве планирования, при котором выполнялся бы критерий (5) или (6). Заметим, однако, что прямой поиск $\min_{\varepsilon_N \in Q_X} |C(\varepsilon_N)|$ или $\max_{\varepsilon_N \in Q_X} |M(\varepsilon_N)|$ связан с необходимостью решения многоэкстремальной задачи в пространстве большой размерности. Поэтому в большинстве практических ситуаций используются методы, позволяющие получить точные планы, близкие к оптимальным, и не требующие решения многомерных многоэкстремальных задач. С вычислительной точки зрения вместо прямого поиска экстремума (5) или (6) оказывается выгоднее построить непрерывный оптимальный план и произвести его округление до точного плана. Кроме этого, существуют каталоги непрерывных D-оптимальных планов, на основании которых могут быть получены соответствующие точные планы.

Если непрерывный план известен, а заданное число наблюдений много больше числа точек спектра непрерывного плана ($N \gg n$), то возможна следующая процедура округления его до точного плана.

Строится точный план ε_N со спектром, совпадающим со спектром непрерывного D-оптимального плана ε^* и с размещением наблюдений

$$ri = \xi_i N = [(N-n) \xi_i^*] + , i=1,2,\dots,n. \quad (9)$$

Здесь ξ_i и ξ_i^* - частоты в i – й точке спектра для точного и непрерывного планов соответственно; $[a]^+$ означает наименьшее целое число, для которого $[a]^+ \geq a$. Для этого плана

$$\sum_{i=1}^n [(N-n) \xi_i^*] < N, \quad (10)$$

поэтому оставшееся число наблюдений можно добавить по одному в точки, где

$$[(N-n) \xi_i^*] \geq [(N-n) \xi_i^*] - 0,5.$$

Указанный способ округления непрерывных планов до точных планов при $N \gg n$ может быть применен без существенного влияния на точность полученных результатов. При этом определитель информационной матрицы точного плана отличается от определителя информационной матрицы соответствующего непрерывного плана на величину порядка $1/N$. В случае, если $N < n$, этот способ округления непрерывных планов неприменим вообще.

Заметим, что число точек спектра непрерывного D-оптимального плана заключено в пределах

$$k \leq n \leq k(k+1)/2 \quad (11)$$

Это означает, что непрерывные D-оптимальные планы могут иметь в спектре число точек, значительно превышающее число неизвестных коэффициентов уравнения регрессии. В то же время может оказаться необходимым построение точного D-оптимального плана с числом точек N , соизмеримым с числом оцениваемых коэффициентов и заключенным в пределах $k \leq N < n$.

Для построения точных планов, близких к D-оптимальным и содержащих только точки спектра соответствующего непрерывного D-оптимального плана для заданного вида регрессионного уравнения, может быть предложена следующая процедура.

1. Задается произвольная выборка объема N из спектра соответствующего непрерывного D-оптимального плана, т.е. формируется начальный N -точечный план

$\varepsilon N 0$ с информационной матрицей $M(\varepsilon N 0)$. При этом множество точек спектра непрерывного плана оказывается разбитым на два подмножества: x_i , $i=1,2,\dots,N$, составившие начальный план $\varepsilon N 0$ и x_j , $j=N+1,N+2,\dots,n$, не вошедшие в него.

2. Каждая точка x_i , $i=1,2,\dots,N$ начального плана $\varepsilon N 0$ последовательно заменяется на одну из оставшихся $n-N$ точек x_j , $j=N+1,N+2,\dots,n$ спектра непрерывного плана. Для этого из начального плана $\varepsilon N 0$ отбрасывается одна из точек x_i , $i=1,2,\dots,N$ и формируется план $\varepsilon N-1 0$ с информационной матрицей

$$M(\varepsilon^0(N-1)) = M(\varepsilon^0(N)) - f(x_i) f^T(x_i).$$

Далее в полученный план $\varepsilon N-1 0$ поочередно добавляются точки из подмножества x_j , $j=N+1,N+2,\dots,n$. После каждой такой замены вычисляется определитель информационной матрицы

$$M(\varepsilon^0(N)) = M(\varepsilon^0(N-1)) + f(x_j) f^T(x_j).$$

3. Точка x_j^* , дающая максимальное значение определителя

$$\max_{x_j \in Q_x} |M(\varepsilon^0(N-1)) + f(x_j) f^T(x_j)|,$$

окончательно включается в план $\varepsilon N-1 0$ и получается план $\varepsilon N 1$ с информационной матрицей

$$M(\varepsilon^1(N)) = M(\varepsilon^0(N-1)) + f(x_j^*) f^T(x_j^*).$$

4. Действия пунктов 2 и 3 повторяются с полученным на предыдущих этапах планом ε^N до тех пор, пока происходит увеличение определителя информационной матрицы.

5. Останов по предлагаемой процедуре построения точных D-оптимальных планов выполняется после полного перебора всех точек исходного плана.

6. Данные операции повторяются с различными начальными выборками из спектра непрерывного D-оптимального плана, и выбирается план, в наибольшей степени удовлетворяющий критерию D-оптимальности.

В результате многократного проведения предлагаемой процедуры построения точных D-оптимальных планов будет получена последовательность планов, удовлетворяющих неравенствам

$$\left| M(\varepsilon^0(N)) \right| \leq \left| M(\varepsilon^1(N)) \right| \leq \dots \leq \left| M(\varepsilon^s(N)) \right|. \quad (12)$$

Сходимость данной последовательности вытекает из существования верхней границы, равной определителю информационной матрицы точного оптимального плана.

Библиографический список

1. Айвазян С.А. Основы эконометрики. – М.:ЮНИТИ-ДАНА, 2001. — 432 с.
2. Введение в теорию планирования эксперимента: учеб. пособие / Н. И. Сидняев, Н. Т. Вилисова. - М. : Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2011. - 463 с.

УДК 681.518.25; ГРНТИ 50.03.03

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ

Р.Н. Фадеев

*Владимирский государственный университет,
Россия, Владимир, fadeevroman.shua@gmail.com*

Аннотация. Рассмотрены отдельные аспекты совершенствования систем управления промышленными технологическими процессами. Автор анализирует основные направления развития алгоритмов управления технологическими процессами с прогнозирующей моделью. Приводится последовательность действий, которая реализуется в процессе управления с предиктивной моделью. Отмечается, что эффективность управления зависит от точности модели, функционирование которой обеспечивают виртуальные анализаторы. В заключение приводится схема, отражающая место виртуальных анализаторов в АСУ ТП.

Ключевые слова: автоматическое управление технологическим процессом, виртуальный анализатор, предиктивная модель.

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESS CONTROL SYSTEMS BASED ON PREDICTIVE MODELS

R.N. Fadeev

*Vladimir State University,
Russia, Vladimir, fadeevroman.shua@gmail.com*

The summary. The work considers the issue of improving industrial process control systems. The author analyzes the main directions of development of technological process control algorithms with a predictive model. The sequence of actions in the control process with the predictive model is considered. It is noted that the control efficiency depends on the accuracy of the built model, and the software and algorithmic complexes that form these models and ensure their functioning are called virtual analyzers. It concludes with a diagram showing the location of the virtual analyzers in the automatic process control system.

Keywords: automatic process control, predictive model, virtual analyzer.

В настоящее время все чаще говорят о том, что дефицит кадров стал главной проблемой российской экономики. Машиностроение – отрасль, которая ощущает эту проблему особенно остро [1]. Автоматизация технологических процессов и производств – один из способов решения проблемы кадрового голода. Внедрять автоматизированные и роботизированные решения в 2024 году планирует 75 % промышленных компаний [2]. Наряду с созданием автоматизированных производств важно исследовать пути совершенствования систем управления технологическими процессами.

На современном производстве для автоматического управления технологическим процессом все чаще используется управление с предиктивной моделью. Его эффективность зависит от точности построенной модели, позволяющей прогнозировать поведение объекта.

В процессе управления реализуется последовательность действий, изображенная на схеме (рисунок 1).

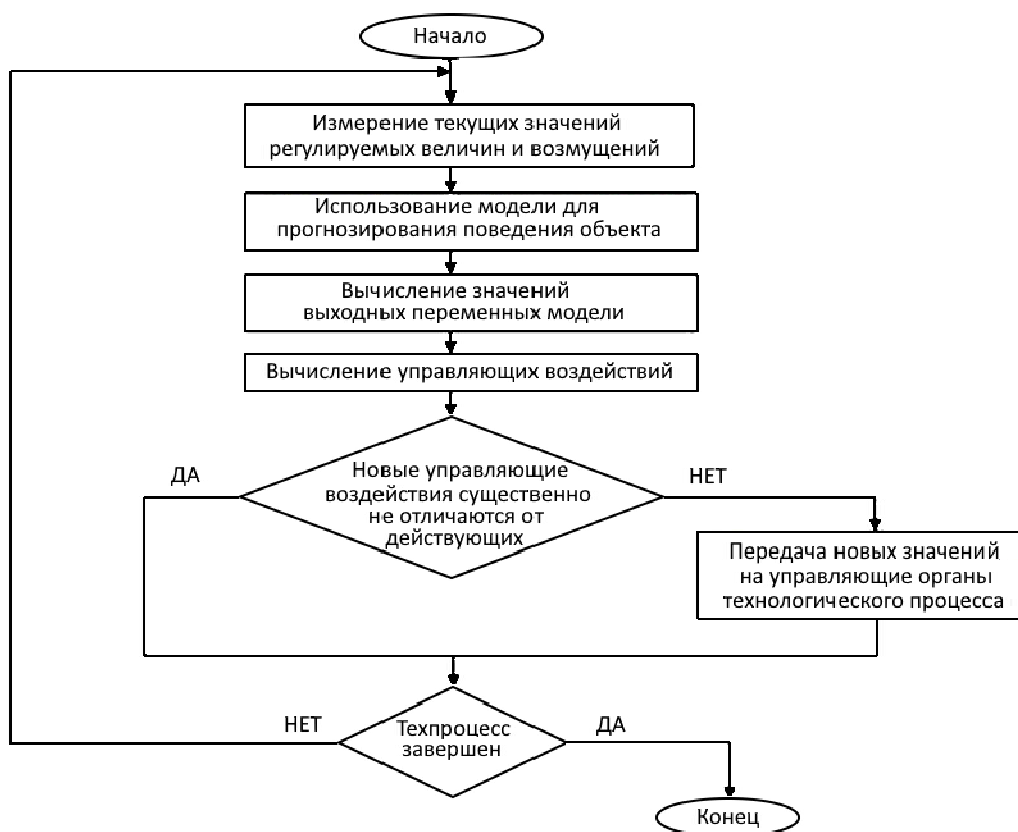


Рис. 1. Схема управления технологическим процессом на основе предиктивной модели

В исследованиях отмечается, что в последние годы алгоритмы управления с линейной прогнозирующей моделью не могут соответствовать возрастающим требованиям сложных промышленных технологических процессов к точности и эффективности управления.

Результаты анализа основных направлений развития алгоритмов управления технологическими процессами с прогнозирующей моделью отражены в таблице (таблица 1).

Модели, реализуемые и функционирующие с помощью специальных программных средств получили название виртуальных анализаторов (в англоязычной литературе: Soft Sensor, Inferential Sensor, Virtual Online Analyser).

Концептуальные основы построения виртуальных анализаторов (ВА) изложены в работах Бахтадзе Н.Н., Мусаева А.А., Торгашова А.Ю. [3 – 5]. Исследователи рассматривают функциональное назначение и типы виртуальных анализаторов, отмечают, что ВА являются алгоритмической основой оперативных систем управления производством.

Таблица 1. Направления развития алгоритмов управления технологическими процессами с прогнозирующей моделью.

Направление развития	Краткая характеристика
Управление нелинейными технологическими процессами на основе предиктивных моделей	Оптимальное управление формируется после линеаризации нелинейной модели.
Стохастическое управление с предиктивной моделью	<p>Оптимизационная задача формулируется аналогично задаче при управлении с линейной прогнозирующей моделью, но используются стохастические ограничения на прогнозируемые выходы системы управления. Разработаны различные подходы к решению задачи, например [6, 7, 8]:</p> <ul style="list-style-type: none"> • «Построение стохастических трубок». <p>Авторы отмечают, что при этом возможно обеспечить низкую вычислительную нагрузку в режиме онлайн даже для длинных горизонтов прогнозирования, гарантировать удовлетворение ограничений, робастность системы управления.</p> <ul style="list-style-type: none"> • «Сценарный подход». <p>Получают подходящее приближение к оптимизационной задаче на основе «сценариев». «Сценарии» генерируются с использованием вычислительных ресурсов в режиме реального функционирования исследуемого объекта.</p>
Проектирование эффективного ПИД-регулятора на основе алгоритма прогнозирующего функционального управления	<p>В теории автоматического управления рассматриваются системы с запаздыванием. Запаздывание дестабилизирует классические контуры ПИД-регулирования.</p> <p>В 1957 году Смит предложил структуру регулятора для управления объектами с запаздыванием. Необходимость точного знания всех параметров системы можно считать недостатком такого подхода при работе с процессами с задержкой по времени.</p> <p>Исследователями предложен способ проектирования ПИД-регулирования с помощью прогнозирующего функционального управления (РФС). Новый ПИД-регулятор имеет одновременно высокую эффективность алгоритма РФС и структуру как у традиционных ПИД-регуляторов [9].</p>
Управление с нечеткой предиктивной моделью	Прогнозирующая модель строится с использованием методов теории нечетких множеств. Нелинейная система делится на совокупность «почти линейных» подсистем. На основе нечеткой логики для каждой подсистемы создается квазилинейная эмпирическая модель. Взвешенная сумма выходов всех квазилинейных моделей определяет поведение всей системы.
Адаптивное управление с предиктивной моделью	Качество прогнозирующей модели играет важную роль в процессе управления. Адаптивное управление предполагает обновление модели в процессе функционирования объекта. В режиме реального времени обновляются оценки параметров системы и вырабатывается управляющее воздействие.
Предиктивное управление с использованием нейронных сетей	<p>Для прогноза динамики технологического процесса используется не модель, а нейронная сеть.</p> <p>Имеются исследования [10] не только указывающие на результативность и эффективность нейросетевого предиктивного управления, но и отмечающие недостатки нейронных сетей. Авторы считают, что это несовершенство критериев выбора длительности обучения, числа нейронов в сети; отсутствие возможности прогнозирования погрешности регулирования для входных параметров, которые не входили в dataset.</p>
Управление с использованием ассоциативных идентификационных моделей	<p>Применяется интеллектуальный анализ данных функционирования объекта управления, для которого создается база индуктивных знаний [11]. Особенность ассоциативной модели заключается в формировании на каждом такте новой модели с использованием обновляемой и уточняемой с течением времени базы знаний технологического процесса.</p> <p>Авторами исследования предложено применение метода ассоциативного поиска с использованием вейвлет-преобразования для идентификации нестационарных процессов управления [11].</p>

Данными для работы виртуального анализатора являются показания системы контрольно-измерительных средств (КИС); результаты анализов производственной лаборатории; технологические знания, которые хранятся в базе данных и аккумулированные в процессе управления технологическим процессом.

На рисунке (рисунок 2) отражено взаимодействие технологического процесса, АСУ ТП и виртуального анализатора.

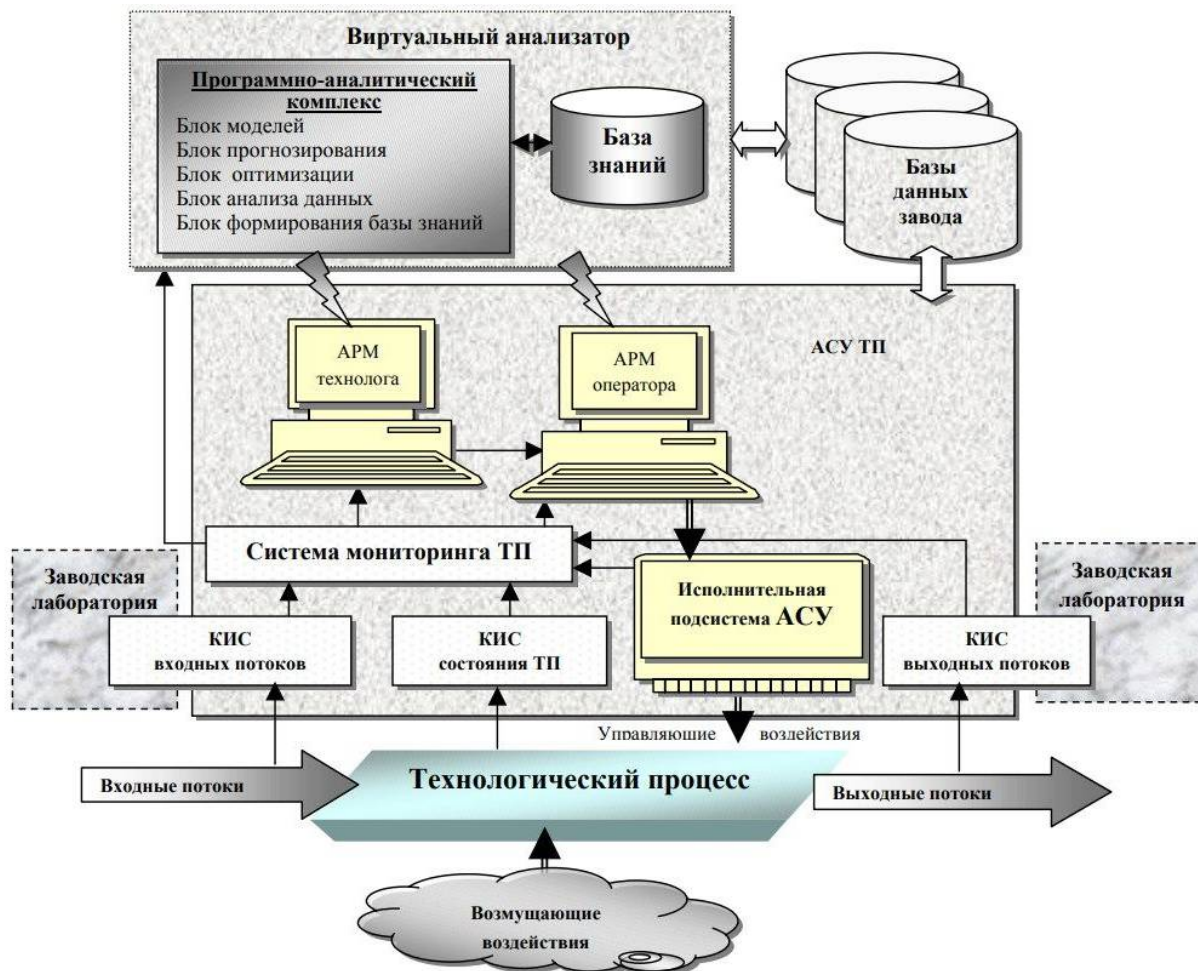


Рис. 2. Схема взаимодействия технологического процесса, АСУ ТП и виртуального анализатора

Проведенный анализ исследований и содержащиеся в них примеры проектирования АСУ ТП, внедрение разработанных методов и алгоритмов на промышленных объектах позволяют говорить о том, что усовершенствованное управление технологическим процессом с прогнозирующей моделью повышает эффективность работы предприятий за счет ряда факторов.

Библиографический список

1. <https://www.vedomosti.ru/economics/articles/2023/11/10/1005070-pochemu-kadrovii-defitsit-stal-glavnoi-problemoi-ekonomiki>. – Дата доступа: 21.02.2024.
2. <https://thehrd.ru/news/75-kompanij-v-borbe-s-deficitom-kadrov-sdelali-stavku-na-avtomatizaciyu/>. – Дата доступа: 21.02.2024.
3. Бахтадзе Н. Н. Виртуальные анализаторы (идентификационный подход) // Автоматика и телемеханика. – 2004. – № 11. – С. 3-24.

4. Мусаев А. А. Виртуальные анализаторы: концепция построения и применения в задачах управления непрерывными технологическими процессами // Автоматизация в промышленности. – 2003. – № 8, – С. 28-33.
5. Торгашов А. Ю., Гончаров А. А., Самотылова С. А. Современные методы построения систем усовершенствованного управления технологическими процессами // Вестник Дальневосточного Отделения Российской Академии Наук. – 2016. – № 4. – С. 102-107.
6. Cannon M., Kouvaritakis B., Rakovi´c S. V., Cheng Q. Stochastic tubes in model predictive control with probabilistic constraints // IEEE Trans. Autom. Contr. – 2011. – Vol. 56. – P. 194–200.
7. Calafiore G.C., Fagiano L. Stochastic model predictive control of LPV systems via scenario optimization // Automatica. – 2013. – Vol.49. – P. 1861–1866.
8. Garifi K., Baker K., Touri B., Christensen D. Stochastic model predictive control for demand response in a home energy management system // IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM). – 2018. – P. 1–5.
9. Zhang J. Design of a new PID controller using predictive functional control optimization for chamber pressure in a coke furnace // ISA Transactions. – 2017. – Vol. 67. – P. 208–214.
10. Spielberg S., Kumar P., Tulsyan A. A Deep Learning Architecture for Predictive Control // IFAC 2018. – Vol. 51. – № 18. – P. 512–517.
11. Черешко А. А., Титкина М. С. Применение алгоритмов ассоциативного поиска в системах управления с прогнозирующей моделью // Автоматизация в промышленности. – 2022. – № 6. – С. 58-62.

УДК 621.396; ГРНТИ 47.47

ОСОБЕННОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ СТАНКА ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ С ЧПУ

Д.В. Белоусов, Н.В. Грибов, О.В. Миловзоров

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, belousovdenis2020@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматриваются способы модернизации станка плазменной резки с ЧПУ. Описываются принцип работы логики системы ЧПУ, приводится описание модернизируемых комплектующих станка с ЧПУ.

Ключевые слова: станок ЧПУ, система чпу, Ladder Diagram, модернизация системы ЧПУ, программа логики ЧПУ, плазменная резка.

FEATURES OF MODERNIZATION OF THE CNC PLASMA CUTTING MACHINE

D.V. Belousov, N.V. Gribov, O.V. Milovzorov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian, Ryazan, belousovdenis2020@yandex.ru*

The summary. The paper considers ways to modernize a CNC plasma cutting machine. The principle of operation of the logic of the CNC system is described, a description of the upgraded components of the CNC machine is given.

Keywords: CNC machine, CNC system, Ladder Diagram, modernization of the CNC system, CNC logic program, plasma cutting.

Основополагающими факторами современного производства являются КПД производства, экономическая эффективность. Данные факторы являются основополагающими в развитии производства машиностроения. Эффективность по мере работы производства необходимо всегда повышать. Сейчас для повышения эффективности производства внедряются и разрабатываются различные новые технологии, которые способствуют производить изделия, отвечающие всем современным требованиям. Одним из значимым изобретением, которое позволило повысить эффективность производства в несколько раз, является внедрение в производство автоматизированных комплексов. К автоматизированным комплексам можно отнести и станки с ЧПУ, без которых современное производство не представляется возможным. По истечению времени станки с ЧПУ на предприятиях деградируют, так как технологический прогресс не стоит на месте. У новых моделей станков повышается точность обра-

ботки изделий, а также добавляются новые функции и возможности. В современное время на предприятиях действия по модернизации старых моделей станков с ЧПУ стали очень распространены, так как благодаря этому предприятие избавляется от нужды в покупке нового оборудования [1].

В данной статье будет рассмотрен процесс модернизации станка с ЧПУ плазменной резки. Станок с ЧПУ плазменной резки необходим для раскроя листового проката. Процесс модернизации необходим из-за того, что у предприятия появились потребности в обработке деталей цилиндрической формы. Модернизация позволит не приобретать предприятию дополнительное оборудование в виде плазменного трубореза. Процесс модернизации будет заключаться в построении дополнительной оси вращения для осуществления процесса резки на цилиндрических поверхностях, а также в модернизации программы логики. Основные функции, которые должна выполнять четвёртая ось это вращение заготовки вокруг своей оси, закрепление заготовки в кулачковом патроне, вырезка плазматроном отверстий на поверхности, перемещение плазматрона в трех координатах x , y , z . Четвёртая ось будет располагаться отдельно от основного портала станка. В начале обработки заготовка будет закрепляться в трёх кулачковом патроне, дополнительную поддержку заготовке будет оказывать поддерживающие ролики, которые будут обеспечивать возможность вращения заготовки. Также необходимо обеспечить возможность поворота плазматрона, для возможности резки под углом. Примерный вид станка с ЧПУ плазменной резки после модернизации показан на рисунке 1.



Рис. 1. Примерный вид станка с ЧПУ плазменной резки после модернизации

Основной задачей при модернизации станка является разработка программы логики. Разработка программы логики подчиняется единому алгоритму. В начале разработки определяются с видом станка, для которого будет создаваться программа логики. Затем рассчитывают количество входных и выходных сигналов. Производят разработку размещения интерфейса. Разрабатывают цепную схему, благодаря которой можно определить, как взаимодействуют между собой основные узлы станка с ЧПУ. Далее наступает этап разработки программы логики, после того как этап разработки окончен, программу логики с помощью программатора загружают в память станка. Далее наступает этап отладки программы, если на этапе отладки возникают ошибки их с помощью программатора устраняют, также если к станку был разработан эмулятор, то процесс отладки программы можно осуществить на эмуляторе [2].

Разработанная блок схема управления показана на рисунке 2.

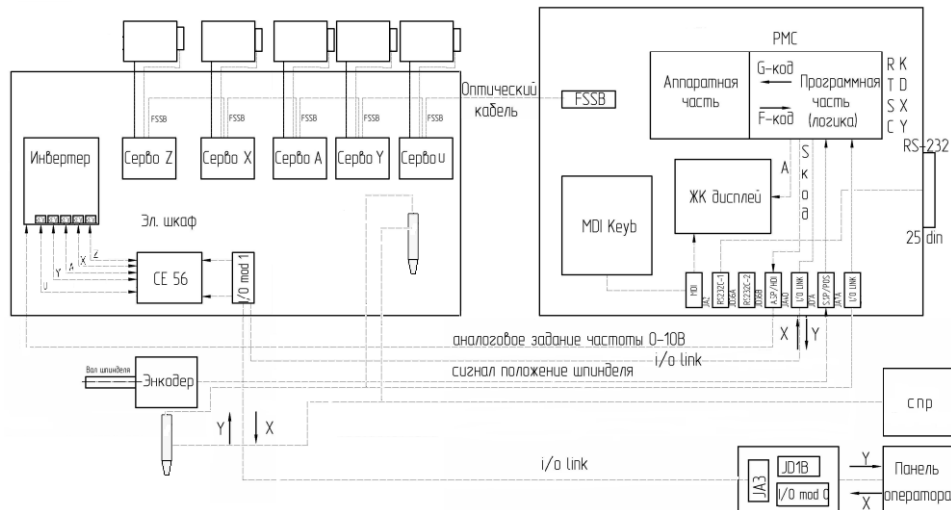


Рис. 2. Разработанная блок схема управления

Весь станок с ЧПУ состоит из трёх основных узлов: ЧПУ, РМС, Станок. ЧПУ – это система управления станком, которая включает в себя панель управления, экран мониторинга, материнскую плату, память, центральный программируемый контроллер (процессор). РМС – это материнская плата с процессором которая находится внутри ЧПУ, посредством шин, к материнской плате подключаются основные элементы ЧПУ. Станок – это исполнительные устройства такие как двигатели, датчики, плазматроны. Основные сигналы станка имеют двоичную систему счисления, такая система сигналов называется TTL-signal. Каждый сигнал, приходящий в контроллер это один бит или совокупность нескольких бит. Каждый адрес в системе имеет размер 1 байт. Все сигналы в системе ЧПУ можно разделить на группы. На рисунке 3 показаны основные части станка с ЧПУ и группы сигналов [3].

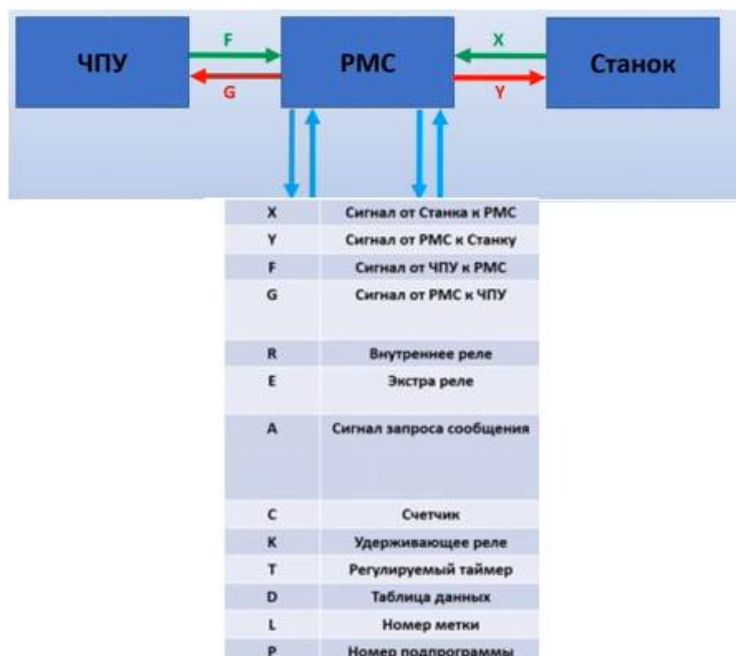


Рис. 3. Основные элементы станка с ЧПУ и группы сигналов

Разработка программы логики для дополнительной оси осуществляется в среде разработки Fanuc Ladder III. Язык программирования Ladder Diagram, данный язык программирования является достаточно распространённым для программирования логики ЧПУ. Основными элементами являются нормально замкнутые или нормально разомкнутые контакты, через которые поступают сигналы на исполнительные устройства станка. В зависимости от

того в какой последовательности будут разомкнуты или замкнуты контакты, зависит работа станка с ЧПУ. Программа логики ЧПУ делится на основную и вспомогательные подпрограммы. В данной статье описана основная программа логики станка плазменной резки с добавленной осью. Основная программа логики системы ЧПУ отвечает за ограничения перемещения осей, ведёт счёт координат перемещений осей, обрабатывает команду аварийного стопа.

Далее проведём анализ основной части программы логики системы ЧПУ.

На рисунке 4 показан участок основной программы логики ЧПУ, который отвечает за аварийный стоп всех осей станка.

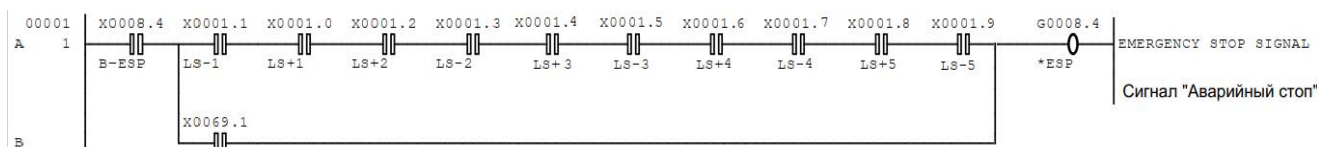


Рис. 4. Участок основной программы, отвечающий за аварийный стоп

Принцип работы данного участка программы заключается в следующем: оператор, при необходимости физически нажимает на кнопку аварийного стопа, которая располагается на панели управления. Кнопка в программе обозначается как контакт В-ESP (кнопка аварийной остановки). При нажатии на кнопку происходит размыкание основных силовых контактов, при размыкании которых происходит полная остановка работы станка. Кнопка встаёт на самоблокировку и остаётся в таком положении, пока оператор не начнёт работу заново. Контакты LS-, LS+ являются концевыми выключателями [4].

Библиографический список

1. Чередниченко, В. С. Плазменные электротехнологические установки: учебник для вузов / В. С. Чередниченко, А. С. Анынаков, М. Г. Кузьмин. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2011. – 600 с. – ISBN 978-5-7782-1576-4. – Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/45134.html>
2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации Кристалл – СПб.: Производственно-коммерческая фирма Кристалл, 2014. – 48 с.
3. Современные технологии в науке и образовании. Научное издание в 10 томах. Том 6. Под общей редакцией Миловзорова О. В., 2023. – 216 с.
4. FANUC PMC Руководство по языку программирования цепной схемы – Москва: Официальный представитель FANUC Russia, 2014. – 1682 с.

УДК 004.732; ГРНТИ 49.37.29

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СЕТЕВЫХ АДРЕСОВ И ОТОБРАЖЕНИЯ ПОРТОВ

И.В. Фокин, И.Н. Романов

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, vanek_1010@mail.ru

Аннотация. Обход с преобразованием сетевых адресов (NAT) является критически важной технологией для потоковой передачи видео в реальном времени между двумя конечными точками. Алгоритм прогнозирования портов правила сопоставления NAT является ядром обхода NAT. Однако большинство алгоритмов прогнозирования портов в методе обхода NAT слишком просты или неясны. Поведение отображения портов NAT на устройствах в реальных сетевых средах является сложным и не может быть точно предсказано. В этом исследовании было изучено поведение отображения портов NAT и создана математическая модель для повышения предсказуемости портов NAT и увеличения успеха скорости прохождения NAT.

Ключевые слова: сетевой адрес, трансляция сетевых адресов, математическая модель, функция перехода.

MATHEMATICAL MODEL OF NETWORK ADDRESS TRANSLATION PORT MAPPING

I.V. Fokin, I.N. Romanov

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, vanek_1010@mail.ru

The summary. Network address translation (NAT) traversal is a critical technology for real-time video streaming between two endpoints. The port predictive algorithm of the NAT mapping rule is the core of NAT traversal. However, most port predictive algorithms in the NAT traversal method are too simple or unclear. The behavior of NAT port mapping in devices in real network environments is complex and cannot be accurately predicted. In this study, NAT port mapping behavior was examined and a mathematical model was established to enhance the port predictability of NAT and increase the success rate of NAT traversal.

Keywords: network address, network address translation, mathematical model, transition function.

Введение

В настоящее время IP-адреса в сети IPv4 часто сталкиваются с проблемой неадекватного распределения. Таким образом, трансляция сетевых адресов (NAT) приобретает все большую популярность [1, 2]. Хотя IPv6, возможно, сможет решить проблемы в будущем, государственным службам и корпорациям по-прежнему требуются простые системы брандмауэров, такие как NAT, поэтому существование NAT никуда не исчезнет. Более того, перенос всех сетевых компонентов с IPv4 на IPv6 является дорогостоящим, и, следовательно, разработка IPv6 потребует длительного времени.

В среде NAT значительно затруднена прямая передача пакетов между двумя конечными точками. Наиболее распространенным решением является сервер ретрансляции, который представляет собой негативное технологическое решение проблемы; передача данных в виде потокового видео и передача через сервер ретрансляции может привести к значительным затратам на пропускную способность.

Чтобы улучшить алгоритм обхода NAT и достичь прямой связи P2P, доступная в настоящее время технология требует, чтобы оба пользователя отправляли свой пакет для прогнозирования правил сопоставления портов локального NAT. То затем между двумя конечными точками осуществляется обмен информацией о следующем прогнозируемом порту. Наконец, достигается обход NAT и прямая передача данных между двумя конечными точками. Это исследование было сосредоточено на анализе правил отображения портов для конкретных NAT и повышает вероятность успешного прохождения NAT по сравнению с существующими методами.

Анализ портов преобразования сетевых адресов.

В этом исследовании были использованы два метода тестирования для анализа поведения сопоставления портов NAT. Первый метод - это "несколько клиентских сокетов к одному сервисному порту", а другой метод - "один клиентский сокет к нескольким сервисным портам", такой как STUN. Два метода, использованные в этом исследовании, были основаны на первом методе; однако в конкретных случаях NAT только второй метод мог определить правило отображения и функционировать бесперебойно. Эти два метода, представленные на рисунке 1, были использованы для анализа и создания математической модели.

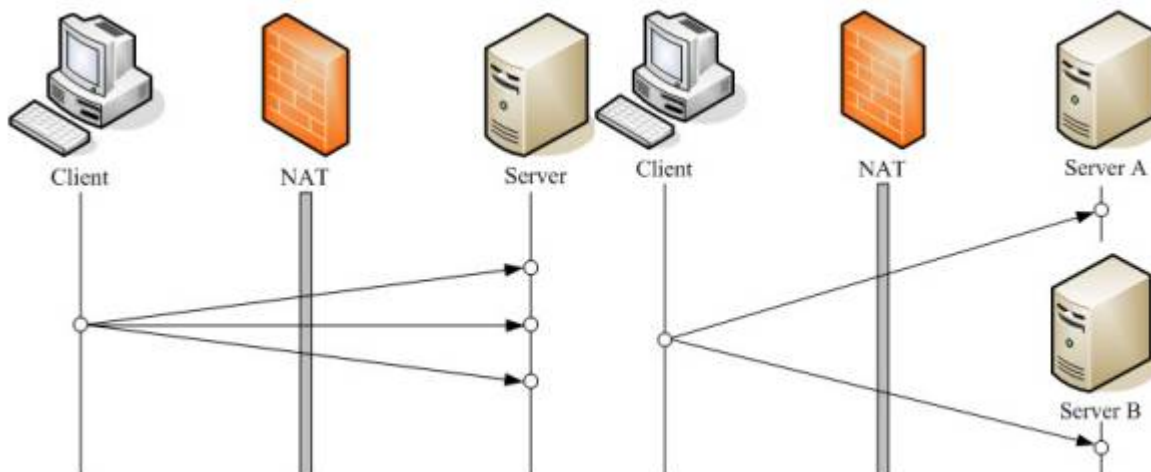


Рис. 1. Два метода тестирования поведения порта NAT

Линейное и нелинейное отображение портов

На рисунке 2 представлены значения портов для каждого нового сеанса для ASUS RX3081. Правило отображения портов большинства NAT является линейным и может быть выражено с помощью простого линейного уравнения. Более того, наклон этого линейного уравнения или размер шага сопоставления портов равен 1, который используется большинством производителей NAT. Таким образом, большинство традиционных методов используют линейный режим для выполнения обхода NAT.

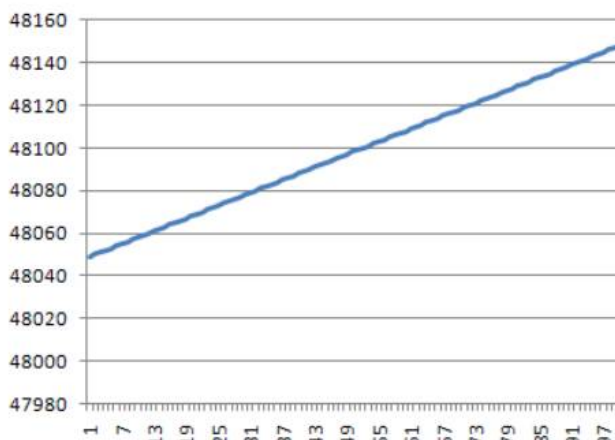


Рис. 2. Запись о подключении порта от ASUS RX3081

Однако некоторые производители, такие как AboCom FSM410, представленный на рисунке 3, используют нелинейное отображение портов, которое аналогично случайному или двухуровневому линейному отображению портов. Можно определить два свойства; первое увеличивается, а затем уменьшается; второе увеличивается впоследствии. Это явление называется “функцией скачка”.



Рис. 3. Запись о сопоставлении порта с AboCom FSM410

Функция перехода N-го порядка

На рисунке 3 каждый порт отображения для нового сеанса назван как набор $x[n]$, и каждая последовательность содержит только два типа шагов. Таким образом, для соответствия этим значениям может быть назначена функция перехода второго порядка. Если существует N типов шага, он определяется как функция перехода N -го порядка. Различные типы шага могут быть индивидуально введены в набор $dif[n]$. Например, в случае с рисунком 3 функция второго порядка, если $[n]$ равно $\{+12, -4\}$. На рисунке 4 показаны вспомогательные линии для облегчения анализа.



Рис. 4. Вспомогательные линии на рисунке 3

Функция перехода второго порядка содержит две линейные вспомогательные линии; следовательно, функция перехода N -го порядка содержит N линейных вспомогательных линий, параллельных друг другу. Это означает, что функция перехода имеет основной наклон M для всех параллельных вспомогательных линий. Каждая линейная вспомогательная линия имеет y -образный перехват и может быть введена в набор $V[n]$. Например, значения $V[n]$ равны $\{33184, 33196\}$ в случае рисунка 3. Более того, $V[n]$ может быть получено с помощью (1), где b - первое значение последовательности.

$$V[n] = b + \sum_{k=1}^n dif[k] \quad (1)$$

$$0 < n < N$$

Основной наклон M может быть получен из $dif[n]$, как показано в следующем уравнении:

$$M = \sum_{k=0}^{N-1} dif[k] \quad (2)$$

Чтобы получить общую математическую модель, все вспомогательные линейные уравнения должны быть объединены в одну простую формулу для описания $x[n]$. Следующее уравнение описывает функцию перехода N -го порядка, где $A \bmod B =$ остаток от A при делении на B :

$$x(n) = \frac{M(n - n \bmod N)}{N} + B(n \bmod N) \quad (3)$$

Когда $N = 1$, $B[n]$ содержит только одно значение: начальное значение b . Значения $[n]$ также содержат только одно значение, поскольку значение $(n \bmod 1)$ всегда равно 0. Уравнение можно упростить до линейного уравнения $x[n] = Mn + b$. Следовательно, функция перехода первого порядка также является линейной функцией.

Проверка системы переходов N -го порядка

Обычно требуется по меньшей мере три значения, чтобы определить, принадлежит ли числовой ряд линейному уравнению. Линейное уравнение используется для определения первых двух значений. Третье значение проверяет, является ли этот числовой ряд линейным. Это критический метод для проверки системы линейных уравнений.

Более того, проверка системы переходных функций N -го порядка также имеет решающее значение. Функция перехода N -го порядка содержит N линейных уравнений. Для проверки функции перехода и создания функции, которая требуется две N точек. Линейное уравнение может быть проверено с использованием наклона. Функция скачка может быть проверена аналогичным образом. Уравнение M может быть получено с использованием (3).

$$M = \frac{N(x(n) - B(n \bmod N))}{n - n \bmod N} \quad (4)$$

В уравнении наклона, выраженном в (4), нам нужно проверить N раз для функции скачка N -го порядка. Значения имени и фамилии являются проверенными точками, так что p равно $(3N-1)$, $(3N-2)$, ..., $[(3N-N) = 2N]$ соответственно.

Система не является функцией перехода N -го порядка, если результат теста не равен наклону, полученному с использованием первых двух N точек после N -кратного процесса проверки. Он может быть выше N -го порядка.

В этом исследовании был разработан протокол, основанный на методе “один клиентский сокет к нескольким сервисным портам”, посредством чего клиент отправляет пакет и получает ответный пакет со стороны сервера. Этот ответный пакет информирует клиента, находящегося за NAT, и разъясняет ситуацию с сопоставлением портов локального NAT. Затем клиент может проанализировать функцию перехода. Блок-схема клиента может быть спроектирована так, как показано на рисунке 5, где “Jmp” указывает на функцию перехода.

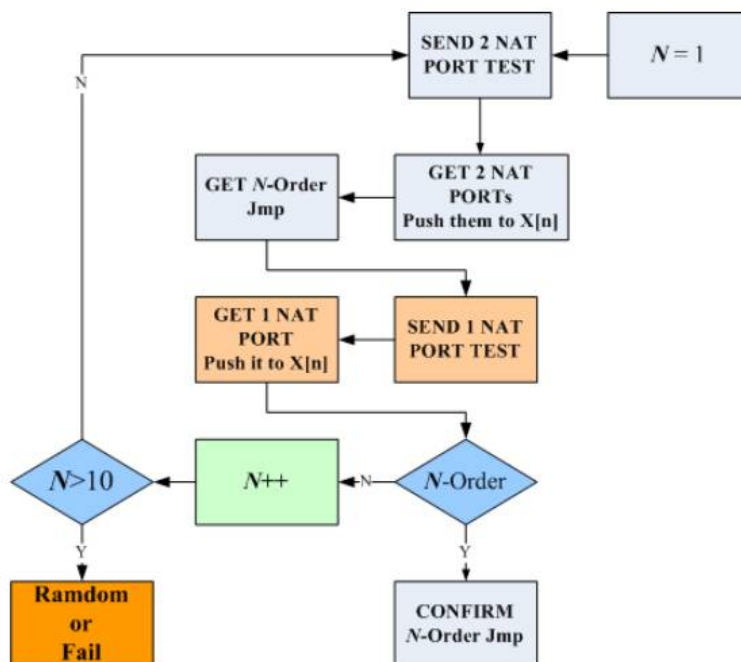


Рис. 5. Блок-схема для расчета системы перехода по порядку

Заключение

В этом исследовании была предложена функция перехода N -го порядка для прогнозирования конкретных NATs. Прогнозирующее уравнение выражено в (3) и (4). Предлагаемый метод явно превосходит традиционный метод линейного прогнозирования.

Библиографический список

1. Андреас Мюллер и Георг Карл, "Поведение и классификация устройств NAT", Мюнхенский технический университет, Андреас Кленк, Тюбингенский университет, 2008.
2. Розенберг, Вайнбергер, Уайтема и Махи, "STUN-простой обход UDP через NATs", RFC3489, IETF, март 2003.

УДК 681.625.9; ГРНТИ 55.29.33

РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ УЗЛОВ СПЕЦИАЛЬНОГО 3D ПРИНТЕРА ОРТ ТЕХ МЕД ДЛЯ МОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА СОЗДАНИЯ СРЕДСТВ РЕАБИЛИТАЦИИ ТРАВМИРОВАННЫХ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА (ЧАСТЬ 1)

А.О. Ермичёв

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, lenkov.m.v@rsreu.ru

Аннотация. В обзорной работе из двух частей рассмотрены конструкции основных узлов разработанного 3D принтера ОРТ М. В первой части рассмотрена оптимальная кинематика и конструкция приводов, механизм двух независимых печатающих голов и конструкция траверсы.

Ключевые слова: аддитивные технологии, филамент, DIRECT – экструдер, FDM технология, 3D принтер, прототипирование.

DEVELOPMENT OF THE MAIN COMPONENTS OF A SPECIAL 3D PRINTER ORT TECH MED FOR A MOBILE COMPLEX FOR THE CREATION OF MEANS OF REHABILITATION OF INJURED HUMAN LIMBS (PART 1)

A.O. Ermichev

Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin,
Russia, Ryazan, lenkov.m.v@rsreu.ru

Abstract. In a two-part review paper, the designs of the main components of the developed OTM M 3D printer are considered. In the first part, the optimal kinematics and design of the drives, the mechanism of two independent print heads and the design of the traverse are considered.

Keywords: additive technologies, filament, DIRECT extruder, FDM technology, 3D printer, prototyping.

За последние десятилетия развитие аддитивных технологий и прототипирования достигло значительного прогресса, открывая новые горизонты в машиностроении, аэрокосмической инженерии, био – мед – технологиях и многих других. Аддитивные технологии, также известные как трехмерная печать, являются процессом создания объектов путем последовательного нанесения материала в слоях на основе цифровой модели.

Одной из основных причин роста популярности аддитивных технологий является их способность создавать геометрически сложные и индивидуальные конструкции, которые традиционные методы производства не смогли бы достичь. Технологии трехмерной печати позволяют превратить в реальность сложные формы, архитектурные детали, прототипы изделий, индивидуальные ортопедические изделия и даже органы человеческого тела.

За последнее десятилетие произошел значительный прогресс в материалах, используемых в аддитивных процессах. Вместе с изменениями в процессах и оборудовании, производители стали разрабатывать новые материалы, включая металлы, пластмассы, керамику и даже органические материалы. Это расширило возможности и функциональность аддитивных технологий еще больше.

Однако, несмотря на значительные достижения в области аддитивных технологий и прототипирования, остаются вызовы и препятствия. Одной из главных проблем является высокая стоимость оборудования и материалов для трехмерной печати, что делает этот процесс недоступным для многих компаний и отраслей. Также существуют вопросы безопасности и надежности изделий, произведенных с помощью аддитивных технологий, которые требуют дальнейших исследований.

Разработанный 3D принтер OTM M (рис. 1) печатает изделия по FDM [1] или HYBRID ER технологии и в первую очередь рассчитан на изготовления изделий в био – медицинском кластере. Но также подходит для печати деталей, находящих своё применение в других отраслях.

Основные технические характеристики разработанного 3D принтера OTM M:

1. Метод печати – FDM/HYBRID ER (при автоматической смене печатающих голов).
2. Корпус принтера – закрытый (съёмный рабочий кабинет).
3. Материал печати – пластиковая нить (FDM), гранулы или полимер затвердевающий при воздействии УФ излучения в комбинации с пластиковой нитью (HYBRID ER).
4. Тип экструдера – Direct (FDM).
5. Область построения – 900 x 1040 x 110 Количество экструдеров – 2 шт.
6. Температура экструдера (°C) – 270 / 350 (опционально 450).
7. Температура стола (°C) – 120 (опционально 160).
8. Габариты станка с рабочим кабинетом и вспомогательным столом (Д – Ш – В) – 600 x 1440 x 1700.
9. Габариты станка без рабочего кабинета и вспомогательного стола (Д – Ш – В) – 1300 x 1400 x 500

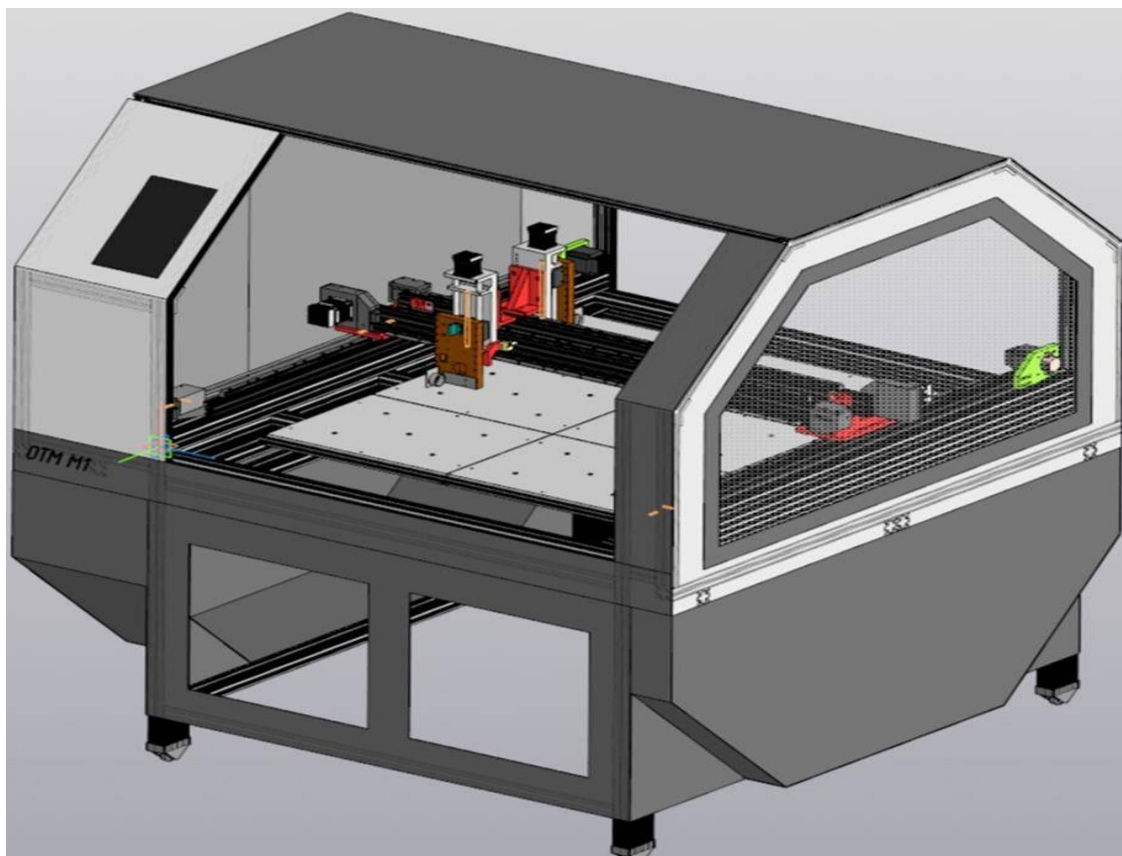


Рис. 1. Общий вид 3D принтера ОТМ М

Далее в обзорной статье из двух частей кратко будут рассмотрены модули основных узлов разработанного 3D принтера ОТМ М [2], а именно:

- Конструкция механизма двух независимых печатающих голов;
- Конструкция траверсы;
- Конструкция станины;
- Конструкция приводов;
- Конструкция стола;
- Конструкция печатающей головы.

Оптимальная кинематика и конструкция приводов

Кинематика 3D принтера ОТМ М представляет с собой не совсем стандартное решение для большинства 3D принтеров. В разработанном 3D принтере стол на котором осуществляется выращивание изделий закреплен на станине и является не подвижным узлом. А экструдер перемещается по трём координатам. По осям x и y конструктивно заложены направляющие типа качения рельсового типа с каретками, а по оси z направляющие качения цилиндрического типа.

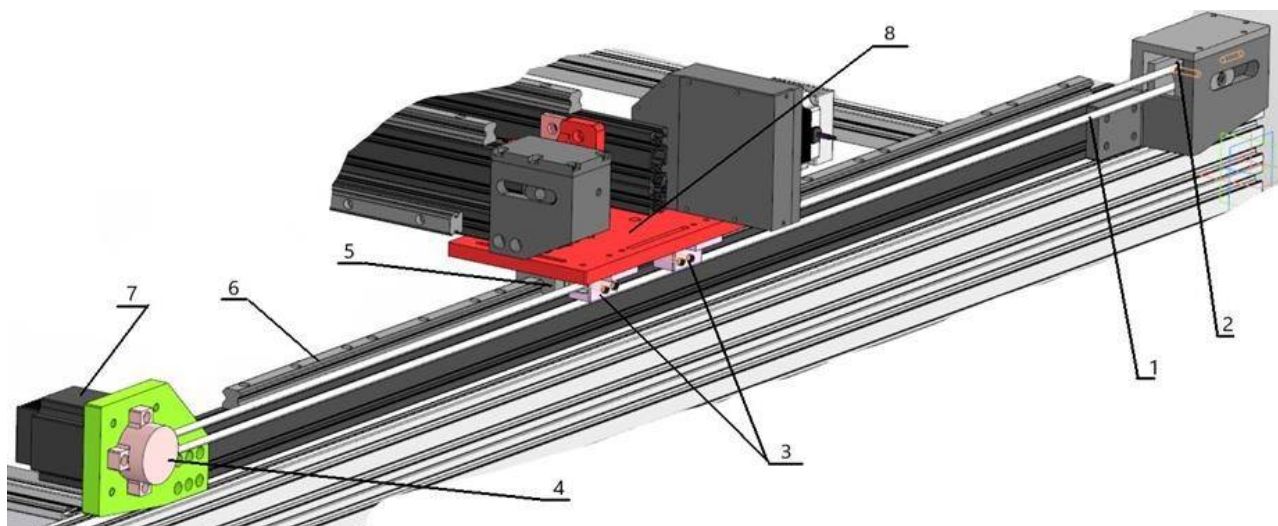


Рис. 2. Общий вид привода оси у и направляющих 3D принтера ОТМ М:
 1 – зубчатый ремень, 2 – модуль механической регулировки натяга ремня, 3 – комплекс зажимных механизмов зубчатого ремня, 4 – ведущий шкив, 5 – каретка, 6 – рельс с канавками под шарики, 7 – шаговый двигатель типа NEMA 24, 8 – корпус ху

Перемещение печатающей головы (рис. 2) по оси у осуществляется с помощью зубчатого ремня, перекинутого через ведущий зубчатый шкив шагового двигателя и ведомый шкив модуля механической регулировки натяга зубчатого ремня. С помощью комплекса зажимных механизмов, зубчатый ремень плотно зажат и прикреплен к корпусу ху. Всего на станине данного станка по оси у крепятся две направляющие, каждая со своим приводом и корпусом ху. К корпусам ху крепится траверса. Таким образом по оси у перемещается траверса со всеми приводами и направляющими осей х и у и самой печатающей головой.

Механизм двух независимых печатающих голов

В настоящее время уже существуют 3D принтера [3] с двумя независимыми экструдерами. Такая модернизация кинематики называется IDEX. Однако при такой кинематике экструдеры находятся на одной траверсе и перемещаются в одной плоскости. В разработанном принтере у каждого экструдера есть своя траверса, свои направляющие и привода. Перемещаются они в разных плоскостях (рис. 3), параллельных друг – другу.

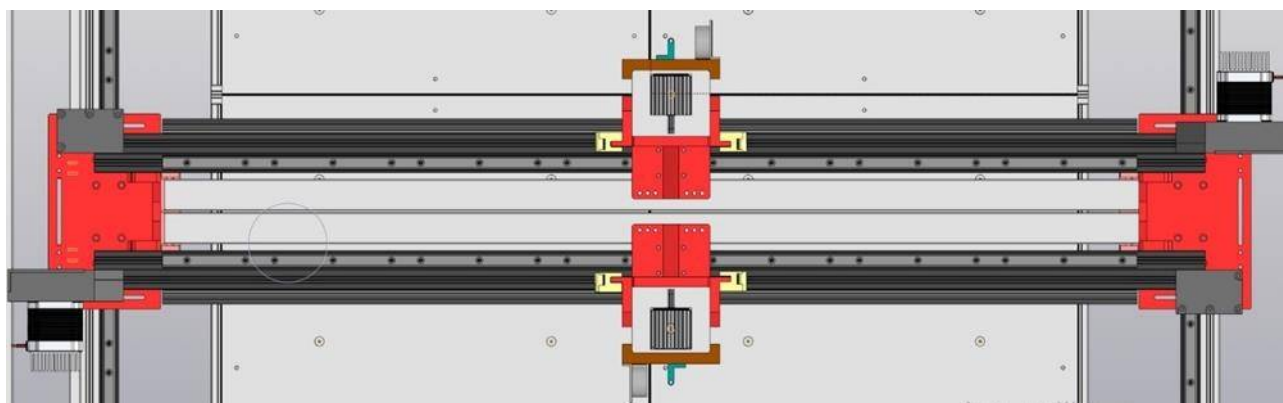


Рис. 3. Общий вид сверху механизма двух независимых печатающих голов

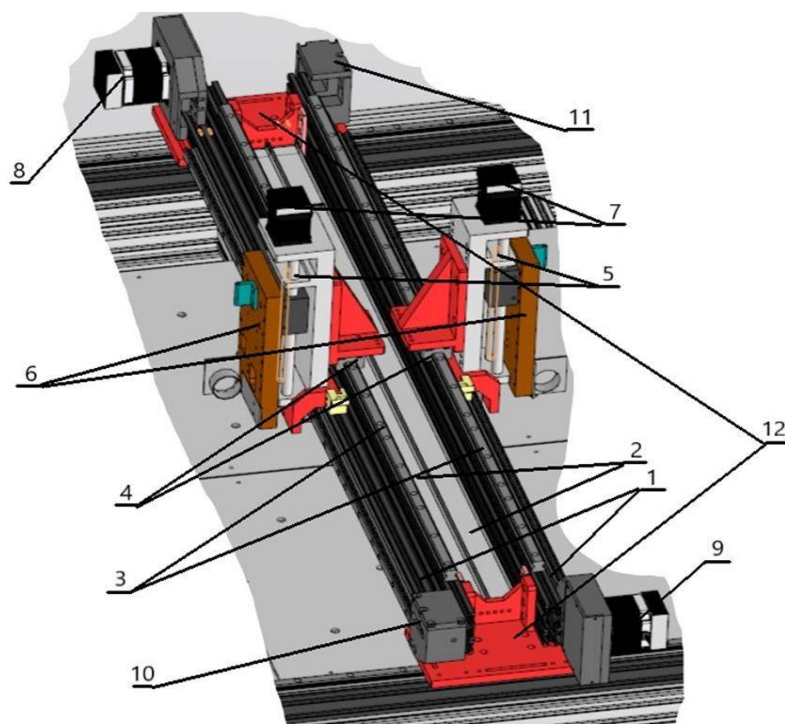


Рис. 4. Общий вид механизма двух независимых печатающих голов 3D принтера ОТМ М:
 1 – Траверсы x1 и x2, 2 – лотки кабельных каналов, 3 – рельсы, 4 – каретки,
 5 – модули линейного перемещения по осям z1 и z2, 6 – корпуса печатающих голов,
 7 – шаговые двигатели z1 z2, 8 – шаговый двигатель привода x1, 9 – шаговый двигатель привода x2,
 10 – модуль механической регулировки натяга ремня привода x1,
 11 – модуль механической регулировки натяга ремня привода x2, 12 – два корпуса ху

При печати изделий печатающие головы не пересекаются (рис. 4). При такой конфигурации по оси x соотношение длины хода печатающей головы к длине стола максимально, то есть используется по максимуму длина стола при относительно не больших габаритах самого станка, например, в обычной IDEX механике коэффициент отношения длины станка к длине стола в среднем равен 2 – 3. Тогда как в разработанной модели этот коэффициент равен 1.78. Также такая кинематика позволяет конструктивно сделать механизм смены печатающих голов более компактным.

Конструкция траверсы

Как уже было сказано выше в основе разработанного 3D принтера лежат две траверсы. Они полностью идентичны и взаимозаменяемы. В разрезе траверса имеет Г – образный профиль. На каждой траверсе по две рельсы и каретки. Конструктивно траверса состоит из двух алюминиевых конструкционных профилей (рис. 5) тяжёлой серии. Крепятся они друг с другом с помощью стальных пластин со стороны лотков кабельных каналов, а также корпусами ху.

Длина нависающей части траверсы над столом 3D принтера больше длины направляющих рельсового типа. Поэтому направляющие рельсового типа будут деформировать алюминиевый конструкционный профиль. Схема крепления и тип нагрузки соответствуют закреплённой с равно распределённой нагрузкой. Под равно распределённой нагрузкой от рельсовых направляющих, максимальный прогиб профиля составит 0.01 мм, а максимальный прогиб всей траверсы под собственным весом не превышает 0.025 мм.

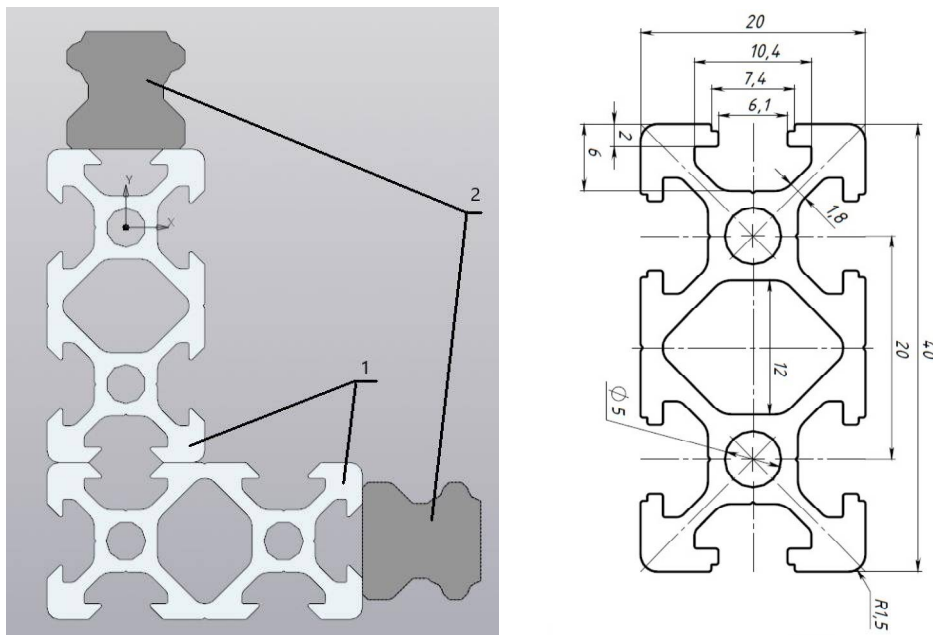


Рис. 5. Чертёж профиля (справа) и профиль траверсы в разрезе:
1 – два конструктивных профиля, 2 – направляющие рельсового типа

Библиографический список

1. Рэдвуд Б., Шофер Ф., Гаррэт Б. 3D-печать. Практическое руководство / пер. с англ. М. А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 220 с.: ил. – С. 27 – 29.
2. Ермичёв А. О. Применение аддитивных технологий при изготовлении ортезов ОТМ / А. О. Ермичёв Д. С. Климов И. Н. Романов М. В. Ленков // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2023 : Сборник трудов VI Международного научно-технического форума. В 10-ти томах, Рязань, 01–03 марта 2023 года / Под общей редакцией О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет, 2023. – С. 116 – 120.
3. Слюсар В.И. Фаббер-технологии: сам себе конструктор и фабрикант. Конструктор. – 2002. - № 1. С. 5 - 7. (2002).

УДК 681.625.9; ГРНТИ 55.29.33

РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ УЗЛОВ СПЕЦИАЛЬНОГО 3D ПРИНТЕРА ОРТ ТЕХ МЕД ДЛЯ МОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА СОЗДАНИЯ СРЕДСТВ РЕАБИЛИТАЦИИ ТРАВМИРОВАННЫХ КОНЕЧНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА (ЧАСТЬ 2)

А.О. Ермичёв, М.В. Ленков, И.Н. Романов

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В. Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, lenkov.m.v@rsreu.ru

Аннотация. В обзорной работе из двух частей рассмотрены конструкции основных узлов разработанного 3D принтера ОТМ М. Во второй части рассмотрена конструкция станины, стола и печатающей головы 3D принтера ОТМ М.

Ключевые слова: аддитивные технологии, филамент, DIRECT – экструдер, FDM технология, 3D принтере, прототипирование, станина, конструкционный профиль.

DEVELOPMENT OF THE MAIN COMPONENTS OF A SPECIAL 3D PRINTER ORT TECH MED FOR A MOBILE COMPLEX FOR THE CREATION OF MEANS OF REHABILITATION OF INJURED HUMAN LIMBS (PART 2)

A.O. Ermichev, M.V. Lenkov, I.N. Romanov

Ryazan State Radio Engineering University named after V. F. Utkin,
Russia, Ryazan, lenkov.m.v@rsreu.ru

Abstract. In a two-part review paper, the designs of the main components of the developed OTM M 3D printer are considered. In the second part, the design of the bed, table and printhead of the OTM M 3D printer is considered.

Keywords: additive technologies, filament, DIRECT extruder, FDM technology, 3D printer, prototyping, bed, structural profile.

Конструкция станины

Станина разработанного 3D принтера [1] (рис. 1) сборная и состоит из конструкционного алюминиевого профиля, закреплённого между собой стальными пластинами и уголками.

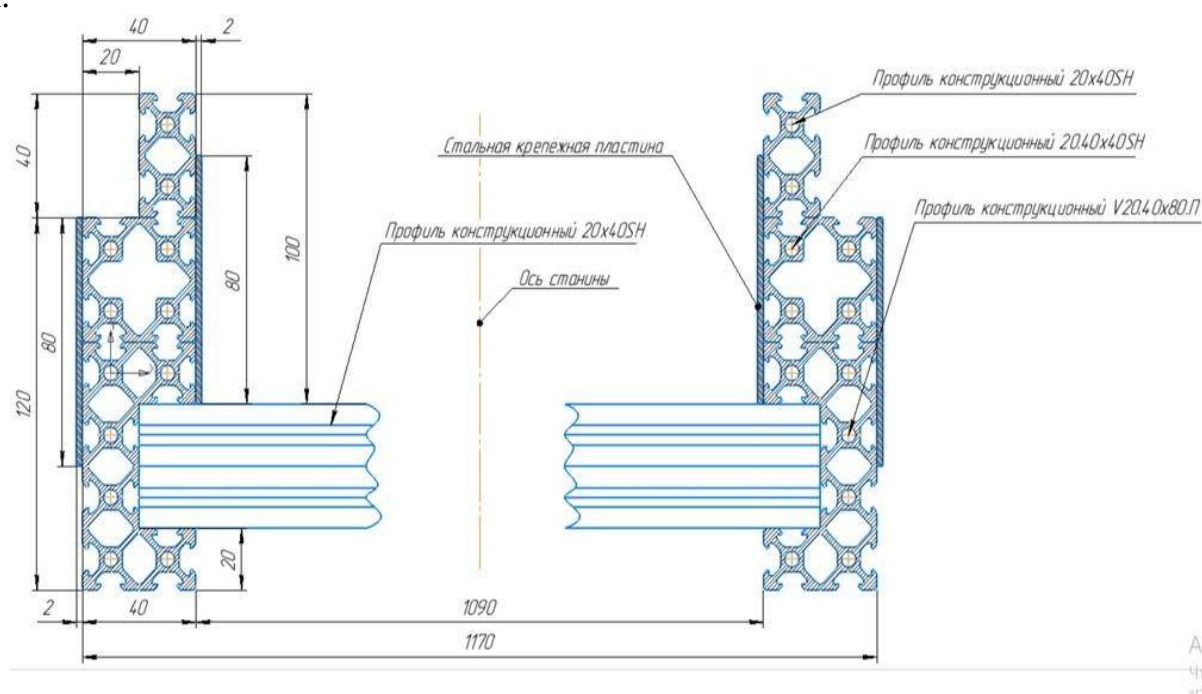


Рис. 1. Профиль и размеры станины 3D принтера ОТМ М

В основе станины лежит конструкционный профиль 20-й серии [2]. Между собой профиль крепится стальными пластинами. На станину (рис. 2) крепятся направляющие рельсового типа с рельсовыми каретками качения.

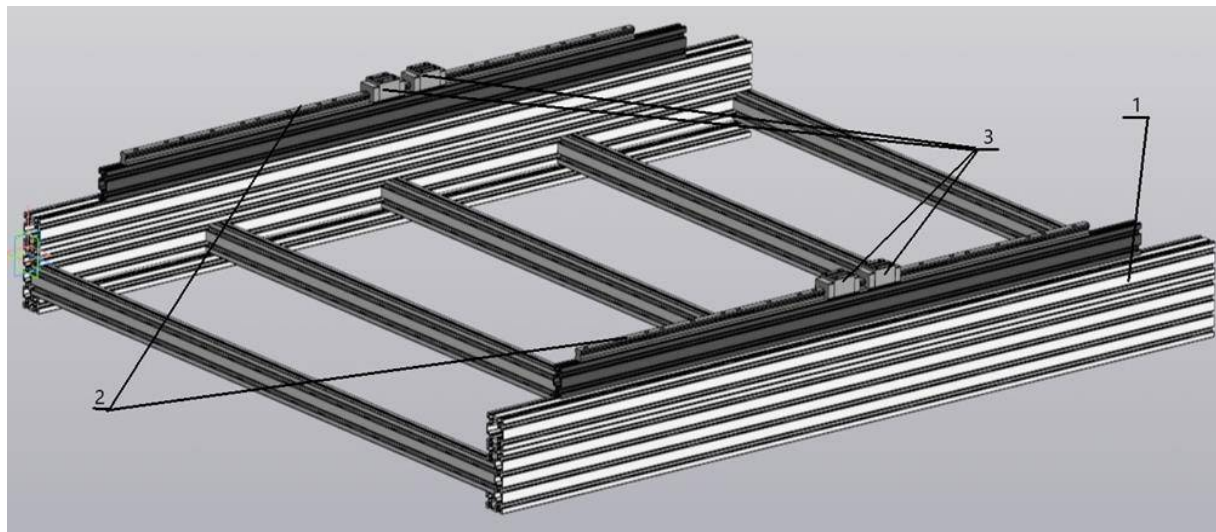


Рис. 2. Общий вид станины с направляющими 3D принтера ОТМ М:
1 – станина, 2 – направляющие рельсового типа, 3 – рельсовые каретки

Стол 3D принтера

Разработанный стол имеет систему подогрева. Конструктивно стол представляет собой комбинацию из 6 нагревательных алюминиевых пластин (рис. 3). Как показали практические исследования, если стол делать целиком одной алюминиевой пластиной, то при нагреве до 120 градусов пластина сильно деформируется и появляются выпуклости и вогнутости. Поэтому стол выполнен из набора пластин.

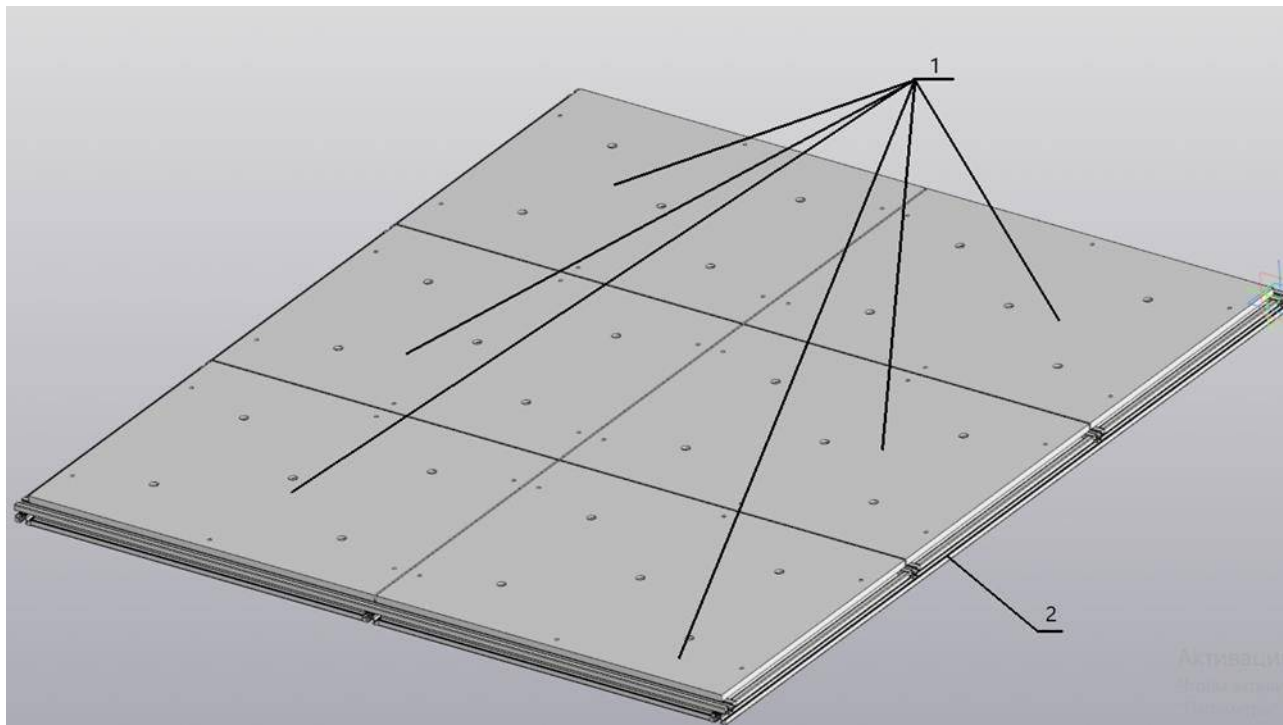


Рис. 3. Общий вид стола 3D принтера ОТМ М

У каждой пластины есть свой нагревательный элемент. Конструктивно между пластинами предусмотрены компенсационные зазоры. Такая модель стола также позволяет при

выращивании изделия выбирать необходимые плитки для нагрева, а не нагревать весь стол. Тем самым снижаются затраты на электроэнергию.

Алюминиевые пластины стола (рис. 4) крепятся к каркасу из конструкционного профиля через систему стальных пластин и толстостенных втулок. С низу к каждой пластине на клейкую подложку клеится силиконовый нагревательный элемент. В самих пластинах конструктивно предусмотрены глухие отверстия под неодимовые магниты, к которым в последствие крепится магнитная подложка, на которой и осуществляется печать изделий.

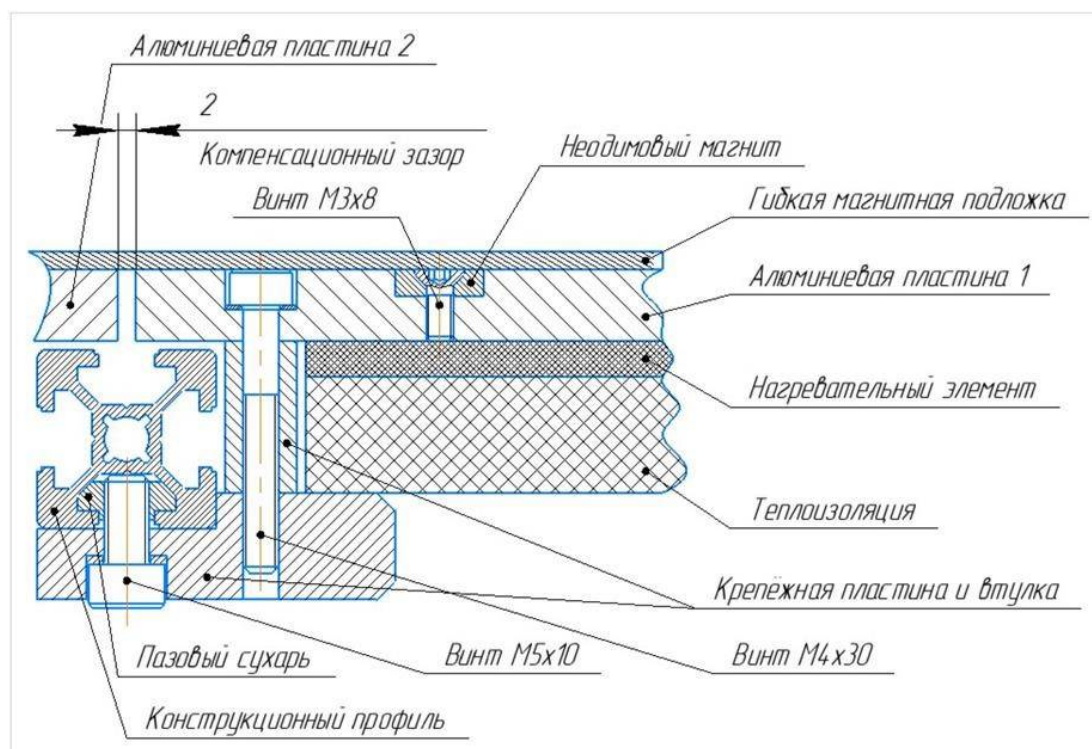


Рис. 4. Упрощенная схема части стола в разрезе с системой крепления алюминиевых нагревательных пластин

Каждая пластина имеет три точки опоры и крепится через систему крепежных пластин и втулок к каркасу из конструкционного профиля. При этом сами пластины не соприкасаются с каркасом стола и друг с другом.

Печатная голова 3D ОТМ М

Конструктивно печатающая голова (рис. 5) состоит из корпуса, к которому крепится сам экструдер, система охлаждения и обдува печатаемых слоёв детали, фильтр очистки нити филамента, доводчик нити филамента. В корпусе предусмотрены специальные каналы для отвода потока воздуха от центробежного кулера. Поток воздуха через эти каналы обдувает деталь при печати.

В разработанной печатающей голове нить филамента протягивается через доводчик с датчиком обрыва филамента, затем протягивается через фильтр очистки нити филамента и заправляется в экструдер. Фильтр отчищает нить филамента от частичек пыли, ворсинок и хлопьев образующихся на нити (в первую очередь актуально для конфигурации 3D принтера без рабочего кабинета).

Разработанная печатающая голова подходит для реализации деталей по технологии FDM/FFF [3]. Для реализации технологии HYBRID ER конструкция печатающих голов кардинально будет отличаться.

Из новшеств в данном 3D принтере можно отметить следующие:

- Специализированный стол с отдельными зонами подогрева.
- Использование в связке с экструдером специального фильтра очистки филамента.
- Использование параллельной IDEX кинематики.
- Конструктивно заложенная возможность печатать изделия по технологии HYBRID

ER.

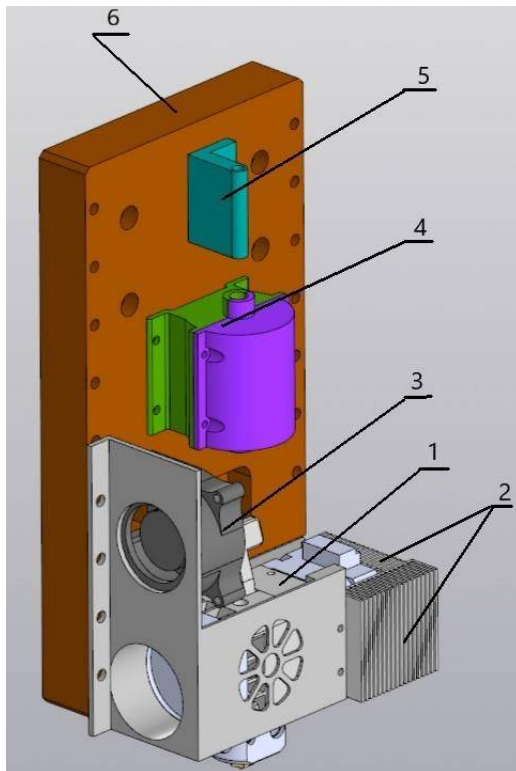


Рис. 5. Упрощённая 3D модель печатающей головы:

- 1 – DIRECT экструдер, 2 – система радиаторов охлаждения шагового двигателя подачи филамента,
 3 – центробежный кулер для обдува печатаемой детали, 4 – Фильтр очистки филамента,
 5 – доводчик нити филамента, 6 – корпус печатающей головы

Библиографический список

1. Слюсар, В.И. Фаббер-технологии: сам себе конструктор и фабрикант. Конструктор. – 2002. - № 1. С. 5 - 7. (2002).
2. Ермичёв А. О. Применение аддитивных технологий при изготовлении ортезов ОТМ / А. О. Ермичёв Д. С. Климов И. Н. Романов М. В. Ленков // Современные технологии в науке и образовании - СТНО-2023 : Сборник трудов VI Международного научно-технического форума. В 10-ти томах, Рязань, 01–03 марта 2023 года / Под общей редакцией О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет, 2023. – С. 116 – 120.
3. Рэдвуд Б., Шофер Ф., Гаррэт Б. 3D-печать. Практическое руководство / пер. с англ. М. А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2020. – 220 с.: ил. – С. 27 – 29.

УДК 620.1.05; ГРНТИ 59.29

РЕШЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТАННОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ

А.И. Дерябин, М.В. Ленков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, lenkov.m.v@rsreu.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается практическая реализация технического решения по разделению рабочих напряжений в проектируемом устройстве, удовлетворяющего по своим свойствам и характеристикам как разрабатываемому устройству, так и объектам проверки, с результатами измерения созданного прототипа.

Ключевые слова: автоматизированный пульт проверки сопротивления изоляции (АППСИ), объект проверки (изделие), цифровой мегаомметр (ЦМ), платы коммутации.

SOLVING PRACTICAL PROBLEMS BASED ON THE DEVELOPED AUTOMATED MEANS FOR MEASURING THE DIELECTRIC PROPERTIES OF MATERIALS

A.I. Deryabin, M.V. Lenkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, lenkov.m.v@rsreu.ru*

Abstract. In this paper, we consider the practical implementation of a technical solution for the separation of operating voltages in the device under construction, satisfying both the device under development and the test objects in terms of its properties and characteristics, with the measurement results of the created prototype.

Keywords: automated insulation resistance control panel (AIRCP), verification object (product), digital megaohmmeter (DM), commutation boards.

Введение

В наши дни в сфере отечественного приборостроения наблюдается тенденция к созданию и разработке специализированных контрольно-измерительных проверочных средств информации для однотипных приборов, изготавливаемых на разных производствах. Эта тенденция берет свое начало из нескольких источников:

- развитие информационных и измерительных технологий;
- возрастающая роль компьютеров в производстве, что снижает влияние человеческого фактора на качество продукции;
- нынешнее состояние глобального политического и экономического контекста, который способствует увеличению объемов производства на предприятиях военно-промышленного комплекса;
- и множество других причин, связанных с промышленным и экономическим развитием нашей страны.

Главная цель при создании автоматизированного пульта для проверки сопротивления изоляции заключается в проверке множества цепей и корпуса на предмет пробоя в исследуемом объекте.

Предлагаемое устройство обладает следующими преимуществами [1]:

- переключение между проверяемыми цепями, а также измерение сопротивления на отдельных участках цепей осуществляется программой в сотрудничестве с запрограммированным микроконтроллером;
- данные о каждой проверенной цепи включаются в итоговый отчет о проверке и сохраняются в базе данных о предмете проверки.

Реализация технического решения по разделению рабочих напряжений в разрабатываемом устройстве

Использование источника питания преобразующий напряжение для питания АППСИ не поможет в преобразовании напряжения, так как это может вывести из строя всю функциональную электротехническую базу разрабатываемого устройства. Для разделения двух разных напряжений можно использовать платы коммутации с шинным формирователем и двойными реле, которое не позволит соединиться этим напряжениям [2].

Чтобы не допустить попадания высокого напряжения в рабочую часть, использующую МК, необходимо добавить платы коммутации для разъединения рабочих напряжений.

Функциональная схема разработанной платы коммутации представлена на рисунке 1.

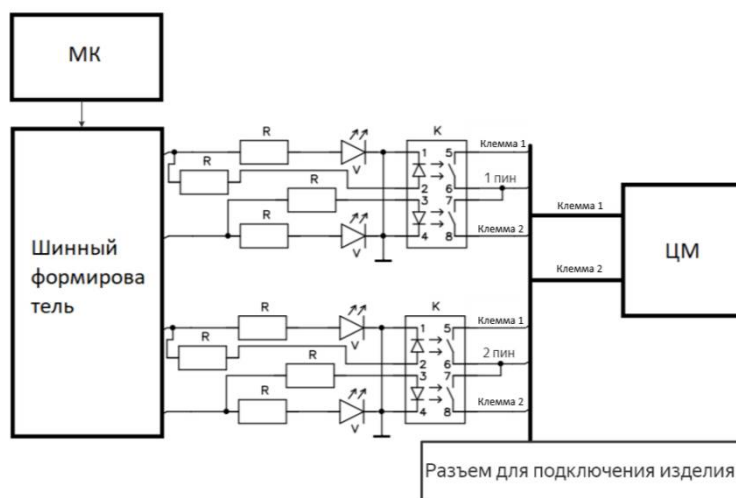


Рис. 1. Функциональная схема части платы коммутации для двух контактов.

Чтобы провести измерение сопротивления на одной из множества цепей в объекте проверки (изделии) необходимо замкнуть контакты, например, 1 на вход и 2 на выход (1 пин – Клемма 1, 2 пин – Клемма 2, рисунок 1).

Для проверки изделия используется специальный кабель способный выдержать напряжение 100 В со специальным стандартным промышленным разъёмом на 30 контактов.

Используемая в разрабатываемом устройстве, макетная плата с МК способна выдавать максимальный ток около 80 мА. Для 30 используемых оптореле требуется 300 мА, поэтому разработанную плату коммутации необходимо создать в количестве 8 штук.

Схема электрического соединения функциональных элементов, включая платы коммутации (А1-А8) приведена на рисунке 2.

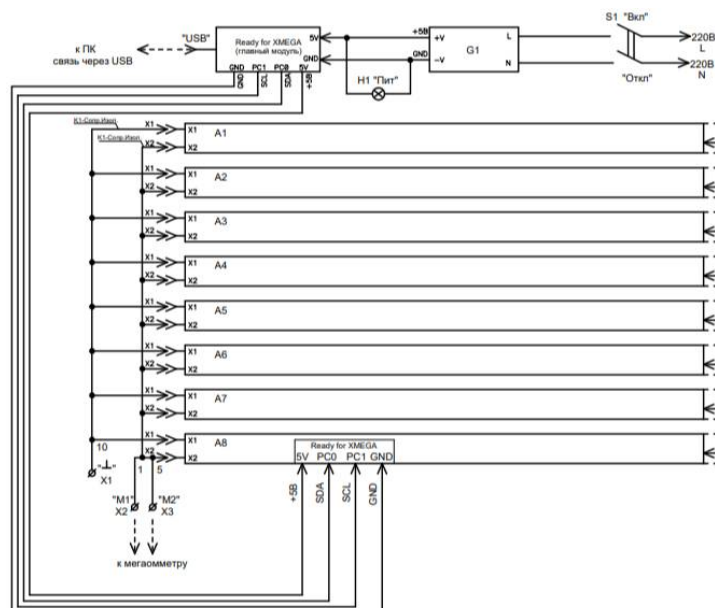


Рис. 2. Схема электрического соединения функциональных элементов разрабатываемого устройства

Практическая реализация предложенного решения

Основные радиоэлементы платы коммутации и их необходимые характеристики:

1. Оптореле КР293КПЗВ - способно выдержать напряжение 400 В и для срабатывания требует 10 мА на 2 контакта.

2. Шинный формирователь 74AC541SC - используется как усилитель тока контрольного сигнала от МК, имеет 10 входов и 10 выходов, из которых 2 входа и 2 выхода используются для связи с МК, оставшиеся 8 входов и 8 выходов служат для передачи контрольных сигналов.

Функционально-техническое визуальное изображение (3D-модель) разработанной платы коммутации было реализовано в среде САПР T-FLEX CAD (Рисунок 3).

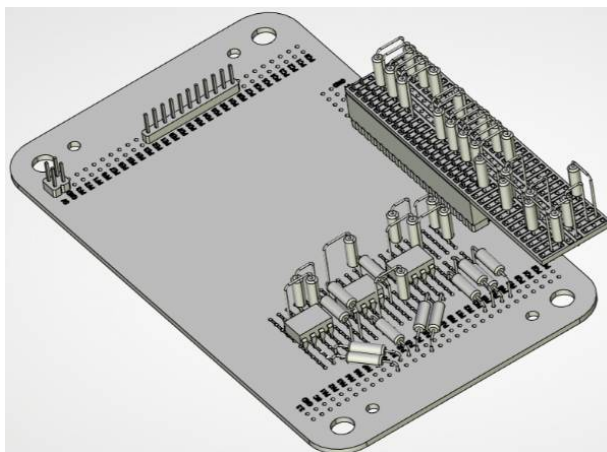


Рис. 3. 3D-модель платы коммутации

Однако, для проверки работоспособности платы коммутации необходимо собрать рабочий прототип, так как шинные формирователи будут работать только совместно с МК, который посылает им контрольный сигнал для переключения контактов выбранных оптореле.

Поэтому после сборки рабочего прототипа проектируемого устройства проверяем работу оптореле с помощью запуска ручного режима работы контрольной программы на рабочем компьютере (ПК):

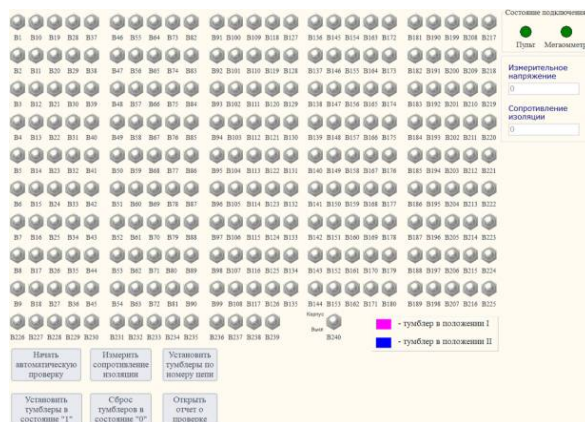


Рис. 4. Переключатели (тумблеры) в контрольной программе на ПК

Используя переключатели (тумблеры) для ручного режима и кнопку «Измерить сопротивление изоляции» (рисунок 4) с помощью мультиметра проверяем напряжения на контактах оптореле. С одной стороны, на оптореле, где замыкается контакт, со стороны шинного формирователя должно идти напряжение +3В, а со стороны шины с ЦМ - +100В.

Если будут допущены ошибки при сборке разрабатываемого устройства, то при запуске одного из режимов контрольной программы может сгореть все электротехническое оснащение устройства.

Результаты проведения тестирования режимов работы проектируемого средства

Тестовые измерения сопротивления изоляции объекта проверки проектируемым средством автоматизированного контроля диэлектрических параметров проводились с помощью управляющей программы, созданной для него (АППСИ) на ПК.

1. Отчет программы после использования режима автоматической проверки (Рисунок 5).

Количество проверяемых цепей: 31		
Количество ошибок: 0		
Условия проверки: Нормальные условия		
Значение эл. сопр. изоляции должно быть не менее : 20 МОм		
Результаты:		
Номер цепи	Измеренное сопротивление	Норма / Не норма
1	2,24 ГОм	Норма
2	1,7 ГОм	Норма
3	1,66 ГОм	Норма
4	2,39 ГОм	Норма
5	2,24 ГОм	Норма
6	2,28 ГОм	Норма
7	2,29 ГОм	Норма
8	1,98 ГОм	Норма
9	1,96 ГОм	Норма
10	1,93 ГОм	Норма
11	2,04 ГОм	Норма
12	2,33 ГОм	Норма
13	2,03 ГОм	Норма
14	1,51 ГОм	Норма
15	1,47 ГОм	Норма
16	1,49 ГОм	Норма
17	2,45 ГОм	Норма
18	2,4 ГОм	Норма
19	1,51 ГОм	Норма
20	2,16 ГОм	Норма
21	1,75 ГОм	Норма
22	2,61 ГОм	Норма
23	2,61 ГОм	Норма
24	1,88 ГОм	Норма
25	1,83 ГОм	Норма
26	2,48 ГОм	Норма
27	2,38 ГОм	Норма
28	2,53 ГОм	Норма
29	2,43 ГОм	Норма
30	2,22 ГОм	Норма
31	2,74 ГОм	Норма

Рис. 5. Отчет программы

2. Отчет программы в ручном режиме (выбрана цепь «2») (Рисунок 6).

2	1,7 ГОм	Норма
---	---------	-------

Рис. 6. Отчет о цепи «2»

Вывод

Элементы для плат коммутации и АППСИ выбирались с учетом доступности, цены и качества в нынешней внешнеполитической и внешнеэкономической ситуации в нашей стране.

Использование МК для переключения между замыканиями цепей (множества групп цепей), в которых измерение сопротивления изоляции осуществляется с подачей высокого напряжения через многоконтактный разъем, повышает электрическую безопасность рабочих, ускоряет время проверки изделия, повышает точность и качество проводимых измерений в ходе проверки.

Результаты тестирования разрабатываемого устройства – положительны, и были получены без контакта человека с объектом исследования и рабочей частью устройства проверки. Что свидетельствует о электрической безопасности разрабатываемого технического средства проверки.

Библиографический список

1. Новые информационные технологии в научных исследованиях / Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов / Материалы конференции / Том II / Секция 9 Информационные технологии в промышленности / Современные информационно-технические средства проверки диэлектрических свойств изделий 2022 / Дерябин А.И., Ленков М.В. С. 111-112.

2. Патент № 2692114 С1 Российская Федерация МПК G01R 31/02. Устройство контроля электрических цепей сложных технических изделий / Страхов А.Ф., Комаров М.В., Пугачева С.С.; заявитель и патентообладатель Акционерное общество "Головное производственно-техническое предприятие "Гранит" — № 2018131687, заявл. 04.09.2018; опубл. 21.06.2019.

УДК 681.2.082; ГРНТИ 50.53

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ 3D-ПЕЧАТИ

Н.Е. Урускин, М.В. Ленков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, uruskin696@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается технологическая модель автоматизированной системы анализа рабочих параметров электронных компонентов с применением технологии 3D-печати. Приводятся примеры работы готового макета.

Ключевые слова: 3D-печать, конденсатор, резистор, макет, диод.

DEVELOPMENT OF A TECHNOLOGICAL MODEL OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR ANALYZING THE OPERATING PARAMETERS OF RADIOELECTRONIC COMPONENTS USING 3D PRINTING TECHNOLOGY

N.E. Uruskin, M.V. Lenkov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russian Federation, Ryazan, uruskin696@mail.ru*

Annotation. The paper considers a technological model of an automated system for analyzing the operating parameters of electronic components using 3D-printing technology. Examples of how the finished layout works are given.

Keywords: 3D-printing, capacitor, resistor, layout, diode.

Одной из важных задач, решаемых при разработке радиоэлектронной аппаратуры, является оптимальный выбор микроэлектронной элементной базы для проектируемого изделия. Применяемые в электронных средствах (ЭС) электронные компоненты (ЭК), характеризуются номинальными значениями параметров (сопротивлением для резисторов по ГОСТ 24238-84, емкостью для конденсаторов по ГОСТ 27778-88, индуктивностью для катушек индуктивности по ГОСТ 2.723-68 Группа Т52 и т.д.), допуском на эти параметры, их зависимостью от температуры, уровнем шумов, предельными режимами (максимальной мощностью рассеяния, напряжением или током), конструктивным исполнением, предельными климатическими и механическими воздействиями, надежностью и другими технико-эксплуатационными показателями. В настоящее время существует не один испытательный стенд для измерения параметров работы радиоэлектронных компонентов. Одним из возможных методов изготовления таких технических средств является метод аддитивных технологий, а именно 3D-печать [1].

Демонстрационный макет, разрабатываемый с применением метода 3D-печати позволяет измерять параметры работы следующих микроэлектронных компонентов [2]:

1. Конденсаторы.

Для проверки возьмем электролитический конденсатор на 1000 мкФ * 16В. Стоит отметить, что перед началом проверки необходимо разрядить конденсатор так как если этого не сделать, то с высокой долей вероятности можно повредить прибор высоким остаточным напряжением. Особенно это относится к электролитам, выпаянным с плат. После подключения конденсатора и нажатии одной кнопки, на экране мы увидим следующее: ёмкость – 1004 мкФ; ЭПС – 0,05 Ом (рис. 1).

Макет так же подойдет для обычных конденсаторов с ёмкостью примерно от 20 пикофард (20pF). Для проверки деталей, выполненных в корпусах для поверхностного (SMD) монтажа необходимо подключить к ZIF-Панели выносные щупы [5].



Рис. 1 Измерение параметров конденсатора

2. J-FET и MOSFET транзисторы.

В данном случае для тестирования был выбран популярный MOSFET транзистор IRFZ44N. При подключении транзисторов не нужно соблюдать никаких правил демонстрационный макет сам определит цоколёвку компонента и выведет результат на экран (рис. 2).

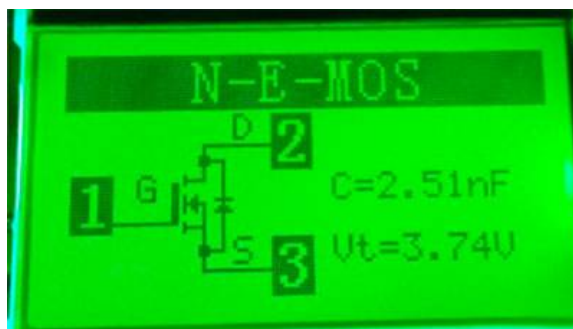


Рис. 2 Измерение параметров транзистора IRFZ44N

На экране, кроме цоколёвки транзистора и его типа (n-канальный MOSFET), указывается величина порогового напряжения открытия транзистора $V_{GS(th)}$ ($V_t = 3,74V$) и ёмкость затвора транзистора C_{iss} ($C = 2,51нФ$).

Для проверки работы биполярных транзисторов возьмём отечественный КТ817Г (рис. 3).



Рис. 3. Измерение параметров транзистора КТ817Г

У биполярных транзисторов измеряется коэффициент усиления h_{FE} (он же $h_{21э}$) и напряжение смещения Б-Э (открытия транзистора) U_f . Для кремниевых биполярных транзи-

стором напряжение смещения находится в пределах $0,6 \sim 0,7$ вольт. Для тестируемого КТ817Г оно составило $0,615$ вольт (615mV). Тут же стоит добавить, что если пробит хотя бы один из переходов транзистора, то прибор может определить его как диод.

3. Диоды.

Для тестирования был выбран-диод 1N4007 (рис. 4).



Рис. 4. Измерение параметров диода 1N4007

Для диодов указывается падение напряжения на р-п переходе в открытом состоянии U_f .

Для данного диода 1N4007: $V_f=677\text{mV}$ ($0,677\text{V}$). Это значение в пределах нормы для низкочастотного выпрямительного диода. Так же, стенд замеряет и ёмкость р-п перехода ($C=8\text{пкФ}$).

4. Резисторы.

Демонстрационный стенд замеряет сопротивления как переменных резисторов, так и подстроечных (рис. 5).



Рис. 5. Измерение параметров резистора

Макет определили подстроечный резистор типа 3296 на 1 кОм . На дисплее переменный или подстроечный резистор отображается в виде двух резисторов. Функциональные возможности демонстрационного стенда позволяют проверять резисторы с сопротивлением до долей Ома.

При необходимости при помощи демонстрационного макета возможно измерять параметры таких радиоэлектронных компонентов как: катушки, дроссели, симисторы, тиристоры, а также и оптопары. Стоит отметить, что функциональные возможности стенда не безграничны. С его помощью невозможно проверить: мощные тиристоры, стабилитроны, варисторы, ионисторы. Во время проверки неисправных полупроводниковых компонентов следует иметь в виду, что прибор может некорректно определить тип элемента. Например, биполярный транзистор с одним пробитым р-п переходом может быть ошибочно распознан как диод. В случае вздувшегося электролитического конденсатора с огромной утечкой, прибор может интерпретировать его как два встречно-включенных диода. Такие показания недву-

смысленно свидетельствуют о том, что данный элемент не годен для использования в радиоаппаратуре [4].

В заключении отметим, что демонстрационный макет, разработанный с применением технологии 3D-печати можно использовать для проведения лабораторных работ по электротехнике и электроники [3].

Библиографический список

1. Селютин В.А. Машинное конструирование электронных устройств: научное издание / В. А. Селютин. - Москва: Советское радио, 1977. Стр. 350 – 383.
2. А.Т. Абрамов, В.В. Артемов [и др.] Автоматизированное конструирование монтажных плат РЭА: справочник специалиста / ред. Л. П. Рябов. - Москва: Радио и связь, 1986. Стр. 160-191.
3. Новые информационные технологии в научных исследованиях / Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов / Материалы конференции / Том II / Секция 9 Информационные технологии в промышленности / Современные технологии создания средств автоматизированного изучения параметров электронных компонентов 2022 / Урускин Н.Е. Ленков М.В.
4. Патент № 2239872 Российская Федерация МПК G09b23/18. Учебное устройство по электротехнике /Поваляев О.А., Ярошевский М.Л., Хоменко С.В.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Фирма «СНАРК»; заявл.23.04.2003г; опубл.10.11.2004г.
5. Патент № 2279718 Российская Федерация МПК G09B23/18. Стенд для изучения электронных средств автоматизации/ Ройтбург Ю.С., Редькин С.В., Плешаков С.Б.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие Научно конструкторско- технологическое бюро «Парсек»; заявл.11.01.2005г; опубл.10.07.2006г.

СЕКЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ В ТЕХНИКЕ И МЕДИЦИНЕ»

УДК 543.06

МОДИФИЦИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ХАОТИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЕМ ПАРАМЕТРОВ ВЕКТОРА МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ НА ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ПОВАРЕННОЙ СОЛИ ИЗ НАСЫЩЕННОГО РАСТВОРА

С.Н. Даровских, П.М. Шоназаров, И.И. Прокопов

*Южно-Уральский государственный университет (Национальный исследовательский университет),
Россия, Челябинск*

Аннотация. Цель данной статьи: оценить модифицирующее действие формируемого с помощью аппаратно-программного устройства магнитного поля с хаотическим изменением его параметров на процесс кристаллизации поваренной соли из насыщенного раствора. При этом оценке по сравнению с контролем подлежит изменение массы кристаллизованной соли, её плотность и относительная диэлектрическая проницаемость.

В данной статье обоснована актуальность проведения экспериментальных исследований по оценке модифицирующей роли магнитного поля с хаотическим изменением параметров вектора магнитной индукции на синтез материалов. Приведено описание аппаратно-программного устройства моделирования хаотических вариаций магнитного поля и его основных характеристик. В «пилотном» эксперименте с насыщенным раствором поваренной соли при воздействии на неё хаотическим магнитным полем зафиксировано увеличение массы её кристаллов на 33% по сравнению с контролем. Используя резонансный метод измерения диэлектрических свойств, было обнаружено уменьшение на 15% относительной диэлектрической проницаемости соли в СВЧ диапазоне длин волн.

Результаты проведенного исследования и условия их получения могут быть положены в основу доказательства о высокой роли вариаций магнитного поля Земли на ускоренный рост её вещества в далеком прошлом. Они открывают перспективу для использования разработанного аппаратно-программного устройства моделирования магнитных вариаций с хаотическим изменением их параметров при проведении экспериментальных исследований по ускоренному синтезу материалов с коррекцией их электрических и магнитных свойств.

Основным результатом «пилотного» эксперимента по оценке модифицирующего действия магнитного поля с хаотическим изменением его параметров на процесс кристаллизации поваренной соли является существенный (на 33%) прирост её массы по сравнению с контролем. Зафиксированный результат и условия его получения могут быть положены в основу доказательства о высокой роли вариаций магнитного поля Земли на ускоренный рост её вещества в далеком прошлом.

Ключевые слова: магнитное поле, процесс кристаллизации, поваренная соль, моделирование, хаотических вариаций, магнитной индукции, экспериментальных исследований.

MODIFYING EFFECT OF A MAGNETIC FIELD WITH A CHAOTIC CHANGE IN THE PARAMETERS OF THE MAGNETIC INDUCTION VECTOR ON THE PROCESS OF CRYSTALLIZATION OF TABLE SALT FROM A SATURATED SOLUTION

S.N. Darovskikh, P.M. Shonazarov, I.I. Prokopov

*South Ural State University (National Research University),
Chelyabinsk, Russian Federation*

Abstract. Article substantiates the relevance of conducting experimental studies to assess the modifying role of a magnetic field with a chaotic change in the parameters of the magnetic induction vector on the synthesis of materials. A description of the hardware and software device for simulating chaotic variations of the magnetic field and its main characteristics is given. In a “pilot” experiment with a saturated solution of table salt when exposed to a chaotic magnetic field, an increase in the mass of its crystals was recorded by 33% compared to the control. The results of the study and the conditions for obtaining them can serve as the basis for evidence of the high role of variations in the Earth’s magnetic field on the accelerated growth of its matter in the distant past.

They open up prospects for using the developed hardware and software device for simulating magnetic variations with chaotic changes in their parameters when conducting experimental studies on the accelerated synthesis of materials with correction of their electrical and magnetic properties. The main result of the “pilot” experiment to evaluate the modifying effect of a magnetic field with a chaotic change in its parameters on the process of crystallization of table salt is a significant (33%) increase in its mass compared to the control. The recorded result and the conditions for its receipt can be used as the basis for evidence of the high role of variations in the Earth’s magnetic field on the accelerated growth of its matter in the distant past.

Keywords: magnetic field, crystallization process, table salt, modeling, chaotic variations, magnetic induction, experimental studies.

Введение

В данной статье обоснована актуальность проведения экспериментальных исследований по оценке модифицирующей роли магнитного поля с хаотическим изменением параметров вектора магнитной индукции на синтез материалов. Приведено описание аппаратно-программного устройства моделирования хаотических вариаций магнитного поля и его основных характеристик. В «пилотном» эксперименте с насыщенным раствором поваренной соли при воздействии на неё хаотическим магнитным полем зафиксировано увеличение массы её кристаллов на 33% по сравнению с контролем. Среди предполагаемых эпох в истории формирования Земли [1-5] наибольший интерес представляет эпоха образования литосферы. Понимание основных механизмов, влияющих на ускоренный рост земной коры в тот период, позволит использовать их в настоящее время для синтеза новых материалов в интересах обеспечения решения целого ряда практических задач. По всей видимости, они связаны с особыми условиями эволюции вещества Земли. В этой связи, в первую очередь следует обратить внимание на возможно значимое для построения этого вещества существование хаотического характера вариаций магнитного поля Земли в процессе его формирования, значительно превышающих существующие. Смоделировать этот процесс с помощью аппаратно-программных средств и исследовать его влияние на основные характеристики синтезируемого материала позволит «заглянуть» как бы в далекое прошлое.

Однако нельзя не отметить всю сложность решения задачи моделирования магнитных вариаций для того периода. И состоит она в том, что не известны основные их параметры: диапазон частот, параметры вектора магнитной индукции. В этих условиях важна роль гипотезы, которая должна отобразить многообразие основных параметров возможных магнитных вариаций, которые могли бы сопровождать процесс формирования вещества. Результаты таких исследований на известных моделях синтеза абиогенных структур позволят оценить их влияние.

1. Требования к модели вариаций магнитного поля Земли, её реализация с помощью аппаратно-программного устройства и компьютерное моделирование

Основное требование, предъявляемое к модели вариаций магнитного поля Земли в далеком прошлом, состоит в том, что она должна отражать хаотический или квазихаотический характер параметров вектора магнитной индукции. Реализация этого требования позволяет создать в исследуемом веществе (его растворе) высокоэнтропийное состояние не только для магниточувствительных структур, но и для широкого класса ионов атомов и молекул. Такое состояние будет способствовать формированию устойчивых к вышеуказанным вариациям химических соединений. Общая энтропия вещества в хаотическом магнитном поле со временем будет уменьшаться.

Исходя из вышеизложенного, основными параметрами модели [2, 7-10] являются природные электромагнитные поля с выраженной магнитной составляющей на частотах от

10 Гц до 10 кГц. Этот диапазон частот с природной амплитудной и частотно-временной структурой в отличие от ультранизких частот (от 0,001 Гц до 10 Гц), характерный для современных магнитосферных возмущений при магнитных бурях, является недостаточно изученным в оценке взаимодействия магнитных полей на указанных частотах с абиогенными структурами. Интерес исследований в указанном диапазоне частот позволяет с одной стороны перекрыть в основной её части Шумановские резонансы [3, 11-18, 19], а с другой определить роль низкоинтенсивных магнитных полей в звуковом диапазоне частот на объекты синтеза абиогенных материалов. Другим важным параметром моделируемых вариаций магнитного поля является хаотический характер изменения вектора магнитной индукции в ограниченном объеме. При этом её амплитудное значение должно лежать в диапазоне от десятков микротесла до десятков миллитесла.

На основании вышеизложенных требований к параметрам вариаций магнитного поля было разработано аппаратно-программное устройство (рис. 1). Структурная его схема (рис. 2) отражает принцип формирования хаотического магнитного поля внутри объема конструкции трех пар катушек индуктивности, расположенных по осям декартовой системы координат. При независимой подаче напряжений с выхода трехканального УНЧ на элементы воздействия №1, №2 и №3 частотно-модулированных сигналов результирующее магнитное поле в объеме между катушками индуктивности будет характеризоваться хаотическим изменением направления вектора магнитной индукции \mathbf{B}_p и значения его модуля $|\mathbf{B}_p|$. Такой характер изменения вектора магнитной индукции \mathbf{B}_p , согласно уравнению Максвелла [4] будет сопровождаться генерированием по оси вращения тока смещения \mathbf{j}_{cm} .

$$\mathbf{j}_{cm} = c^2 \operatorname{rot} \mathbf{B}_t \quad (1)$$

где $c = 3 \cdot 10^8$ м/с; \mathbf{B}_t - тангенциальная составляющая вектора магнитной индукции \mathbf{B}_p ,



Рис. 1. Аппаратно-программное устройство моделирования вариаций магнитного поля
Fig. 1. Hardware and software device for simulating magnetic field variations

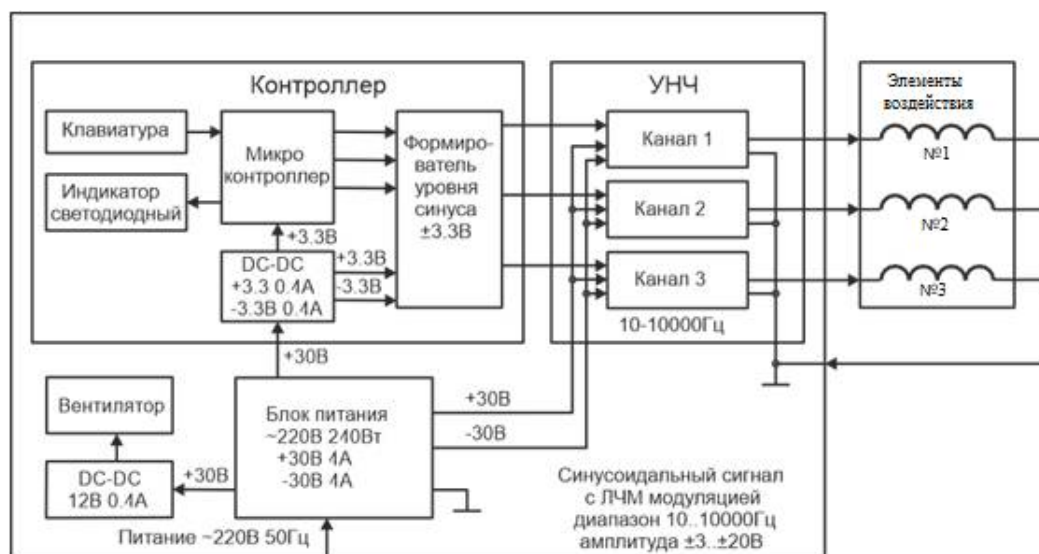


Рис. 2. Структурная схема аппаратно-программного устройства моделирования вариаций магнитного поля
 Fig. 2. Block diagram of a hardware-software device for simulating magnetic field variations

Компьютерное моделирование магнитных вариаций в среде Ansys с указанными выше параметрами отражает в фиксированный момент времени многообразие вектора магнитной индукции внутри объема конструкции аппаратно-программного устройства (рис. 3).

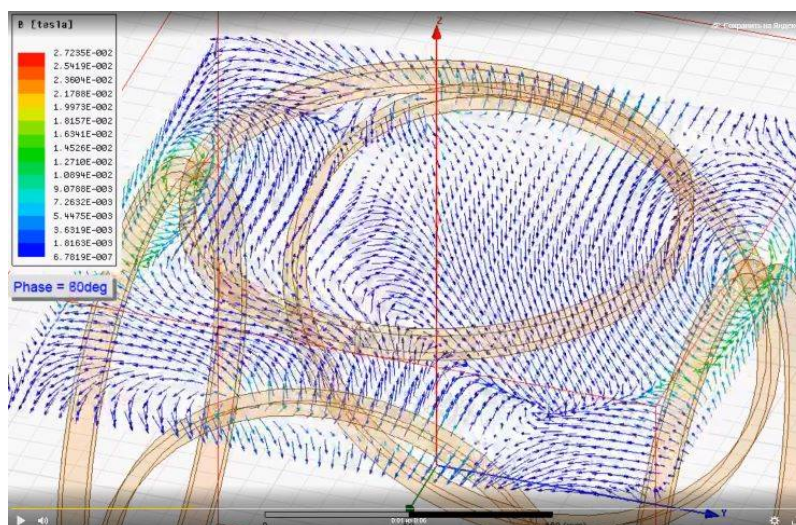


Рис. 3. Мгновенное распределение вектора магнитной индукции в сечении объема конструкции аппаратно-программного устройства
 Fig. 3. Instantaneous distribution of the magnetic induction vector in the cross-section of the volume of the hardware-software device structure

2. Материалы и методы

Для достижения поставленной цели исследования были приготовлены традиционным способом два насыщенных раствора поваренной соли. Одна емкость раствора с «затравкой» в виде небольшой нити была использована для контроля процесса кристаллизации. Другая с аналогичной «затравкой» была помещена в объем конструкции аппаратно-программного устройства с включением режима хаотического изменения параметров вектора магнитной индукции. Эксперимент длился две недели без выключения аппаратно-программного устройства. Его условия по температуре и влажности были идентичны для обоих растворов. По

окончании эксперимента были проведены измерения массы кристаллизованной соли в опыте и контроле, её плотности и относительной диэлектрической проницаемости в СВЧ диапазоне длин волн. Измерение массы проводилось с помощью электронных весов. Для оценки объема кристаллизованной соли для последующего вычисления её плотности использовался «мерный» стакан. Оценка диэлектрических свойств соли осуществлялась резонансным способом с помощью объемно-модульного частотно-перестраиваемого СВЧ устройства в диапазоне частот от 700 МГц до 900 МГц [5,6].

3. Результаты исследования

Основным результатом проведенного «пилотного» исследования следует отметить увеличение в опыте массы кристаллизованной соли (рис.4) на 33% по сравнению с контролем (таблица 1).



Рис. 4. Внешний вид кристаллизованной соли в контроле (слева) и в опыте (справа)
Fig. 4. Appearance of crystallized salt in the control (left) and in the experiment (right)

Такое увеличение массы свидетельствует об ускорении процесса кристаллизации под воздействием хаотического магнитного поля. В основе этого явления лежат электрические процессы, связанные с разнонаправленной циркуляцией вектора магнитной индукции. Разнонаправленный характер возникающих в насыщенном растворе соли электрических процессов способствует ускоренному формированию из ионов натрия Na^+ и хлора Cl^- кристаллов поваренной соли NaCl и «выходу» их из раствора.

Таблица 1. Результаты измерения массы и плотности поваренной соли
Table 1. Results of measuring the mass and density of table salt

Вид эксперимента / Параметры	Масса, г	Плотность, г/см ³
Опыт	27	0,78
Контроль	21	0,76

Плотность соли (таблица 1) в опыте не изменилась по сравнению с контролем и соответствует её плотности, использованной для приготовления насыщенных растворов.

При оценке относительной диэлектрической проницаемости исследуемых образцов поваренной соли было проведено измерение частоты резонанса частотно-перестраиваемого СВЧ устройства на базе многослойного полосково-щелевого перехода [5, 20]. Измерения выполнялись при использовании векторного анализатора цепей Обзор-103 [7, 20]. При этом образцы поваренной соли измельчались и устанавливались в область щелевого резонатора. Результаты измерений (частота резонанса и расчетное значение относительной диэлектрической проницаемости исследуемых материалов) приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты измерений диэлектрических свойств поваренной соли
Table 2. Results of measurements of dielectric properties of table salt

Вид эксперимента / Параметры	Частота, МГц	Значение относительной диэлектрической проницаемости
Без исследуемых материалов, МГц	846	–
Опыт	783	2,51
Контроль	765	2,97

Важной особенностью проведенного эксперимента является уменьшение в опыте на 15% (таблица 2) относительной диэлектрической проницаемости соли, выделенной из насыщенного раствора. Уменьшение относительной диэлектрической проницаемости указывает на изменение её поляризуемости. Такое уменьшение напрямую связано с модификацией структуры кристаллизованной соли в опыте по сравнению с контролем.

Заключение

Основным результатом «пилотного» эксперимента по оценке модифицирующего действия магнитного поля с хаотическим изменением его параметров на процесс кристаллизации поваренной соли является существенный (на 33%) прирост её массы по сравнению с контролем. Зафиксированный результат и условия его получения могут быть положены в основу доказательства о высокой роли вариаций магнитного поля Земли на ускоренный рост её вещества в далеком прошлом. Также необходимо обратить внимание и на изменение диэлектрических свойств поваренной соли по итогам проведенного эксперимента. Все выше сказанное открывает перспективу для использования разработанного аппаратно-программного устройства формирования магнитных вариаций с хаотическим изменением их параметров при проведении экспериментальных исследований по ускоренному синтезу различных материалов с коррекцией их электрических и магнитных свойств.

Библиографический список

1. Дубровский М.И. Происхождение и эволюция вещества Земли с точки зрения новой гипотезы. Глубинная нефть. 2013. Т1. №4. С. 436-447.
2. Даровских С.Н. Основы построения устройств информационной электромагнитной терапии. Монография. ЮУрГУ. 2011. 137с.
3. Nikiforovich D. S., Mahmadnazarovich S. P. On a Nature-like Technology for Treatment of Human Viral Diseases Based on the use of Simulated Microwave Radiation from the Sun. 2020 IEEE 14th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT). – IEEE, 2020, pp.1-5.
4. Колесник А.Г., Колесник С.А., Колмаков А.А., Шинкевич Б.М. Шумановские. Мониторинг электромагнитного фона КНЧ-диапазона. Изв. ВУЗов. Физика. 2003. С.69–73.
5. Самойлов В.О. Медицинская физика. Учебник. СПб.: Спецлит, 2007. 560с.
6. Фомин Д.Г., Дударев Н.В., Даровских С.Н. Частотно-перестраиваемое устройство на основе многослойного полосково-щелевого перехода и его применение для измерения диэлектрических свойств материалов. Ural Radio Engineering Journal. 2021. Т5. №3. С.225–238.
7. Klygach D.S., Vakhitov M.G., Khashimov A.B., Dudarev N.V., Fomin D.G., Shestakov A.L. Permittivity Measurement for Powder Materials Using a Volumetric Strip-slot Junction. International Conference Engineering and Telecommunication (En&T) 2021; 1–4. (In Russ.)
8. Залетило А.А., Рекс А.Г. Форма и устойчивость локального теплопередающего магнитожидкостного покрытия на пластине. Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2023;13(2):150-163. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-2-150-163>
9. Агеев В. А., Бельбердин В. В., Веприк И. Ю. Конвекция магнитных жидкостей в неоднородных магнитных полях // Магнитная гидродинамика. 1990. № 2. С. 61–65.
10. Иванов А.С. Механическое равновесие немагнитного тела, погружённого в цилиндрический контейнер с магнитной жидкостью, намагниченной внешним однородным магнитным полем. Известия Юго-Западного го-

сударственного университета. Серия: Техника и технологии. 2023;13(2):189-200. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-2-189-200>

11. Шлиомис М. И. Магнитные жидкости // Успехи физических наук. 1974. Т. 112, вып. 3. С. 435–458. <https://doi.org/10.3367/UFNr.0112.197403b.0427>.

12. Actuating soft matter with magnetic torque / R. M. Erb, J. Martin, R. Soheillan, C. Pan, J. R. Barber // Advanced functional materials. 2016. Vol. 26, no. 22. P. 3859–3880.

13. Menzel A. Tuned, driven, and active soft matter // Physics Reports. 2015. Vol. 554. P. 1–45.

14. Dynamics of nonmagnetic inclusions in a microchannel with a magnetic fluid in an inhomogeneous magnetic field / E. Sokolova, A. Vasilyeva, D. Kalyuzhnaya, P. Ryapolov // AIP Advances. 2022. Vol. 12, no. 3. P. 035333.

15. Kazakov Y. B., Filippov V. A. Calculation of the performance of the electromagnetic magnetic fluid separator non-magnetic materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 950. P. 012003-8.

16. Поведение газовых включений в магнитной жидкости в микроканалах различной формы под действием неоднородного магнитного поля / П. А. Ряполов, Е. А. Соколов, Е. В. Шельдешова, Д. А. Калюжная, А. О. Васильева // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2023. Т. 87, № 3. С. 343–347. <https://doi.org/10.31857/S0367676522700600>.

17. Динамика активных пузырьков в магнитной жидкости в неоднородном магнитном поле / Е. А. Соколов, Д. А. Калюжная, А. Г. Рекс, В. И. Каленчук, Г. А. Жуков, Р. Е. Политов, П. А. Ряполов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2023. Т. 13, № 1. С. 102–119. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-1-102-119>.

18. Rosensweig R. E. Buoyancy and stable levitation of a magnetic body immersed in a magnetizable fluid // Nature. 1966. Vol. 210. P. 613–614.

19. Chukhrov A. Y. Magneto-hydrodynamics levitation of bodies magnetized by an external field within a magnetic fluid // Magneto-hydrodynamics. 1990. Vol. 26, no. 3. P. 392–395.

20. Ivanov A. S., Khokhryakova C. A. Non-magnetic solid body in ferrofluid containers: wall effects // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1945, no. 1. P. 012011-6.

УДК 621.3.087.92; ГРНТИ 90.27.34

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА СВЯЗАННЫХ ГИСТОГРАММ ПРИ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ АЦП

А.М. Абрамов

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, abramov.a.job@yandex.ru

Аннотация. Показана эффективность нового метода метрологического испытания АЦП по сравнению с известным гистограммным методом на примере испытания 6-разрядного АЦП. Результаты моделирования подтвердили надежность новых алгоритмов и независимость модифицированного метода от «обязательного» смещения исходного испытательного сигнала на величину равную одному номинальному интервалу квантования.

Ключевые слова: АЦП, метод связанных гистограмм, гистограммный метод, дифференциальная нелинейность, интегральная нелинейность.

MODELING OF THE RELATED HISTOGRAM MODIFIED METHOD FOR METROLOGICAL TESTS OF ADC

A.M. Abramov

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, abramov.a.job@yandex.ru

The summary. The efficiency of the new method of ADC metrological testing in comparison with the known histogram method is shown on the example of 6-bit ADC testing. Simulation results confirmed the reliability of new algorithms and independence of the modified method from the "mandatory" shift of the initial test signal by the value equal to one nominal quantization interval.

Keywords: ADC, coupled histogram method, histogram method, differential nonlinearity, integral nonlinearity.

На этапах жизненного цикла АЦП, т.е. при разработке, создании, эксплуатации, возникает необходимость периодического определения, контроля и аттестации их метрологических характеристик [1].

В работе [2] предлагается новый метод метрологического испытания АЦП (метод связанных гистограмм), основанный на известном гистограммном методе, который использует в качестве входного воздействия на АЦП два испытательных сигнала, смещенных друг относительно друга по уровню на один интервал квантования. С помощью двух испытательных сигналов строят две гистограммы плотности кодов испытываемого АЦП, по которым определяют интегральную (INL) и дифференциальную (DNL) нелинейность АЦП.

В работе [3] было проведено моделирование нового метода метрологического испытания АЦП, которое показало его эффективность по сравнению с известным гистограммным методом на примере испытания 6 разрядного АЦП. Хотя концептуально метод связанных гистограмм работает хорошо, он полагается на идеальное смещение исходного испытательного сигнала на величину равную одному номинальному интервалу квантования (h_H). Данное обязательное условие в реальности трудно выполнимо [4].

В работе [5] представлен модифицированный метод связанных гистограмм, позволяющий преодолеть этот недостаток. Для проверки эффективности модифицированного метода вся система метрологического испытания, включающая генератор входных сигналов, АЦП, блок построения и анализа гистограмм, была смоделирована в LabVIEW [6, 7]. Для подтверждения устойчивости разработанной системы было проведено испытание на номинальной и действительной функции преобразования (ФП) АЦП, а также использовались различные параметры входного сигнала.

Как и в работе [3], для всех случаев моделирования рассматривался 6 разрядный параллельный АЦП на основе линейки номинальных последовательных резисторов R . Любое отклонение R от номинального значения приводит к изменению соответствующего напряжения межкодового перехода АЦП.

Для моделирования погрешностей DNL испытываемого АЦП все номинальные значения резисторов (кроме 1-го) изменялись случайным образом в диапазоне $\pm 10\% R$ по равномерному закону распределения. На рисунке 1 представлен результат моделирования DNL испытываемого АЦП.

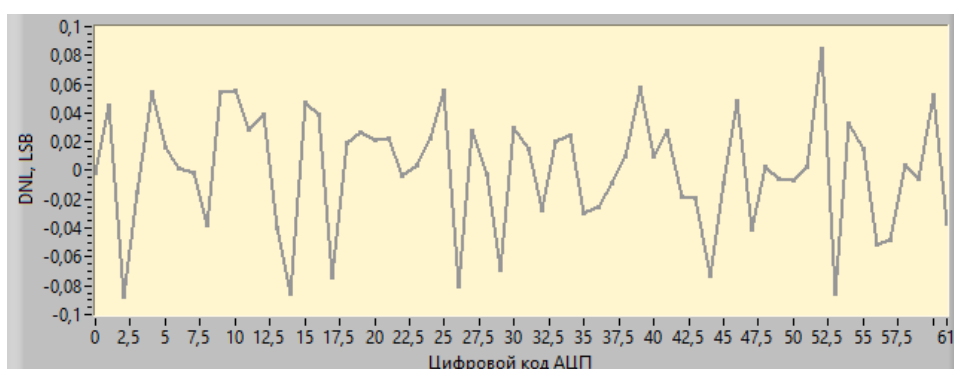


Рис. 1. График зависимости DNL от текущего кода для 6 разрядного АЦП (с учетом $INL = 0$)

Для моделирования погрешностей INL испытываемого АЦП к номинальным значениям резисторов (кроме 1-го) добавлялась ошибка, которая изменялась по синусоидальному закону. В итоге максимальная погрешность INL достигает значений в 4 LSB (наименьший значащий бит). На рисунке 2 представлен результат моделирования INL испытываемого АЦП.

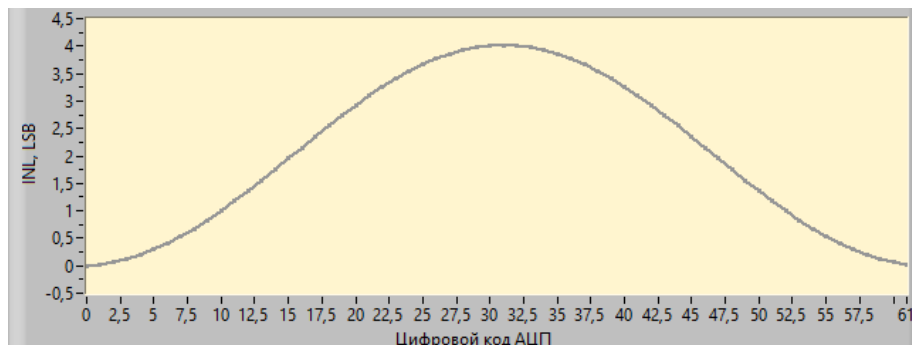


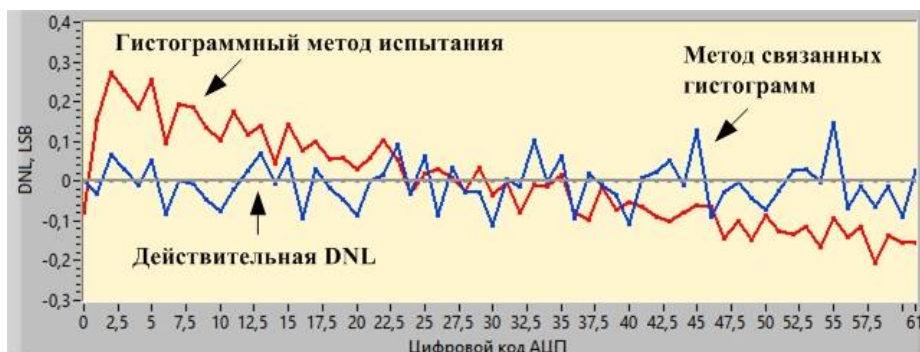
Рис. 2. График зависимости INL от текущего кода для 6 разрядного АЦП (с учетом DNL = 0)

Так же в модель АЦП был введен шум напряжений межкодовых переходов, который соответствовал величине 0,5 LSB. Нелинейная составляющая в исходный испытательный сигнал была введена с помощью параболы.

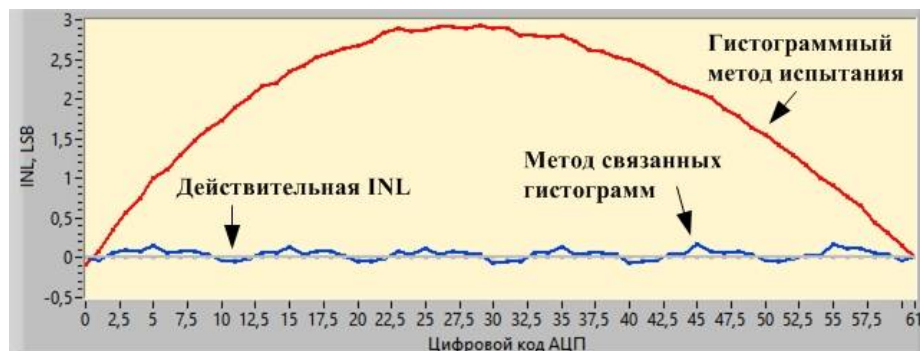
Проведено моделирование разработанной системы метрологического испытания, при смещении исходного испытательного сигнала на величину xh_H , где $x = 10, 15$.

На рисунке 3 представлены графики зависимостей действительных значений DNL и INL от текущего кода, для идеального 6 разрядного АЦП, и их рассчитанные значения с помощью общеприятного гистограммного метода и модифицированного метода связанных гистограмм. Из графиков видно, что алгоритм расчета DNL и INL для модифицированного метода связанных гистограмм не зависит от “обязательного” смещения входного сигнала на один интервал квантования.

На рисунке 4 представлены графики зависимостей действительных значений DNL и INL от текущего кода, введенные в модель 6 разрядного АЦП, и их рассчитанные значения с помощью общеприятного гистограммного метода и модифицированного метода связанных гистограмм при смещении исходного испытательного сигнала на величину $10, 15h_H$.

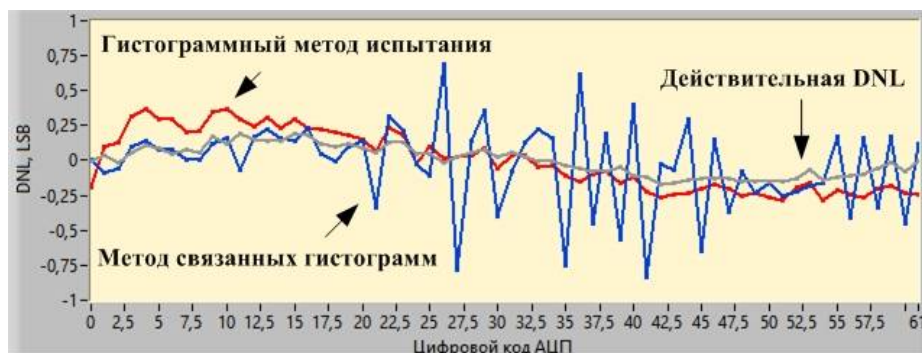


а) Графики зависимости DNL от текущего кода для 6 разрядного АЦП

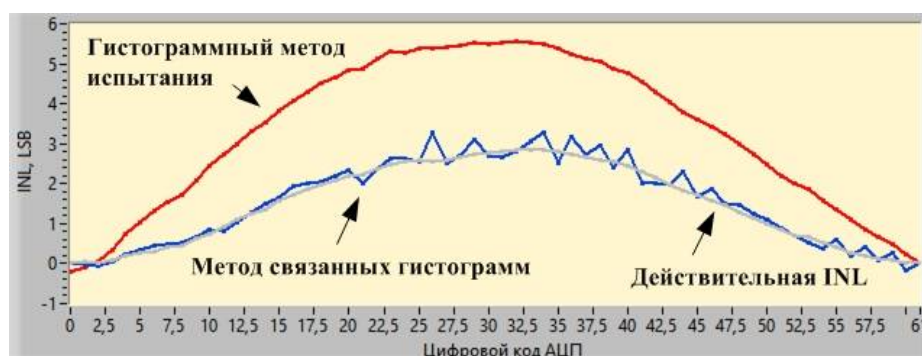


б) Графики зависимости INL от текущего кода для 6 разрядного АЦП

Рис. 3. Графики зависимостей DNL и INL от текущего кода для 6 разрядного АЦП с номинальной ФП при смещении исходного испытательного сигнала на величину равную $10, 15h_H$



а) Графики зависимости DNL от текущего кода для 6 разрядного АЦП



б) Графики зависимости INL от текущего кода для 6 разрядного АЦП

Рис. 4. Графики зависимостей DNL и INL от текущего кода для 6 разрядного АЦП при смещении исходного испытательного сигнала на величину равную $10,15 h_H$

Как видно из рисунков 3 и 4 графики зависимостей INL от текущего кода АЦП, полученные с помощью модифицированного метода, почти совпадают с их действительными значениями, что подтверждает эффективность предложенного метода. Результаты моделирования подтвердили надежность новых алгоритмов.

Библиографический список

1. Абрамов А.М., Бондарцев В.В., Гуржин С.Г., Жулев В.И., Каплан М.Б. и др. Виртуальные метрологические средства испытаний модулей АЦП для систем бортовых измерений // Вестник РГРТУ. №4 (выпуск 50). Часть 1. Рязань, 2014. С. 50-54.
2. Абрамов А.М. Метод связанных гистограмм при метрологических испытаниях АЦП // Цифровая обработка сигналов. 2023. №2. С. 74-76.
3. Абрамов А.М., Антонов В.В. Моделирование метода связанных гистограмм при метрологических испытаниях АЦП // Материалы докладов XXXVI Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы» (БИОМЕДСИСТЕМЫ – 2023). – Рязань: РГРТУ, 2023. С. 273-276.
4. Абрамов А.М. Недостатки метода связанных гистограмм при метрологических испытаниях АЦП // Материалы докладов XXXVI Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы» (БИОМЕДСИСТЕМЫ – 2023). – Рязань: РГРТУ, 2023. С. 276-278.
5. Абрамов А.М. Метод масштабно смещенной гистограммы при метрологических испытаниях параллельных АЦП // Материалы докладов VI Международного научно-технического форума «Современные технологии в науке и образовании» (СТНО-2023). – Рязань: РГРТУ, 2023. С. 161-164.
6. Абрамов А.М., Каплан М.Б., Никитин С.В., Садовский Г.А., Прошин Е.М. и др. Методы и средства автоматизации измерений и испытаний сложных объектов // Вестник РГРТУ. №2 – Выпуск 60. Рязань, 2017. С. 172-182.
7. Абрамов А.М., Гуржин С.Г., Жулев В.И., Прошин Е.М., Садовский Г.А. и др. Математическое и имитационное моделирование измерительных модулей аналого-цифрового преобразования // Вестник РГРТУ. №4 (выпуск 50). Часть 2. Рязань, 2014. С. 36-41.

УДК 621.371.391.2; ГРНТИ 90.27.32

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ В ДИАПАЗОНЕ ОТ 275 ДО 370 К

С.С. Румянцев

АО «Моринсис-Агат-КИП»
Рязань, R0806rus@yandex.ru

Аннотация. В работе рассмотрен метод измерения температуры путём импульсной рефлектометрии в диапазоне абсолютных температур от 275 до 370 К на основе существующего импульсного рефлектометрического уровнемера. Получена аппроксимация экспериментальной зависимости температуры от относительной диэлектрической проницаемости и оценены погрешности измерения и точность метода.

Ключевые слова: рефлектометрический уровнемер, импульсный рефлектометр, математическая модель, измерение температуры

MEASURING WATER TEMPERATURE BY PULSE REFLECTOMETRY METHOD IN THE RANGE FROM 275 TO 370 K

S.S. Rumyancev

JSC "Morinsis-Agat-KIP"
Ryazan, R0806rus@yandex.ru

Abstract. The paper discusses a method for measuring temperature by pulse reflectometry in the absolute temperature range from 275 to 370 K based on an existing pulse reflectometric level meter. An approximation of the experimental dependence of temperature on the relative dielectric constant was obtained and the measurement errors and accuracy of the method were assessed.

Keywords: reflectometric level gauge, pulsed reflectometer, mathematical model, temperature measurement.

Введение

Поддержание температурного режима паровых котлов высокого давления необходимо для их безопасной эксплуатации и стабильной работы. Превышение допустимой температуры может привести к закипанию теплоносителя (воды) и повреждению элементов теплового контура. Простейшим способом измерения температуры воды является установка термометров на входных и выходных трубах [1], данная методика применяется в котельных установках для обогрева зданий и сооружений [1]. Недостатком данного метода является необходимость ручного контроля температуры, если речь идёт об обычных термометрах, либо необходимость располагать электронный блок вблизи термопары, в интересах недопущения помех и повышения точности.

Альтернативным способом являются бесконтактные методы измерения температуры, однако пирометры подвержены воздействию внешних шумов и внешних факторов, влияющих на чувствительность и точность измерения [2, 3]. Кроме того, измерение пирометрическим методом производится снаружи парового котла высокого давления, то есть измеряется наружная температура стенок котла, трубопроводов и резервуаров парового контура.

Измерение рефлектометрическим методом основано на использовании эффекта изменения относительной диэлектрической проницаемости воды в зависимости от температуры [4]. Данный метод применяется, например, для измерения распределения температур вдоль оптического волокна, на основе рамановского и релеевского рассеяния сигналов [5]. При этом чувствительный элемент возможно поместить непосредственно в паровой котёл или иной резервуар парового контура, что обеспечит точность измерения. Кроме того, электронный блок можно отнести на значительное расстояние, порядка нескольких десятков метров от чувствительного элемента, это позволяет упростить обслуживание и использовать данную технологию в случаях экстремальных физических условий вблизи резервуара или котла, например, в первом конутре ядерной энергетической установки.

Целью данной работы является исследование точности измерения температуры воды в паровых котлах методом импульсной рефлектометрии в диапазоне 275 – 370 К.

Физический принцип и описание способа измерения

Измерение температуры предполагается проводить на базе существующего импульсного рефлектометрического уровнемера, предназначенного для измерения уровня воды в компенсаторах объёма и иных резервуарах первого контура ядерной энергетической установки, чувствительный элемент которого представляет собой жесткую фазостабильную коаксиальную линию передачи [6]. Физической основой для измерения является зависимость относительной диэлектрической проницаемости воды от температуры [4]. При этом меняется скорость v_u распространения зондирующего импульса равна

$$v_u = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon}}, \quad (1)$$

где $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, а ε – относительная диэлектрическая проницаемость воды

В этом случае необходимо установить в заполненной водой части чувствительного элемента импульсного рефлектометрического уровнемера две метки с фиксированным расстоянием L_M между ними. В этом случае, по рефлектограмме, определяется временная задержка τ_M , и, с учётом формулы (1), вычисляется относительная диэлектрическая проницаемость:

$$\varepsilon = \left(\frac{2 \cdot \tau_M \cdot c}{L_M} \right)^2. \quad (2)$$

Относительная погрешность измерения δ_ε относительной диэлектрической проницаемости в этом случае вычисляется с использованием формулы [7]:

$$\delta_\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln \varepsilon}{\partial \tau_M} \Delta \tau_M \right)^2 + \left(\frac{\partial \ln \varepsilon}{\partial L_M} \Delta L_M \right)^2}, \quad (3)$$

где $\Delta \tau_M$ – абсолютная погрешность измерения временной задержки τ_M , с;

ΔL_M – абсолютная погрешность измерения расстояния L_M между двумя метками, м.

Приняв L_M за постоянную величину и пренебрегая точность установки меток, представим формулу (2) в виде многочлена:

$$\varepsilon = K \cdot \tau_M^2, \quad (4)$$

где коэффициент $K = \left(\frac{2 \cdot c}{L_M} \right)^2$.

Тогда, прологарифмировав формулу (4), получим:

$$\ln \varepsilon = \ln K + 2 \cdot \ln \tau_M. \quad (5)$$

Учитывая, что производная от формулы (5) равна:

$$\frac{\partial \ln \varepsilon}{\partial \tau_M} = 2 \cdot \frac{1}{\tau_M}.$$

В таком случае формула (3) преобразуется к виду:

$$\delta_{\varepsilon} = \sqrt{\left(2 \cdot \frac{1}{\tau_M} \Delta \tau_M\right)^2} = 2 \cdot \delta_{\tau_M}, \quad (6)$$

где δ_{τ_M} – относительная погрешность измерения временной задержки.

Аппроксимация зависимости температуры от ε

Для измерения необходимо построить зависимость температуры воды T от относительной диэлектрической проницаемости, с учётом влияния давления пара (рисунок 1).

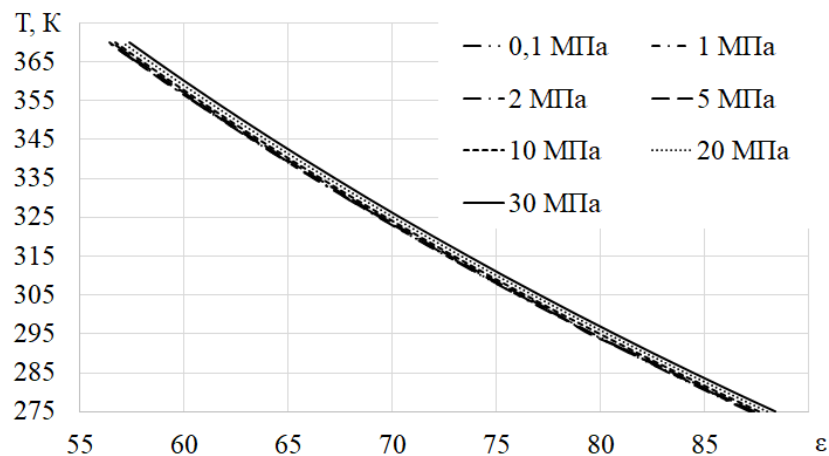


Рис. 1. Зависимость температуры воды от относительной диэлектрической проницаемости и давления

Из графика видно, что зависимость близка к линейной, при этом влияние давления незначительно. При вариации давления в пределах от 0,1 до 30 МПа отклонение диэлектрической проницаемости от усредненного значения не превышает 1,78%, а в среднем составляет 1,5%.

Усреднённую зависимость температуры воды от её относительной диэлектрической проницаемости (среднее арифметическое графиков, показанных на рисунке 1) можно аппроксимировать линейной функцией вида

$$T = k\varepsilon + b, \quad (7)$$

где коэффициент $k = \frac{\Delta T}{\Delta \varepsilon}$ характеризует тангенс угла наклона и для усреднённой кривой $k = -3,08241$.

Для нахождения коэффициента b составим выражение

$$b = T_1 - k\varepsilon_1, \quad (8)$$

где T_1 и ε_1 абсолютная температура и относительная диэлектрическая проницаемость в начале интервала. Для усреднённой кривой: $T_1 = 275\text{K}$ и $\varepsilon_1 = 87,55$. В этом случае выражение (7) с учётом (8) примет вид:

$$T = -3,08241(\varepsilon - 87,55) + 275. \quad (9)$$

Полученная эмпирическая зависимость применима в диапазоне абсолютных температур от 275 до 370 К при колебаниях давления от 0,1 до 30 МПа.

Оценка погрешности эмпирической зависимости

Для оценки погрешности эмпирической зависимости (9) построим её на одном графике с усреднённой экспериментальной кривой (рисунок 2).

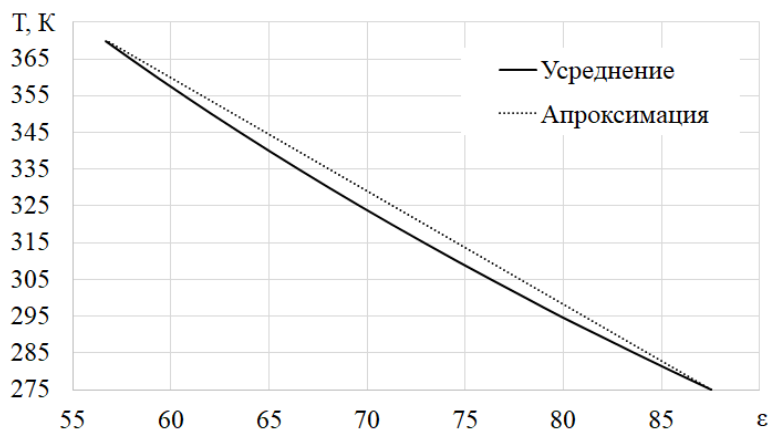


Рис. 2. Зависимость температуры воды от относительной диэлектрической проницаемости и давления

Анализ показывает, что максимальное отклонение температурной зависимости, полученной по формуле (9) от усредненных экспериментальных данных составляет 1,62%, а среднее значение отклонения – 1,03%. Выполнив одномерную оптимизацию зависимости по коэффициенту T_1 можно снизить максимальную погрешность до 0,909%, а среднюю до 0,525%. В этом случае выражение (9) примет оптимальный вид:

$$T = -3,08241(\varepsilon - 87,55) + 272,5. \quad (10)$$

Оценим погрешность измерения, с учётом формулы (6), для этого вычислим зависимость относительной погрешности измерения температуры δ_T от относительной погрешности измерения относительной диэлектрической проницаемости δ_ε . Так как температура пропорциональна $T \sim k\varepsilon$, то погрешность можно считать, что $\delta_T = \delta_\varepsilon$, однако при этом необходимо учесть собственную погрешность эмпирической зависимости. Таким образом, результирующая погрешность измерения температуры равна, с учётом формулы (6) и погрешности усреднения:

$$\delta_T = 2 \cdot \delta_{\varepsilon, M} \cdot 100\% + 2,689\%. \quad (11)$$

В результате, для обеспечения погрешности измерения температуры не более 5% нам потребуется обеспечить погрешность измерения временной задержки не более 1,16%. При допустимой погрешности измерения температуры 10%, погрешность измерения временной задержки не должна быть выше 3,66%.

Относительная диэлектрическая проницаемость ε лежит в диапазоне от 56,6 до 87,6 в заданном интервале температур, поэтому на метровом участке чувствительного элемента импульсного рефлектометрического уровнемера время задержки с учётом двойного прохождения составит от 0,50 до 62 нс. Требуемая абсолютная точность измерения при допустимой погрешности 10% составит 1,83 нс, а при допустимой погрешности 5% – 0,58 нс.

Вывод

Обобщая результаты проведенного исследования, можно утверждать, что обеспечение точного измерения температуры предложенным методом потребует высокой точности

определения временной задержки τ_M . Однако метод имеет ряд преимуществ, в частности возможность размещения чувствительного элемента в зоне с высокой радиацией и иными неблагоприятными физическими факторами, сочетанием уровнемера и измерителя температуры в одном устройстве и возможность разнесения с первичного преобразователя и электронного блока.

Библиографический список

1. СП89.13330.2012. Свод правил. Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76». Первое официальное опубликование: М.: Минрегион России, 2012, 36 с.
2. Тымкул, В. М. Методика расчета чувствительности пирометра при воздействии помех неоднородного фона [Текст] / В. М. Тымкул, Д. С. Шелковой // Изв. вузов. Приборостроение. - 2009. - Т. 52, № 1. - С. 78-82.
3. Тымкул, В. М. Математическая модель чувствительности пирометра при воздействии помех неоднородного фона / В. М. Тымкул, Д. С. Шелковой, Д. С. Слюсарев // ГЕО-Сибирь-2007. Т. 4. Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника: Ч. 2: сб. материалов III Междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2007», 25-27 апр. 2007 г., Новосибирск. - Новосибирск: СГТА, 2007. - С. 6-9
4. Fernandez D.P. A Formulation for the Static Permittivity of Water and Steam at Temperature from 238 K to 873 K at Pressures up to 1200 MPa, Including Derivatives and Debye-Hukel Coefficients / D.P. Fernandez, A.R.H. Goodwin, E. W. Lemmon et al. // J. Phys. Chem. Ref. Data. 1997. Vol. 26. P. 1125-1166
5. Белянко Е.В. Разработка и применение рамановского рефлектометра для системы контроля температуры оптических волокон на ВОЛС-ВЛ [Текст] / Е.В.Белянко, М.С.Зюзин, В.И.Бобров, М.Л.Гринштейн, О.И.Богданова, А.В.Орешкин // Фотоника №4/58/ 2016г, с. 80-93, DOI:10.22184/1993-7296.2016.58.4.80.93
6. Корячко В.П. Математическая модель рефлектометрического уровнемера для измерения уровня воды в контуре ядерной энергетической установки / В.П.Корячко, С.С.Румянцев, Л.В.Аронов // Вестник РГРТУ. Рязань. РГРТУ. 2023. Вып. 2 (84). С. 157-165.
7. Курепин В.В., Баранов И.В. Обработка экспериментальных данных: Метод. указания к лабораторным работам для студентов 1, 2 и 3-го курсов всех спец./ Под ред. В.А. Самолетова. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2003 – 57 с.

УДК 615.847.8; ГРНТИ 76.13.19

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОНОМНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ МАГНИТОПУНКТУРЫ

М.С. Степанов, М.Б. Каплан

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, ms.stepanov1@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается разработка автономного устройства для магнито-пунктуры. Проанализирована классификация магнитотерапевтических аппаратов, приведены два метода автоматического поиска акупунктурных точек на теле человека: с помощью тепловизора и с помощью электродов, представлен результат разработки структурной схемы устройства, рассмотрены алгоритмы и аппаратные средства поиска биологически активных точек и формирования магнитного поля. Рекомендован выбор конкретных элементов для построения отдельных модулей устройства. Указан вариант модификации с использованием мобильных устройств.

Ключевые слова: магнитотерапия, биологически активные точки (БАТ), магнито-пунктура.

DESIGNING AN AUTONOMOUS DEVICE FOR MAGNETIC ACUPUNCTURE

M.S. Stepanov, M.B. Kaplan

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, ms.stepanov1@mail.ru

The summary. This paper discusses the development of an autonomous device for magnetic puncture. The classification of magnetic therapy devices is analyzed, two methods of automatically searching for acupuncture points on the human body are given: using a thermal imager and using electrodes, the result of developing a block diagram of the device is presented, algorithms and hardware for searching biologically active points and forming a magnetic field are considered. It is

recommended to select specific elements for constructing individual device modules. An option for modification using mobile devices is indicated.

Keywords: magnetic therapy, biologically active points (BAP), magnetopuncture.

Многочисленные лабораторные и клинические опыты показали высокий лечебный эффект магнитотерапии, так магнитные поля активно влияют на обмен веществ, оказывают противовоспалительное, обезболивающее, спазмолитическое действия, вызывают многогранные ответные реакции организма [1]. Современные магнитотерапевтические аппараты позволяют формировать искусственные магнитные поля с заданными значениями биотропных параметров. В качестве исполнительного устройства используются электромагниты, выполняющие преобразования величины тока, подаваемого в обмотку, в магнитное поле. Применение подобных преобразователей обеспечивает генерацию полей меняющихся во времени по заданному закону, тем самым реализуя возможность создания поля заданной величины в течении необходимого интервала времени.

Как правило, в зависимости от степени локализации воздействия магнитотерапевтические аппараты делят на три класса [2]:

- локального (местного) воздействия;
- распределенного воздействия;
- общего воздействия.

К первому классу относят аппараты, содержащие один или два индуктора. Такие устройства, предназначенные для облучения магнитным полем некоторого органа или участка тела пациента. Особенностью этого класса является отсутствие пространственного перемещения магнитного поля.

Ко второму классу относят аппараты, содержащие ряд (три и более) индукторов, с помощью которых можно охватить ряд органов пациента или значительную область тела пациента и даже разместить на разных частях тела. Этот класс характеризуется возможностью перемещения магнитного поля в пространстве вокруг пациента.

В аппаратах третьего класса используют стационарные, достаточно объемные оконечные устройства, в которые помещают пациента. Их конструкция может быть разнообразной - от магнитного скафандра до магнитной комнаты.

В рамках работы выполнено проектирование устройства для магнитопунктуры. Основным назначением аппарат является поиск и стимуляции биологически активных точек на теле человека переменным магнитным полем. Подобный прибор относится к аппаратам первого класса в виду того, что размер области воздействия составляет единицы миллиметров, а для формирования магнитного поля используется один индуктор-электромагнит. Выбор параметров воздействующего поля, а также методики реализации генератора магнитного поля осуществлялся с учетом особенностей объекта воздействия.

Биологически активные точки (БАТ) – это специфические области на поверхности кожи, которые отличаются от других участков тела человека аномальной электрической проводимостью. Именно по характеристикам кожи регистрируемых в этих точках можно наблюдать ответную реакцию организма на различные внешние и внутренние воздействия. Точки акупунктуры характеризуются наличием рыхлой соединительной ткани, содержащей множество нервных рецепторов и свободных нервных окончаний, а также разветвленной сосудистой системой и клеточными элементами, содержащими биологически активные вещества.

Существует несколько подходов поиска акупунктурных точек на теле человека [3]. Первый способ заключается в поиске точек акупунктуры с помощью тепловизора, так точка акупунктуры может находиться в трех функционально стабильных состояниях:

1 – гипертермичном, когда температура БАТ более чем на 0,8 °С выше температуры окружающей кожи;

2 – гипотермичном, когда она более чем на $0,8^{\circ}\text{C}$ холоднее окружающей кожи;

3 – изотермичном, когда градиент температуры между акупунктурной точкой и окружающими тканями не превышает $0,8^{\circ}\text{C}$.

Другой метод поиска точек акупунктуры заключается в измерении электрокожного сопротивления участка кожи. Характерным моментом этого метода является заметное снижение сопротивления кожи на участке локализации БАТ.

Основные требования, предъявляемые к проектируемому устройству, следующие: малые габаритные размеры, удобство, безопасность и комфорт при эксплуатации, автономный режим работы, индикация поиска БАТ, наличие беспроводного интерфейса связи для конфигурирования текущего режима генерации магнитного поля и сбора статистической информации о фиксируемых БАТ. При выборе решений по реализации отдельных функций учитывались варианты, представленные в приборах-аналогах, таких как аппарате для магнитопунктуры «Адаптон», а также рекомендации по исследованию сложных объектов [4].

Основными этапами функционирования устройства являются: поиск БАТ и генерация магнитного поля. Кроме того, определены функции по контролю заряда батареи, беспроводной передачи данных, индикации текущего состояния. В связи с чем предлагается структурная схема устройства, представленная на рисунке.

Для поиска БАТ был выбран метод, осуществляющий измерение проводимости кожи. Точность локализации задавалась равной 2 мм. Для организации измерительного контура дополнительно требуется использовать индифферентный электрод. Пороговое срабатывания системы идентификации наличия БАТ была выбрана как относительное приращение сопротивления на 200 кОм, при базовом уровне сопротивления 1 – 1,4 МОм. Дополнительно было выполнено проектирование контура ограничения максимального значения зондирующего тока. Для формирования тока использовался генератор прямоугольных импульсов, построенный на базе операционных усилителей, а также усилительный выходной каскад с датчиком тока. Применение переменного сигнала необходимо для исключения эффекта поляризации, что характерно при использовании постоянного тока. Запуск и остановка генератора выполнялись по сигналам с блока управления, построенного на базе микроконтроллера ATmega1284. Для регистрации уровня проводимости применялась мостовая схема, в которой участок между активным и индифферентным электродами рассматривался в качестве измеряемого сопротивления.

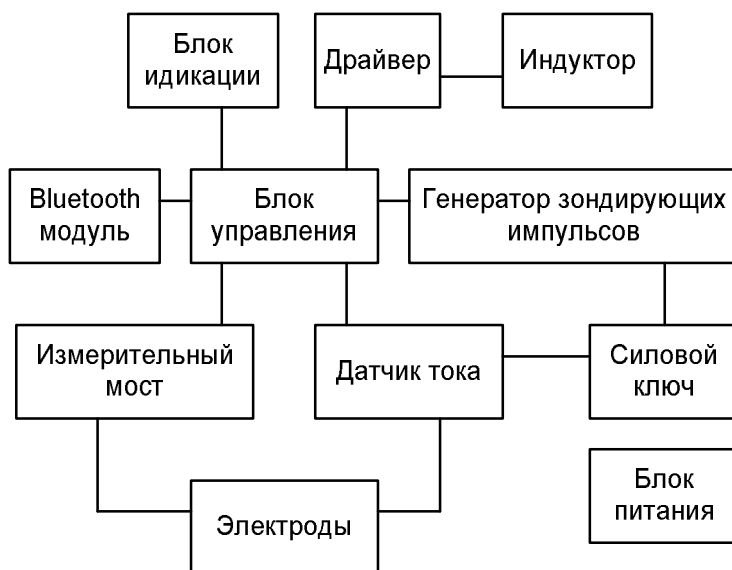


Рис. Структурная схема проектируемого устройства

Исходно, алгоритм поиска БАТ начинается при нажатии кнопки «Старт», после чего блок управления запускает генератор прямоугольных импульсов и циклически в непрерывном режиме выполняет опрос АЦП, входы которого подключены к диагонали измерительного моста и к датчику тока. В случае превышения показаний сигнала с датчика тока блок управления экстренно прерывает работу генератора прямоугольных импульсов и включает сигнализатор ошибки измерения – индикатор № 1, входящий в состав блока индикации. При анализе сигнала с измерительного моста предварительно фиксируется текущий уровень сигнала и распознается факт уменьшения измеряемого сопротивления на заданный пороговый уровень. Непосредственно в процессе поиска БАТ предполагается перемещение активного электрода по поверхности кожи, поэтому кроме факта значительного снижения сопротивления определяется момент последующего роста показания сопротивления, о котором устройство информирует пользователя световой индикатор № 2, расположенный в блоке индикации. Для достижения заданной точности определения местоположения БАТ необходимо, чтобы перемещений активного электрода выполнялось равномерно с постоянным нажимом и со скоростью 2 мм/сек. После окончания процесса поиска местоположения БАТ не отрывая электрод следует повторно нажать кнопку «Старт» для запуска процесса магнитотерапевтического воздействия.

Формирование магнитного поля осуществляется с помощью индуктора в качестве которого используется электромагнит, представляющий собой катушку индуктивности круглого сечения с сердечником из электротехнической стали. Использование микроконтроллера позволяет синтезировать сложный управляющий сигнал, меняющийся в диапазоне до единиц кГц. Для получения управляющего сигнала заданной формы, а также для обеспечения требуемого уровня тока в структуре устройства используется драйвер А4950, обеспечивающего формирования ШИМ сигнала на выходе и имеющий встроенную защиту по температуре и току. Исходная кодовая последовательность, определяющая управляющий сигнал для индуктора в рамках текущей магнитотерапевтической процедуры, должна быть предварительно записана в микроконтроллер, либо передана в блок управления по беспроводному каналу связи Bluetooth. Организация канала связи выполняется за счет OEM-модуля НМ-11. Отличительными особенностями этого модуля являются наличие стандартного интерфейса связи UART, поддержка режима BLE и возможность использования AT-команд. О начале и об окончании магнитотерапевтической процедур сигнализирует также световой индикатор № 2.

Для выполнения требования автономности работы устройства прибора снабжен двумя источниками питания 3,7 В включенных последовательно. Для контроля уровня заряда используется компаратор и источник опорного напряжения, встроенный в микроконтроллер. При снижении уровня заряда меньше 5 В включается световой индикатор № 1 в режиме многократного периодического включения.

Предполагается, что аппарат для магнитопунктуры будет функционировать в двух режимах: независимый и управляемый мобильным устройством. В первом режиме, представленный в текущей реализации, используются алгоритмы и сигналы управления, заданные в первоначальной прошивке микроконтроллера устройства. Во втором режиме возможна коррекция управляющих последовательностей. Указанные действия могут быть выполнены на основе дополнительных сведений, получаемых мобильным устройством от внешних источников данных. Здесь возможно использование мощностей современных смартфонов, обладающих высокопроизводительными контроллерами и доступом к ресурсам сети интернет. Фактически применение мобильного устройства позволит снизить вычислительную нагрузку с микроконтроллера устройства для магнитопунктуры. Перспективным вариантом может стать дистанционное обновление магнитотерапевтических методик в соответствии с рекомендациями лечащего врача. В этом случае смартфон будет выступать в качестве связующего звена между устройством и удаленной базой данных, доступ к методикам которой определяет врач.

В рамках исходной разработки была предложена структура устройства для магнито-пунктуры. Отличительными особенностями являются наличие режима поиска БАТ на основе измерения проводимости, возможность генерации магнитного поля с заданным временным распределением, наличие беспроводного канала связи, автономный режим работы с контролем уровня заряда батареи, наличие средств защиты от превышения зондирующего тока. Также был построен алгоритм функционирования, определяющий последовательность действий при поиске БАТ

Библиографический список

1. С.Г. Гуржин, В.И. Жулев, М. Б. Каплан, и др. Этапы развития систем комплексной хрономагнитотерапии // Вестник РГРТУ, No 60, 2017. – С. 184-194.
2. Магнитотерапия: теоретические основы и практическое применение / В.С. Улащик; под общ. Ред. В.С. Улащика. - Минск : Беларуская навука, 2015. - 379 с.
3. С.Г. Гуржин, А.А. Дунаев, Л.П. Жалненкова. Адаптивный корреляционный анализ биоэлектрических сигналов. // Вестник РГРТУ, No 46, 2013. – С. 41-43.
4. А.М. Абрамов, В.В. Бондарцев, С.Г. Гуржин и др. Методы и средства автоматизации измерений и испытаний сложных объектов // Вестник РГРТУ, No 60, 2017. – С. 171-182.

УДК 550.34.063; ГРНТИ 37.31.02

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ И УТОЧНЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Ж.К. Мендакулов

ТОО «Институт ионосферы»,
Алматы, Республика Казахстан, m_m_zhas@mail.ru

Аннотация. В статье представлен результат сравнительного анализа геомагнитных вариаций при землетрясении и без землетрясения. Анализ для 4 дней показал значительное изменение магнитного поля при землетрясении для всех 3 компонентов. Также, в статье предложен метод уточнения времени землетрясения по геомагнитным записям.

Ключевые слова: геомагнитные вариации, сейсмограмма, землетрясение, предвестники.

COMPARATIVE ANALYSIS OF GEOMAGNETIC VARIATIONS AND CLARIFICATION OF EARTHQUAKE TIME CHARACTERISTICS

Zh.K. Mendakulov

«Institute of Ionosphere»,
Almaty, Republic of Kazakhstan, m_m_zhas@mail.ru

Abstract. The article presents the result of a comparative analysis of geomagnetic variations during an earthquake and without an earthquake. The analysis for 4 days showed a significant change in the magnetic field during an earthquake for all 3 components. The article also proposes a method for clarifying the earthquake time based on geomagnetic records.

Keywords: geomagnetic variations, seismogram, earthquake, precursors.

22 Января 2024 года в 18:09:04 (UTC) в 129 км в направлении Запад-Северо-Запад от Айкол в Китае произошло землетрясение. Координаты очага: 41.263° с. ш., 78.654° в. д. Магнитуда: 7 mww. Глубина: 13 км [1]. Расстояние до города Алматы в Казахстане: 260 км. Ощутимость в городе Алматы: 5 баллов по шкале MSK-64 [2].

В статье приведены результаты сравнительного анализа геомагнитных вариаций при землетрясении и без землетрясения. На рисунках 1, 2, 3 показаны магнитограммы соответственно X, Y, Z компонентов магнитного поля Земли для 4 дней с указанием времени начала землетрясения в очаге. Анализ для 4 дней показал значительное изменение магнитного поля при землетрясении для всех 3 компонентов.

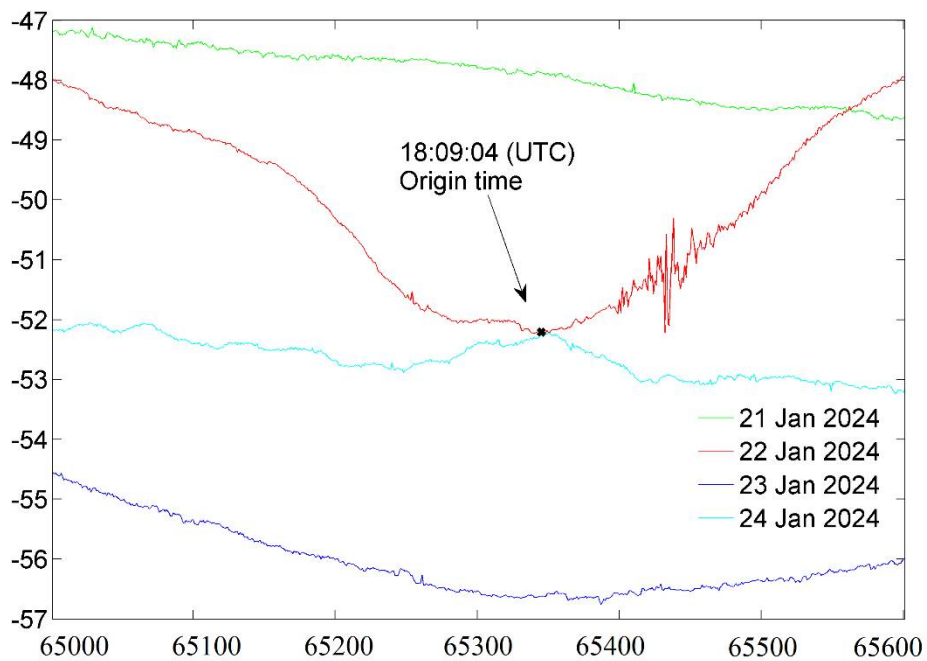


Рис. 1. Магнитограммы X компонента магнитного поля Земли для 4 дней с указанием времени начала землетрясения в очаге

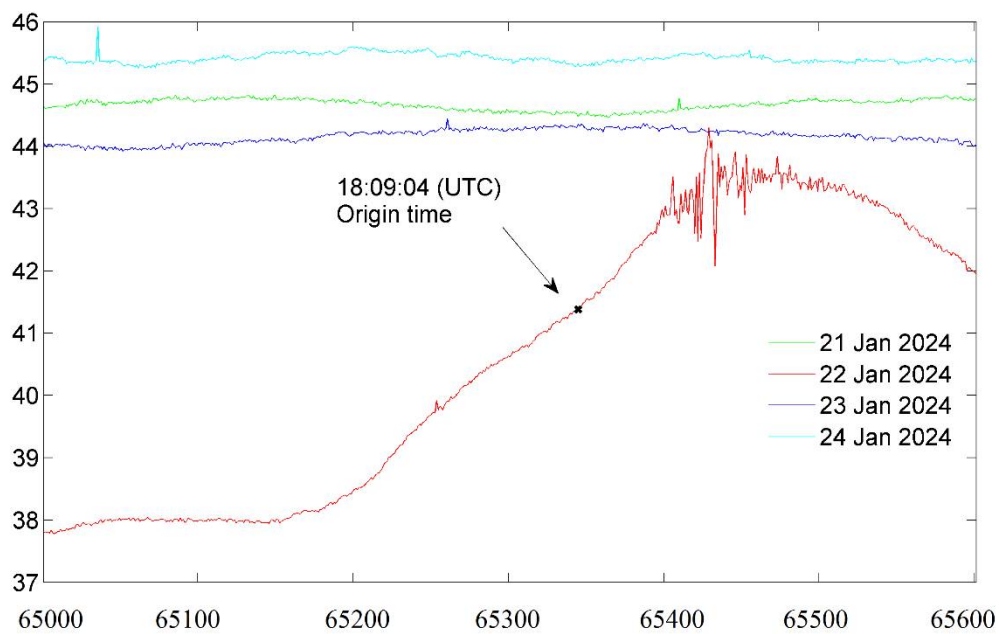


Рис. 2. Магнитограммы Y компонента магнитного поля Земли для 4 дней с указанием времени начала землетрясения в очаге

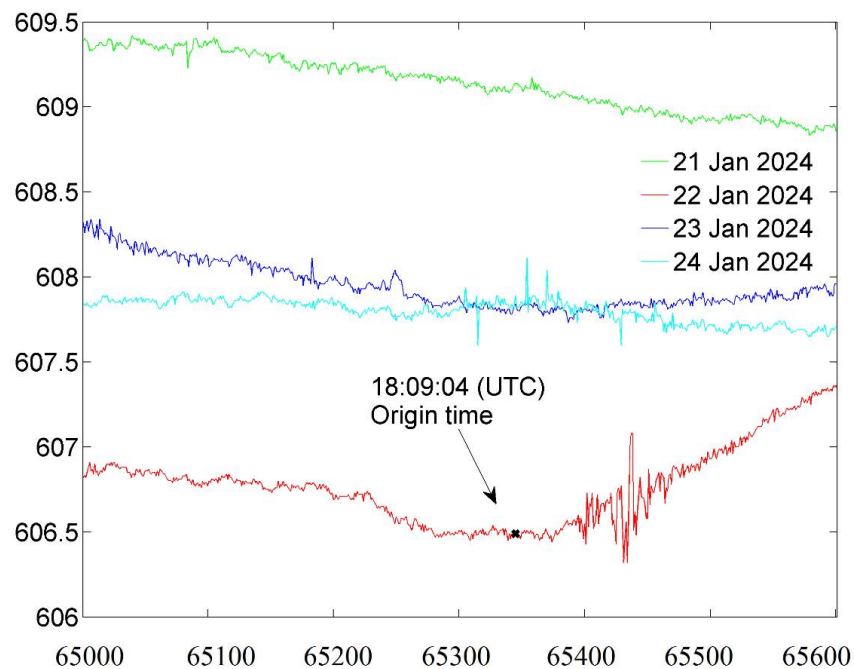


Рис. 3. Магнитограммы Z компонента магнитного поля Земли для 4 дней с указанием времени начала землетрясения в очаге

В работах [3-6] авторы связывают геомагнитные вариации с землетрясениями.

Данные сейсмологической станции с кодом ААА в Алматы для 22 Января 2024 года (UTC) позволяет провести сравнительный анализ времени прихода Р и S волн:

- время вступления Р-волны: 18:09:46 (UTC);
- время вступления S-волны: 18:10:19 (UTC).

Анализ показывает, что магнитограммы также могут быть использованы в качестве средства уточняющего время начала землетрясения.

Финансирование

«Данное исследование финансировалось Комитетом Науки Министерства Науки и Высшего Образования Республики Казахстан (Грант № AP19679336)»

Библиографический список

1. M 7.0 - 129 km WNW of Aykol, China [Электронный ресурс] // USGS Earthquake Hazards Program. URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000l5ze/executive> (дата обращения: 26.02.2024).
2. Оперативная информация о произошедшем землетрясении 23.01.2024 г. [Электронный ресурс] // Сайт Казахстанского национального центра данных. URL: <https://kndc.kz/index.php/home-ru/kndcnews/227-operativnaya-informatsiya-o-proizoshedshem-zemletryaseni-23-01-2024-g> (дата обращения: 26.02.2024).
3. Mihai, A.; Toader, V.-E.; Moldovan, I.-A.; Radulian, M. Exploring the Relationship between Geomagnetic Variations and Seismic Energy Release in Proximity to the Vrancea Seismic Zone. *Atmosphere* 2023, 14, 1005. <https://doi.org/10.3390/atmos14061005>
4. Spivak A.A., Riabova S.A. Geomagnetic variations during strong earthquakes // *Физика Земли*. - 2019. - N. 6. - P. 3-12. doi: 10.31857/S0002-3337201963-12
5. Riabova, S.A., Shalimov, S.L. Geomagnetic Variations Observed on the Earth's Surface and Associated with Strong Earthquakes. *Izv., Phys. Solid Earth* 58, 469–483 (2022). <https://doi.org/10.1134/S1069351322040085>
6. S. Wu, T. Yuan, Y. Tang, B. Zhang and D. Wei, "Geomagnetic Precursor Z Component Diurnal Variation Phase Anomaly Recognition based on the Pattern Distance," 2010 10th IEEE International Conference on Computer and Information Technology, Bradford, UK, 2010, pp. 1229-1234, doi: 10.1109/CIT.2010.222.

УДК 550.34.063; ГРНТИ 37.31.02

АНАЛИЗ ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ МАГНИТУДОЙ $M=7.0$, ПРОИЗОШЕДШЕГО 22 ЯНВАРЯ 2024 ГОДА

Ж.К. Мендакулов

ТОО «Институт ионосферы»,

г. Алматы, Республика Казахстан, m_m_zhas@mail.ru

Аннотация. В статье представлен результат анализа геомагнитных вариаций, проведённого в сравнении с сейсмограммами землетрясения, произошедшего 22 Января 2024 года в 18:09:04 (UTC) в 129 км в направлении Запад-Северо-Запад от Айкол в Китае, с ощутимостью в городе Алматы: 5 баллов по шкале MSK-64. Результаты показали отсутствие связи геомагнитных вариаций на магнитограмме в момент колебаний в городе Алматы с акустико-гравитационными волнами. На магнитограмме отображены моменты прихода P и S волн и амплитуды соответствующих сотрясений в сравнении с сейсмограммами. Также, замечены изменения магнитного поля перед началом землетрясения в очаге.

Ключевые слова: геомагнитные вариации, сейсмограмма, землетрясение, предвестники.

ANALYSIS OF GEOMAGNETIC VARIATIONS DURING THE EARTHQUAKE OF MAGNITUDE $M=7.0$, WHICH OCCURRED ON JANUARY 22, 2024

Zh.K. Mendakulov

«Institute of Ionosphere»,

Almaty, Republic of Kazakhstan, m_m_zhas@mail.ru

Abstract. The article presents the result of an analysis of geomagnetic variations conducted in comparison with seismograms of the earthquake that occurred on January 22, 2024 at 18:09:04 (UTC) 129 km West-Northwest of Aykol in China, with a perceptibility in Almaty: 5 points on the MSK-64 scale. The results showed the absence of a connection between geomagnetic variations on the magnetogram at the time of oscillations in the city of Almaty and acoustic-gravitational waves. The magnetogram shows the moments of arrival of P and S waves and the amplitudes of the corresponding shocks in comparison with seismograms. Also, changes in the magnetic field were observed before the earthquake in the hearth.

Keywords: geomagnetic variations, seismogram, earthquake, precursors.

В статье приведены результаты анализа геомагнитных вариаций в сравнении с сейсмограммами землетрясения, произошедшего 22 Января 2024 года в 18:09:04 (UTC) в 129 км в направлении Запад-Северо-Запад от Айкол в Китае. Координаты очага: 41.263° с. ш., 78.654° в. д. Магнитуда: 7 mww. Глубина: 13 км [1]. Расстояние до города Алматы в Казахстане: 260 км. Ощутимость в городе Алматы: 5 баллов по шкале MSK-64 [2].

На рисунке 1 представлена запись сейсмологической станции города Алматы (код станции ААА) от 22 Января 2024 года (UTC).

Значения обозначений ННЗ, ННН, ННЕ:

– первая буква представляет информацию о резонансной частоте сейсмического датчика. Букве Н соответствует частота 100 Гц;

– вторая буква представляет информацию о дальности события. Букве Н соответствует глобальное событие;

– третья буква представляет информацию о канале регистрации. Вертикальному каналу соответствует буква Z, каналу север-юг соответствует буква N, каналу восток-запад соответствует буква E.

Из очага, или гипоцентра землетрясения во все стороны расходятся продольные и поперечные волны.

При распространении продольной, или P-волны (undae primae) частицы породы перемещаются вперёд и назад вдоль направления движения волны. Скорость волны около 8 км/с.

При распространении поперечной, или S-волны (undae secundae) частицы породы перемещаются перпендикулярно к направлению, в котором она распространяется. Скорость волны около 4.5 км/с.

На сейсмограмме стрелками указаны моменты прихода продольной и поперечной волн:

– время вступления Р-волны: 18:09:46 (UTC);

– время вступления S-волны: 18:10:19 (UTC).

Разница времён вступления Р и S волн: 33 с.

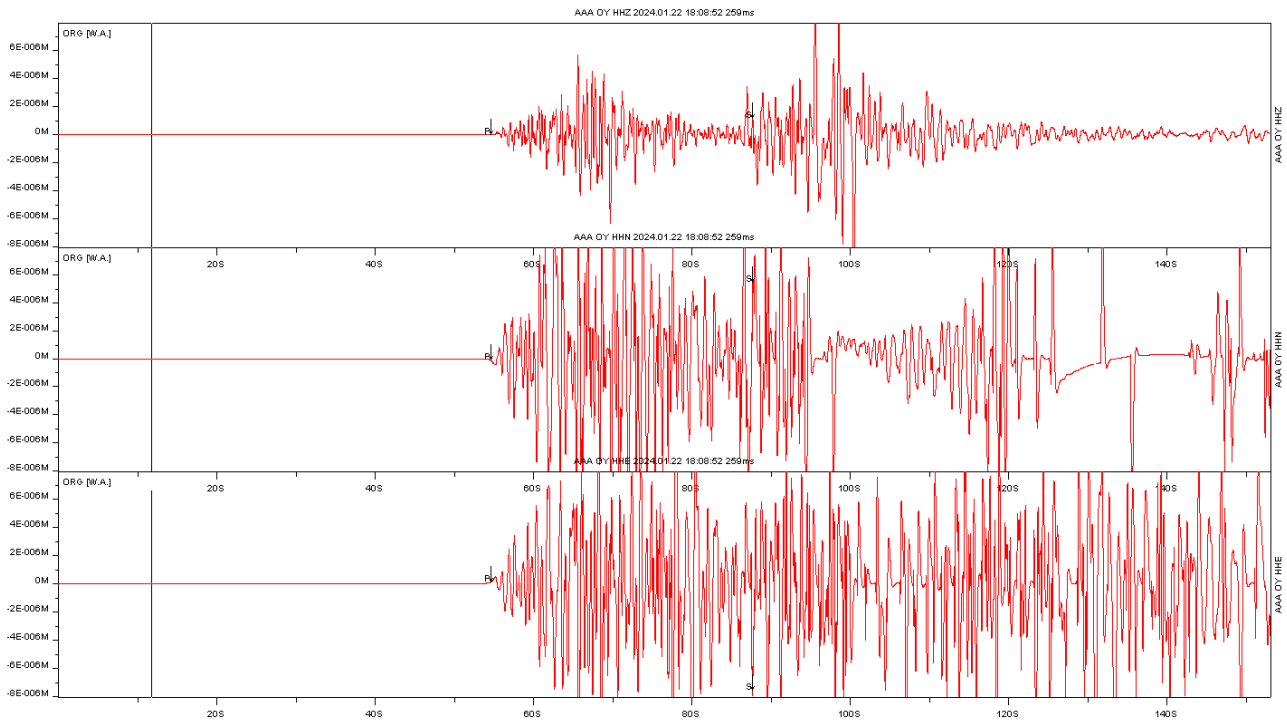


Рис. 1. NHZ, HNN, HNE сейсмограммы станции AAA с указанием моментов прихода Р и S волн

На рисунках 2, 3, 4 представлены секундные записи соответственно X, Y, Z компонентов магнитного поля Земли, полученные магнитной обсерваторией Института Ионосферы города Алматы.

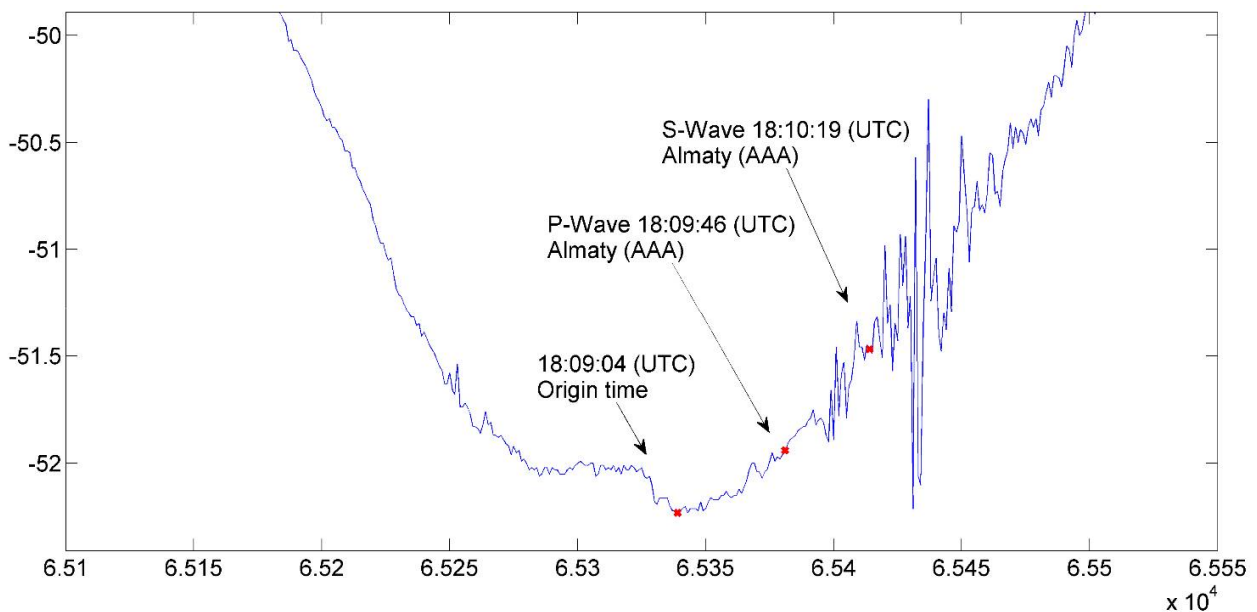


Рис. 2. Запись X компонента магнитного поля Земли с указанием времени начала землетрясения в очаге и моментов вступления Р и S волн, соответствующих моментам на сейсмограмме

На магнитограммах стрелками указаны время начала землетрясения в очаге и моменты вступления P и S волн, соответствующие моментам на сейсмограмме. X, Y и Z компоненты магнитного поля Земли соответствуют истинному северу, востоку и направлению вертикально вниз соответственно.

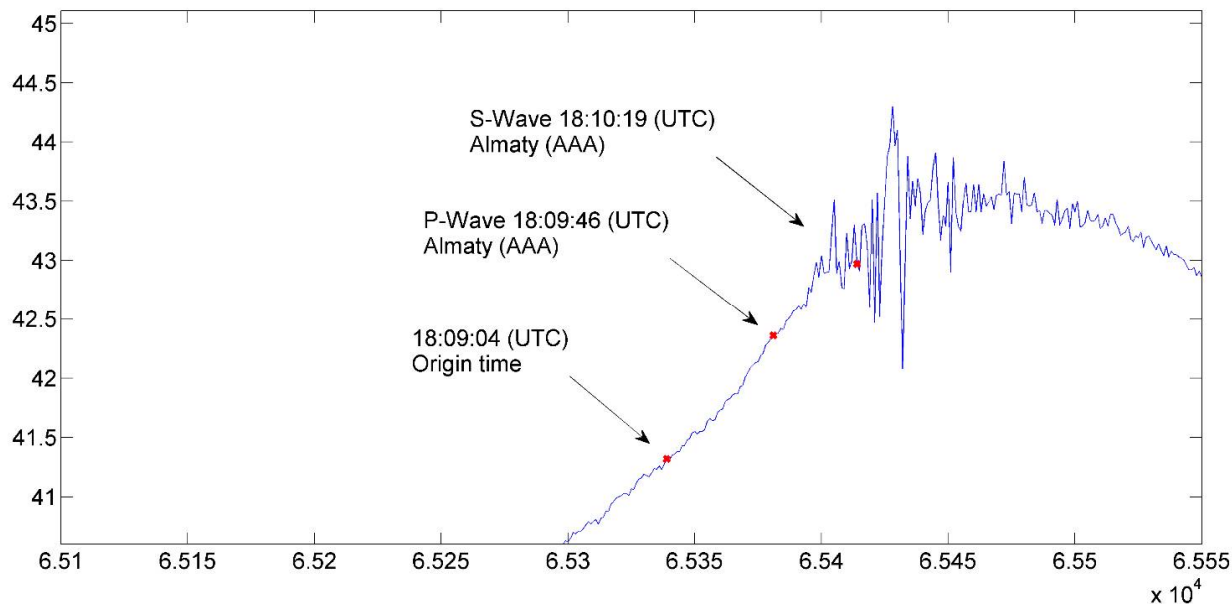


Рис. 3. Запись Y компонента магнитного поля Земли с указанием времени начала землетрясения в очаге и моментов вступления P и S волн, соответствующих моментам на сейсмограмме

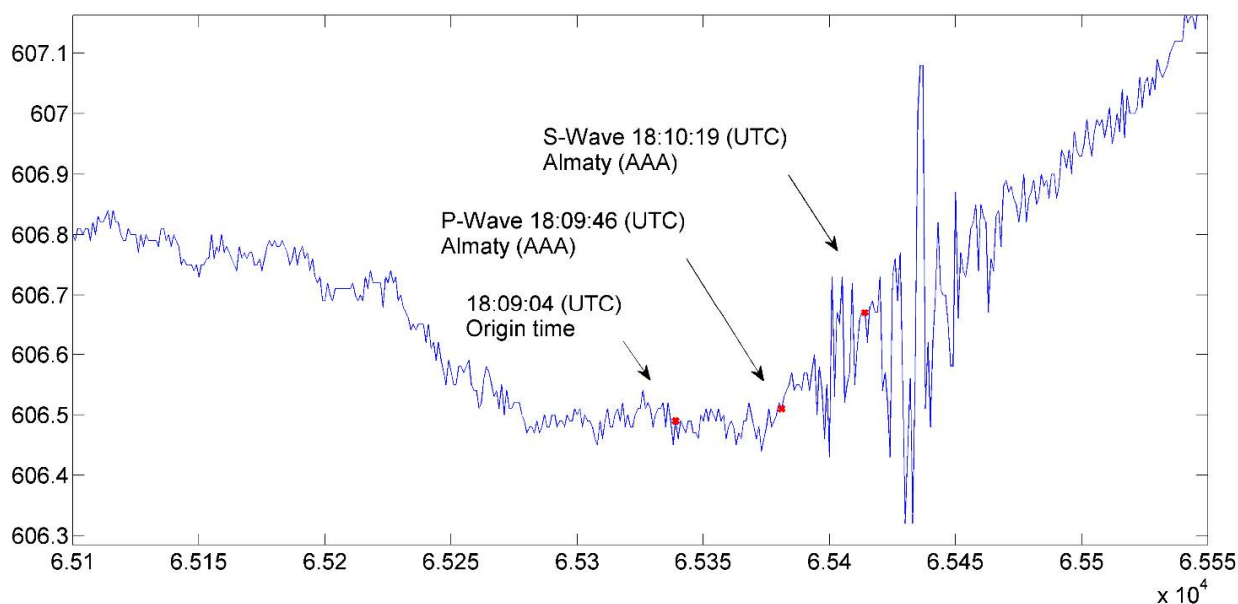


Рис. 4. Запись Z компонента магнитного поля Земли с указанием времени начала землетрясения в очаге и моментов вступления P и S волн, соответствующих моментам на сейсмограмме

Сравнивая записи можно увидеть, что время вступления P и S волн на сейсмограмме соответствует времени начала резкого изменения магнитного поля на магнитограмме. Следовательно, сотрясение здания магнитной обсерватории вместе с Землёй приводит к резким изменениям записи магнитного поля. Следовательно, в данном случае изменения магнитного поля на магнитограмме не связаны с акустико-гравитационными волнами.

На сейсмограмме можно увидеть, что отношение амплитуд сотрясений после прихода P-волны к амплитудам сотрясений после прихода S-волн около 0.7-1. На магнитограмме от-

ношения амплитуд сотрясений после прихода Р-волны к амплитудам сотрясений после прихода S-волн около 0.25-0.4. Следовательно, отклонения записи магнитного поля после прихода Р-волны меньше, чем на сейсмограмме.

При начале землетрясения в очаге в Х компоненте на магнитограмме можно увидеть резкое уменьшение магнитного поля. В данном случае, изменения записи магнитного поля не связаны с сотрясением здания, и вместе с ним магнитометра. Возможную корреляцию двух событий подтверждают несколько работ. В статье [3] авторы связывают влияние землетрясения на Y-компоненту магнитограммы. В статьях [4-6] авторы подтверждают наличие связи геомагнитных вариаций с землетрясением.

Финансирование

«Данное исследование финансировалось Комитетом Науки Министерства Науки и Высшего Образования Республики Казахстан (Грант № AP19679336)»

Библиографический список

1. M 7.0 - 129 km WNW of Aykol, China [Электронный ресурс] // USGS Earthquake Hazards Program. URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000lsize/executive> (дата обращения: 26.02.2024).
2. Оперативная информация о произошедшем землетрясении 23.01.2024 г. [Электронный ресурс] // Сайт Казахстанского национального центра данных. URL: <https://kndc.kz/index.php/home-ru/kndcnews/227-operativnaya-informatsiya-o-proizoshedshem-zemletryasenii-23-01-2024-g> (дата обращения: 26.02.2024).
3. Mihai, A.; Toader, V.-E.; Moldovan, I.-A.; Radulian, M. Exploring the Relationship between Geomagnetic Variations and Seismic Energy Release in Proximity to the Vrancea Seismic Zone. Atmosphere 2023, 14, 1005. <https://doi.org/10.3390/atmos14061005>
4. Spivak A.A., Riabova S.A. Geomagnetic variations during strong earthquakes // Физика Земли. - 2019. - N. 6. - P. 3-12. doi: 10.31857/S0002-3337201963-12
5. Riabova, S.A., Shalimov, S.L. Geomagnetic Variations Observed on the Earth's Surface and Associated with Strong Earthquakes. Izv., Phys. Solid Earth 58, 469–483 (2022). <https://doi.org/10.1134/S1069351322040085>
6. S. Wu, T. Yuan, Y. Tang, B. Zhang and D. Wei, "Geomagnetic Precursor Z Component Diurnal Variation Phase Anomaly Recognition based on the Pattern Distance," 2010 10th IEEE International Conference on Computer and Information Technology, Bradford, UK, 2010, pp. 1229-1234, doi: 10.1109/CIT.2010.222.

УДК 621.3.087.44; ГРНТИ 76.13.25

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТЕЙ КАРДИОИНТЕРВАЛОВ ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОМЕХ И АРТЕФАКТОВ В ХОДЕ СЕАНСА МАГНИТОТЕРАПИИ

С.Г. Гуржин, А.В. Шуляков, В.И. Жулев

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, gurzhin@mail.ru

Аннотация. Предложена методика и аппаратно-программные средства съема, преобразования, обработки, регистрации, оперативного анализа и измерения длительностей кардиоинтервалов пульсовой волны пациента в ходе сеанса магнитотерапии, которые используются для определения его текущего функционального состояния и различных значимых диагностических показателей. Реализация методики представляет собой модификацию методов корреляционного анализа и синхронного усреднения, позволяющую повысить помехоустойчивость работы алгоритмов и точность измерения длительностей кардиоинтервалов, а соответственно повысить диагностическую точность.

Ключевые слова: магнитотерапия, вариационная пульсометрия, пульсовая волна, длительность кардиоинтервала, оперативная диагностика, виртуальный прибор.

METHOD FOR MEASURING THE DURATIONS OF CARDIO INTERVALS OF THE PULSE WAVE UNDER THE INFLUENCE OF INTERFERENCE AND ARTIFACTS DURING A MAGNETOTHERAPY SESSION

S.G. Gurzhin, A.V. Shuljakov, V.I. Zhulev

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, gurzhin@mail.ru

Annotation. A methodology and hardware and software for recording, converting, processing, recording, operational analysis and measuring the duration of cardiointervals of a patient's pulse wave during a magnetic therapy session are proposed, which are used to determine his current functional state and various significant diagnostic indicators. The implementation of the technique is a modification of the methods of correlation analysis and synchronous averaging, which makes it possible to increase the noise immunity of the algorithms and the accuracy of measuring the durations of cardiac intervals, and accordingly increase the diagnostic accuracy.

Keywords: magnetic therapy, variation pulsometry, pulse wave, cardiointerval duration, operational diagnostics, virtual device.

Для повышения эффективности низкочастотной, низкоинтенсивной хрономагнитотерапии общего воздействия с помощью комплекса «Мультимаг» [1, 2] уже на протяжении многих лет используются аппаратно-программные средства непрерывного контроля и количественной оценки одного из жизненно важных показателей пациента частоты сердечных сокращений (ЧСС) в виде датчика фотоплетизмограммы (ФПГ), устройства сбора данных и программных модулей. Однако, используемый показатель для рассматриваемого применения, оказывается недостаточно информативным и представляет собой усредненное значение на выбранном интервале времени:

$$\text{ЧСС} = \frac{60}{T_{cp}},$$

где 60 – количество секунд в минуте;

T_{cp} – средняя длительность кардиоинтервала (КИ), выраженная в секундах:

$$T_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i,$$

где T_i – измеренное значение i -го КИ;

N – количество КИ в принятом объеме выборки.

Поскольку продолжительность сеанса магнитотерапии, как правило, составляет от 20 до 30 минут, то для врача весьма актуальной является задача получения за короткий интервал времени максимума информации об ответной реакции организма пациента на заданный им набор биотропных параметров магнитного воздействия.

Для решения этой задачи предлагается использовать уже апробированный и доказавший свою эффективность уникальный метод анализа variability сердечного ритма (ВСР), который был разработан в начале 60-х годов 20-го столетия применительно к космической кардиологии рядом отечественных ученых исследователей под руководством Баевского Р.М. [3, 4]. Глубокое и детальное изучение вопросов, связанных с оценкой состояния механизмов регуляции физиологических функций, где система кровообращения рассматривается как индикатор адаптационных реакций всего организма, позволило опубликовать в этом направлении еще несколько основополагающих книг [5, 6]. В 1984 году вышла в свет первая в мире монография по математическому анализу ВСР [7], а изложенная в ней методология получила научное признание и нашла широкое применение в различных областях медицины и физиологии.

Главными аргументами выбора метода ВСР и реализации его в комплексе хрономагнитотерапии «Мультимаг» для непрерывного мониторинга функционального состояния пациента в ходе лечения явились следующие теоретические положения и практические рекомендации, приведенные в работах [8, 9]:

- метод позволяет объективно и количественно оценить **текущие состояние системы регуляции кровообращения человека**, которая быстро изменяет свои параметры для достижения оптимального для организма приспособительного ответа, отражающего адаптационную реакцию целостного организма;
- характерной особенностью метода является его **неспецифичность** по отношению к различным заболеваниям и **высокая чувствительность** к самым разнообразным внутренним и внешним воздействиям;
- метод ориентирован, прежде всего, на **«короткие» записи сердечного ритма** от нескольких минут до нескольких часов;
- метод пригоден для любых кардиографических записей (электрических, механических, ультразвуковых, **оптических** и т.д.) и, в частности, при записи **сигнала пульсовой волны** с помощью **фотоплетизмографа**;
- в России приняты меры по **стандартизации** методик и подходов к анализу данных ВСР, чтобы результаты разных исследований могли сопоставляться между собой, которые представлены в методических рекомендациях [9];
- единственным источником информации о ВСР для метода является **динамический ряд КИ**, полученный тем или иным кардиографическим способом;
- использование только динамического ряда КИ в ходе сеанса магнитотерапии позволит существенно расширить **диагностические возможности**, проводя **временной (статистический), частотный и корреляционный анализы** по разным направлениям и оценивая значимые количественные показатели ВСР.

Для реализации метода анализа ВСР по всем указанным направлениям в комплексе хрономагнитотерапии «Мультимаг» и его модификации «Релаксмаг» разработаны аппаратно-программные средства съема и преобразования сигнала пульсовой волны, предварительной его обработки, регистрации, выделения импульсов сердечного ритма, измерения длительности КИ и формирования динамического ряда КИ.

Методика реализована на базе компьютера комплекса «Мультимаг» с помощью цифрового фотометрического датчика пульса и насыщения кислородом артериальной крови (сатурации) MAX30102 [10], который представляет собой интегрированную, портативную, полнофункциональную измерительную систему высокой точности и высокого разрешения (рис. 1), а также программных виртуальных приборов (ВП), разработанных в среде LabVIEW.

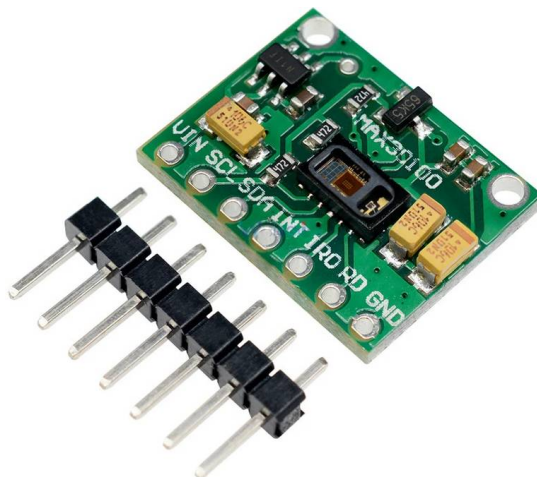


Рис. 1. Цифровой фотометрический датчик пульса MAX30102

К достоинствам датчика МАХ30102 следует отнести:

- сверхнизкое энергопотребление;
- высокий показатель отношения сигнал/шум;
- устойчивость к вибрациям;
- высокая частота дискретизации – 10,24 МГц;
- высокое разрешение сигма-дельта АЦП – 18 бит.

Регистрация реального сигнала пульсовой волны или ФПГ с помощью виртуальных приборов показала, что сигнал подвержен искажениям со стороны высокочастотных (ВЧ) помех неизвестного происхождения и со стороны низкочастотных (НЧ), физиологических помех, вызванных, главным образом, двигательными артефактами, заметное влияние среди которых оказывает дыхательная составляющая (рис. 2).

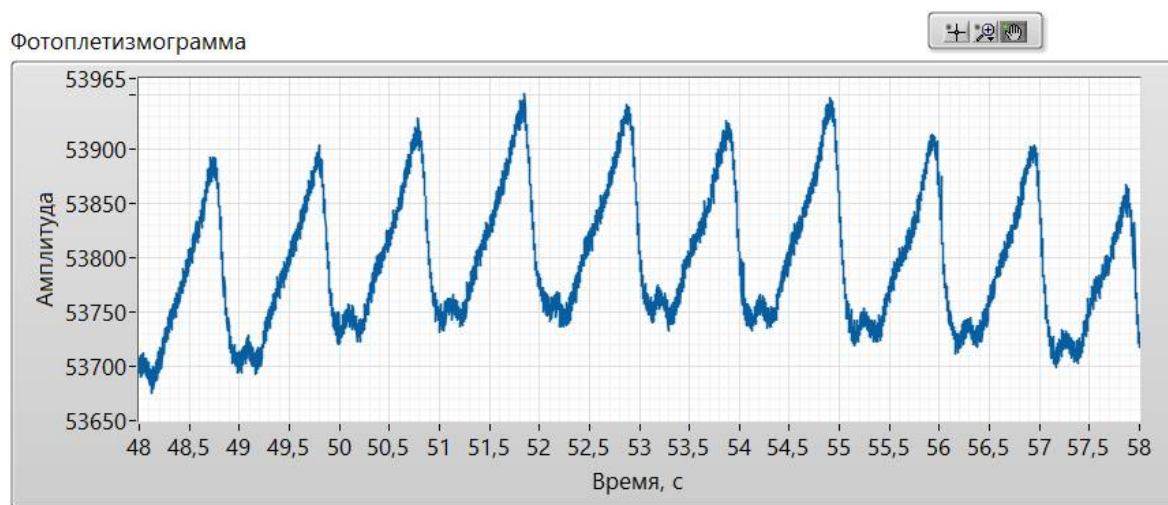


Рис. 2. Реальный сигнал ФПГ с датчика МАХ30102, зарегистрированный виртуальным прибором

Уменьшение влияния ВЧ помех обычно не вызывает особых трудностей и производится цифровой фильтрацией в частотной или во временной области, поскольку их спектральный диапазон находится значительно выше спектрального диапазона сигнала ФПГ. Более того, ВЧ помехи в большинстве случаев являются аддитивными и независимыми случайными процессами.

НЧ помехи, обусловленные различными двигательными артефактами, представляют наибольшие трудности при выделении полезного сигнала ФПГ, поскольку их спектральные диапазоны перекрываются на некоторых участках спектра. К тому же, НЧ помехи чаще всего носят случайный характер или могут являться квазипериодическими процессами с неизвестными параметрами.

Особенность сигнала ФПГ заключается в том, что он представляет собой тоже квазипериодический процесс, у которого важными диагностическими параметрами являются длительности периодов пульсовой волны или КИ. Значения длительностей периодов изменчивы и несут ценную информацию об ответных реакциях организма пациента на те или иные биотропные параметры внешнего воздействия, и в частности на магнитное воздействие.

Для эффективного выделения ритма сердцебиения пациента из смеси сигнала ФПГ с ВЧ и НЧ помехами, включая дыхательную составляющую, предложена методика и ее реализация в виде модифицированного алгоритма, основанного на совместном использовании методов корреляционной обработки и синхронного накопления с усреднением [11].

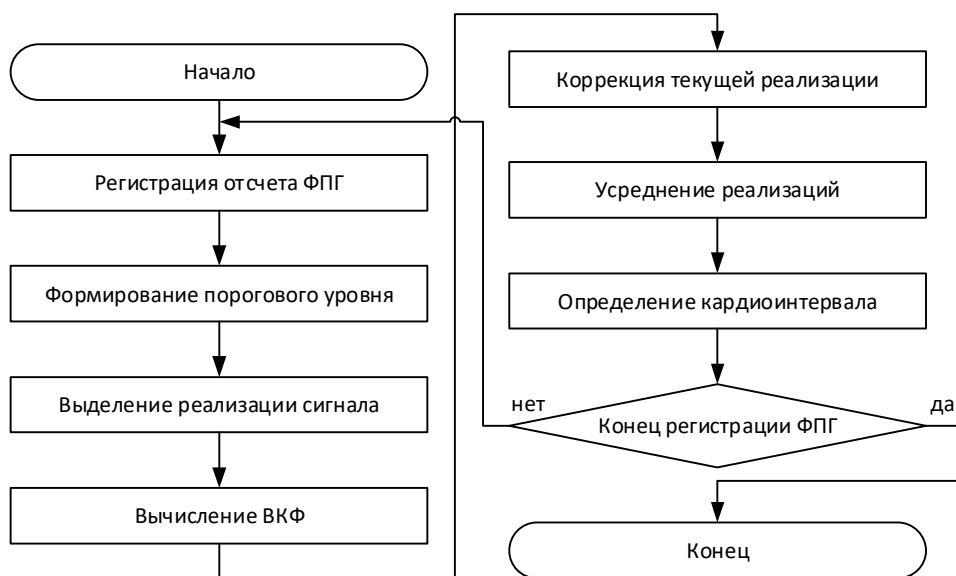


Рис. 3. Алгоритм измерения длительностей КИ, формирования динамического ряда КИ и построения интервалограммы

По мере регистрации отсчетов сигнала ФПГ формируется пороговый уровень для начала записи реализации сигнала. Для этого задается скользящее окно длительностью 3000 отсчетов (3 секунды), в котором определяются среднее арифметическое (скользящее среднее) \bar{Y} и среднее квадратическое отклонение (скользящее СКО) S_Y регистрируемого сигнала ФПГ. Пороговый уровень имеет гистерезис, т.е. верхний и нижний пороговые уровни, которые находятся из выражений

$$Y_{nv} = \bar{Y} + \frac{S_Y}{2} \text{ и } Y_{nn} = \bar{Y} - \frac{S_Y}{2}.$$

Из сигнала ФПГ выделяются реализации – информативные фрагменты квазипериодов сигнала, которые можно использовать для сравнения и измерения длительностей КИ.

Для каждой новой регистрируемой реализации находится взаимная корреляционная функция (ВКФ) с реализацией, усредненной по предыдущим квазипериодам.

ВКФ двух реализаций x и y определяется следующим образом. Пусть реализация x имеет N точек, а реализация y имеет M точек, тогда вычисляются значения ВКФ в соответствии с выражением

$$K_{xy_j} = \frac{1}{\max(N, M)} \sum_{k=0}^{N-1} x_k \cdot y_{j+k},$$

где $j = -(N-1), -(N-2), \dots, -1, 0, 1, \dots, (M-2), (M-1)$;

$\max(N, M)$ – наибольшее из значений N и M . Причем, величины x и y , в точках, индексы которых выходят за область определения данных величин, будут иметь нулевые значения.

Индекс отсчета, соответствующий максимуму ВКФ, определяет временной сдвиг текущей реализации для наилучшего совпадения ее с усредненной реализацией.

В соответствии с результатом ВКФ корректируются индексы начала и конца текущей реализации. Определяется новая усредненная реализация с учетом скорректированной текущей реализацией для анализа последующих реализаций.

Измеряется величина текущего КИ как разница индексов начала текущей и предыдущей скорректированных реализаций.

В результате строится интервалограмма для регистрируемого сигнала ФПГ (рис. 4).

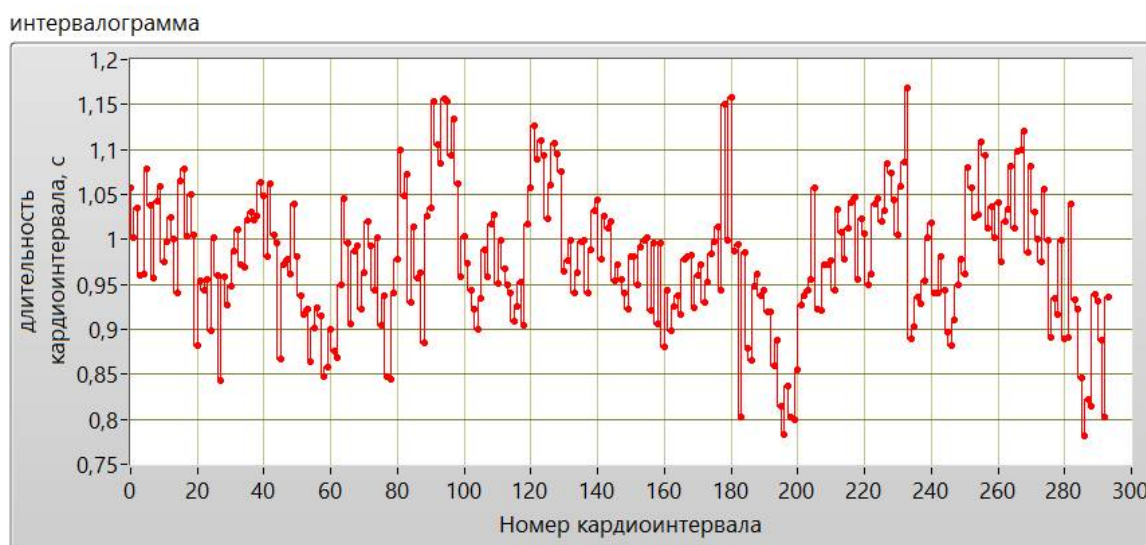


Рис. 4. Измеренные длительности КИ, представленные в виде интервалограммы

Вариабельность длительностей КИ позволяет вычислить количественные значения целого ряда важных диагностических показателей процесса сердцебиения пациента, и построить гистограмму распределения длительностей КИ (рис. 5)

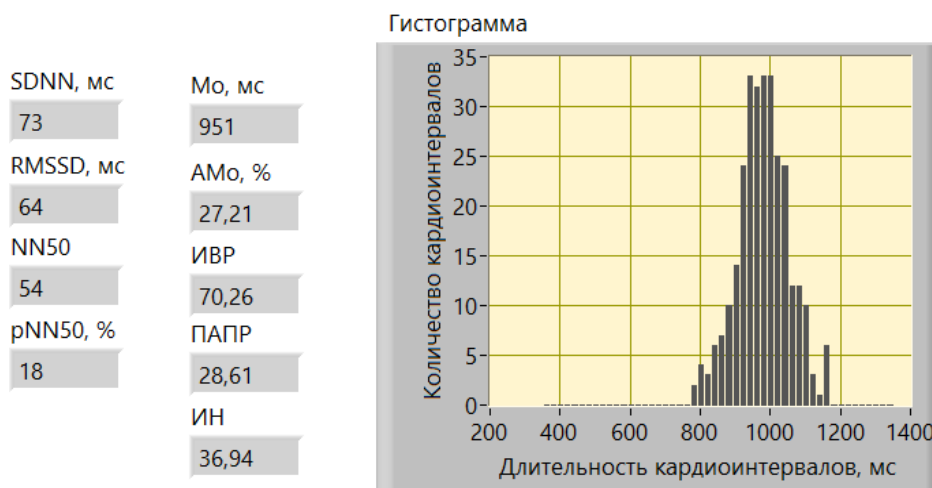


Рис. 5. Диагностические показатели и гистограмма распределения длительностей КИ

Таким образом, разработана методика измерения длительностей КИ пульсовой волны при действии помех и артефактов в ходе сеанса магнитотерапии, которая позволяет повысить точность определения диагностических показателей и соответственно повысить эффективность магнитотерапии.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (FSSN-2020-0003).

The work was performed as part of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (FSSN-2020-0003).

Библиографический список

1. Ступаков Г.П., Симоненко В.Б., Пономаренко Г.Н., Щербинина Н.В. Лечебно-профилактическое применение хрономагнитотерапевтического комплекса «Мультимаг»: Медицинская технология. ФС №2011/406. – М., 2012. – 18 с.
2. Пономаренко Г.Н. Сложномодулированная низкочастотная магнитотерапия с применением аппаратно-программного комплекса «Мультимаг»: Методические рекомендации. – СПб.: 2014. – 28 с.
3. Парин В.В., Баевский Р.М., Волков Ю.Н., Газенко О.Г. Космическая кардиология / Акад. мед. наук СССР. – Ленинград: Медицина. Ленингр. отд-ние, 1967. – 206 с.
4. Математические методы анализа сердечного ритма / Под ред. Парина В.В., Баевского Р.М. – М.: Наука, 1968. – 173 с.
5. Баевский Р.М. Физиологические измерения в космосе и проблема их автоматизации. – М.: Наука, 1970. – 254 с.
6. Баевский Р.М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. – М.: Медицина, 1979. – 298 с.
7. Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. – М.: Наука, 1984. – 220 с.
8. Баевский Р.М., Иванов Г.Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения // Ультразвуковая и функциональная диагностика, №3. 2001. С. 108-127.
9. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В. и др. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем: методические рекомендации // Вестник аритмологии, №24. 2001. С. 65-87.
10. Чистяков В. Пульсоксиметрия от Maxim: новый датчик МАХ30102 / Новости электроники, № 7. 2016. С. 36-39.
11. Шуляков А.В., Гуржин С.Г. Повышение точности определения длительностей кардиоинтервалов сердечного ритма пациента во время сеанса магнитотерапии // Сб. тр. XXXVI Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец. «Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2023» / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2023. – 332 с. С. 292-297.

УДК 621.317.08; ГРНТИ 59.31.35

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЯ ТОНУСА МЫШЦ

М.Б. Каплан

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, ms.stepanov1@mail.ru*

Аннотация. В работе рассматривается разработка и моделирование устройства для измерения тонуса мышц. Представлены составляющие блоки устройства, описаны взаимосвязи их между собой, рассмотрен общий принцип работы и подробный алгоритм функционирования измерителя. Предложена модель определения величины коэффициента упругости мышц, с учетом особенностей реализации измерителя тонуса. Сформирована электрическая схема для моделирования работы устройства, построенная на базе соответствия механических и электрических характеристик, выполнено исследование коэффициента упругости путем измерения эквивалентного сопротивления.

Ключевые слова: мышечный тонус, коэффициент упругости, электрическая модель.

ELECTRICAL MODEL OF MUSCLE TONE METER

M.B. Kaplan

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkina,
Russian Federation, Ryazan, ms.stepanov1@mail.ru*

Annotation. The work discusses the development and modeling of a device for measuring muscle tone. The component blocks of the device are presented, their interconnections are described, the general principle of operation and a detailed algorithm for the functioning of the meter are considered. A model is proposed for determining the value of the muscle elasticity coefficient, taking into account the implementation features of the tone meter. An electrical circuit has been generated to simulate the operation of the device, based on the correspondence of mechanical and electrical characteristics, and the elasticity coefficient has been studied by measuring the equivalent resistance.

Key words: muscle tone, elasticity coefficient, electrical model.

Для получения диагностической информации о состоянии скелетных мышц используются устройства, предназначенные для измерения тонуса мышц. На основе данных о величине тонуса делаются выводы об уровне кровоснабжения мышцы, делаются выводы о значениях вязкоупругих показателях и эластичности.

Ряд заболеваний нервной системы связан с нарушением тонуса мышц. Мышечная гипотония и атония характерны для заболеваний, которые связаны с поражением переднероговых мотонейронов и периферической нервной системы. Мышечная спастичность также присутствует при церебральных и спинальных заболеваниях, протекающим с поражением нервных центров и двигательных путей, передающих депрессорные влияния на переднероговые мотонейроны. Мышечная ригидность может начать развиваться при многих очаговых поражениях головного мозга, но наиболее характерна для заболеваний, которые связаны с поражением экстрапирамидной системы (Гепатоцеребральная дистрофия, Паркинсонизм). В раннем детском возрасте изменения тонуса мышц могут отмечаться при церебральных детских параличах, при некоторых врожденных заболеваниях (при миатонии Оппенгейма). Зачастую элементы пластического тонуса наблюдаются вследствие возрастных изменений подкорковых образований головного мозга [1].

В качестве модели мышцы, учитывающей как вязкость, так и упругость, часто используют двухэлементную модель Кельвина-Фойгта, состоящая из пружины, соединенной параллельно демпферу.

В рамках работы была предложена структура измерителя тонуса мышц, состоящая из корпуса, штока, упругого элемента, датчика деформации, датчика перемещения, измерителя времени, электромагнита и электронной части. Упругий элемент одним концом жестко крепится к корпусу прибора, а другим концом с помощью электромагнита может быть соединен со штоком. На упругий элемент крепится датчик деформации, в качестве которого может быть использован тензодатчик. Шток располагается внутри корпуса прибора и имеет возможность перемещаться вдоль направляющих корпуса прибора. В процессе измерения один конец штока касается поверхности кожи пациента в точке измерения тонуса мышц, а вторым может соприкасаться с упругим элементом. Датчик перемещения также крепится на корпус прибора и предназначен для отслеживания движения штока. Электронная часть выполняет опрос датчиков, обработку данных с целью вычисления величин деформации и перемещения, также проводит измерение временных интервалов, кроме того выявляет наступления ряда событий, возникающих в процессе измерения, таких как достижения пороговых значений, фиксация факта касания корпусом поверхности кожи пациента.

Процесс измерения тонуса мышц представлен следующей последовательностью действий.

1. Включение прибора, инициализация требуемых переменных, ожидание установки стационарного режима работы. Максимальный вылет штока под действием силы тяжести из корпуса прибора. Контакт штока с поверхностью кожи отсутствует.

2. Запуск измерения путем нажатия кнопки «Старт». Электронный блок подает сигнал управления на электромагнит, в результате чего катушка электромагнита втягивает сердечник внутрь, тем самым обеспечивает положение упругого элемента «над штоком», когда шток касается упругого элемента. При этом запускается процесс измерения сопротивления между электродами корпуса прибора, с целью выявления факта касания корпуса поверхности кожи [2].

3. Исследователь прикладывает прибор к телу испытуемого таким образом, чтобы наконечник штока касался поверхности кожи в точке, где предполагается измерить тонус мышцы.

4. Исследователь начинает прижимать прибор к телу испытуемого, в результате увеличивается давление штока на мышцу. В свою очередь в виду упругости мышца оказывает силовое воздействие на шток, который также взаимодействует с упругим элементом прибо-

ра. По мере увеличения усилия прижима прибора к телу испытуемого деформация мышцы (продавливание) и деформация упругого элемента увеличиваются.

5. Сила прижима фиксируется в момент, когда электроды, расположенные на нижней части прибора, одновременно касаются кожи. В момент касания электродов замыкается электрическая цепь «электрод-кожа-электрод», сопротивление между электродами падает, блок управления прибора фиксирует указанный факт и формирует управляющие сигналы для звукового индикатора и датчиков упругого элемента. Появление звукового сигнала информирует исследователя о завершении первой части измерения. Регистрация показаний датчиков позволяет запустить процесс расчета коэффициента упругости мышцы. Кроме того, блок управления подает сигнал «выключить» на электромагнит, в результате чего электромагнит перестает удерживать сердечник, который под действием пружины выталкивается. Движение сердечника приводит к перемещению упругого элемента в положение «рядом со штоком». Разъединение штока и упругого элемента приводит к тому, что шток под действием силы со стороны мышцы начинает двигаться внутрь прибора, при этом изменение положения штока от времени фиксируется с помощью линейного датчика магнитного поля.

6. Процесс измерения считается завершенным, когда показания датчика магнитного поля перестают меняться. На основе показания датчика магнитного поля рассчитывается коэффициент вязкости. Результаты измерений выводятся на дисплей прибора.

Возможность измерения положения штока относительно датчика магнитного поля обеспечивается за счет специальной конструкции штока [3], которая включает в свой состав постоянный магнит.

Построение модели базируется на следующих соотношениях. Равенства сил упругости мышцы и упругого элемента:

$$F = k_M x_M = k_Y x_Y,$$

где k_M, k_Y - коэффициенты упругости мышцы и упругого элемента;

x_M, x_Y - перемещения мышцы и упругого элемента. Сумма величины деформации упругого элемента и мышцы является постоянной величиной и определяется исключительно конструктивными особенностями измерителя

$$x_Y + x_M = L_{Ш} - L_K = L,$$

здесь $L_{Ш}$ - длина штока;

L_K - расстояние по вертикали от поверхности корпуса до места крепления упругого элемента;

L - суммарное приращение.

Тогда жесткость определяется как

$$k_M = \frac{F}{x_M} = \frac{F}{L - x_Y}.$$

Модель может быть представлена в виде электрических схем [4], где у каждого параметра схемы есть числовое значение, величина которого равна значению механического параметра: сила - напряжение; коэффициент упругости - сопротивление; величина деформации - сила тока.

Схема на рисунке 1 является эквивалентным представлением условия равенства сил и суммы деформаций.

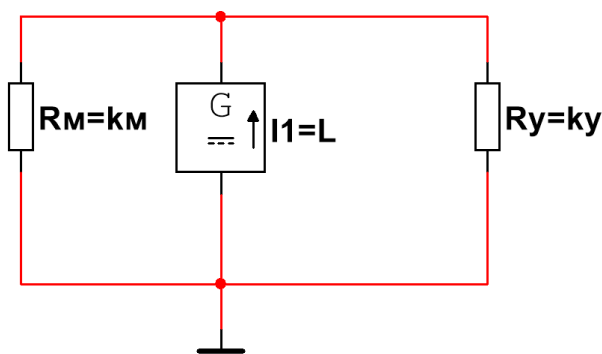


Рис. 1. Электрическая схема первого закона Кирхгофа

Вторая схем (рис. 2) отражает переход к эквивалентным напряжениям, численно равным значениям соответствующих механических параметров.

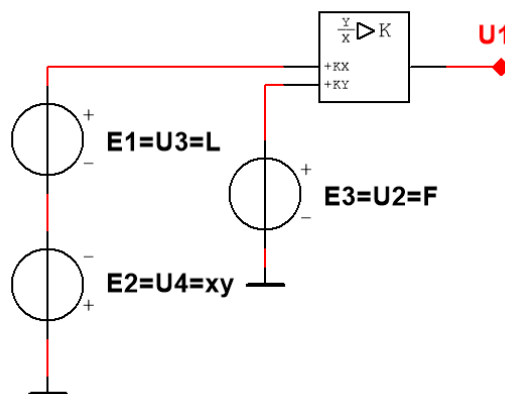


Рис. 2. Электрическая схема преобразования коэффициента упругости мышцы

Для формирования напряжений U_3 и U_4 использовались источники напряжения управляемые током, а напряжение U_2 измерялось на сопротивление R_y , подключенный к делителю через повторитель, параметры R_y и I_1 задать в виде констант. Итоговая модель, представленная в виде электрической схемы, показана на рис. 3. Здесь измеряемой величиной является сопротивление R_M , являющееся эквивалентом коэффициента упругости мышцы, а результат измерения отображается на вольтметре в виде напряжения U_1 .

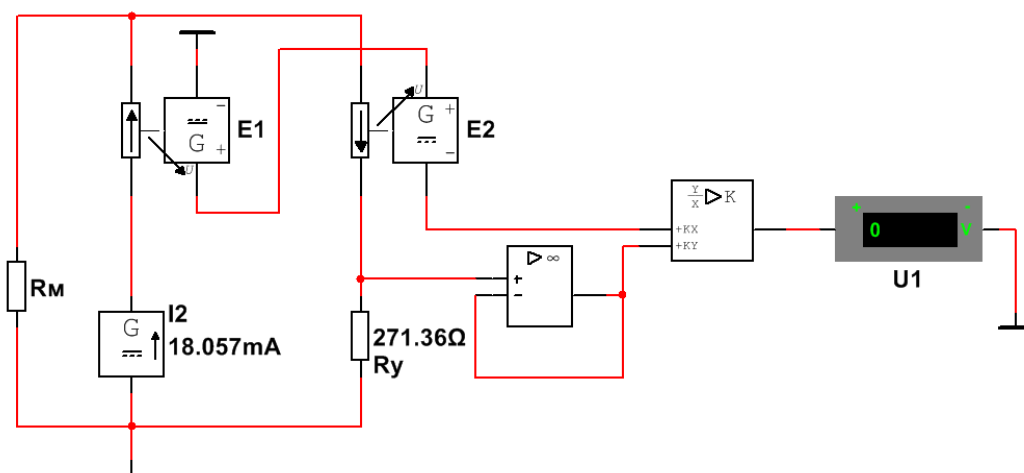


Рис. 3. Итоговая модель электрической схемы

Для проверки работоспособности модели задавались различные численные значения сопротивления R_M . Результаты моделирования показали совпадение показаний вольтметра, измеряющего напряжение U_1 с показанием сопротивления R_M .

Таким образом, моделирование с применением эквивалентных электрических схем может быть использовано для оценки коэффициента упругости мышцы.

Библиографический список

1. Биомеханика мышц: учебно-методическое пособие. Под ред. А.В.Самсоновой – СПб.: СПбГУФК им. П.Ф. Лесгафта, 2008. – 127 с.
2. Н.В. Гоев. Синтез автоматизированных систем контроля на основе аппаратнопрограммных модулей // Вестник РГРТУ, No 2, 2010. – С. 98-101.
3. С.Г. Гуржин, А.А. Дунаев, Л.П. Жалненкова. Адаптивный корреляционный анализ биоэлектрических сигналов. // Вестник РГРТУ, No 46, 2013. – С. 41-43.
4. А.М. Абрамов, В.В. Бондарцев, С.Г. Гуржин и др. Методы и средства автоматизации измерений и испытаний сложных объектов // Вестник РГРТУ, No 60, 2017. – С. 171-182.

УДК 621.3.087.92; ГРНТИ 90.27.34

СОВРЕМЕННЫЕ АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ И АТТЕСТАЦИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

А.М. Абрамов

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, abramov.a.job@yandex.ru*

Аннотация. Анализируется передовое автоматизированное испытательное оборудование компаний Teradyne, National Instruments и ЗАО "Л-КАРД". Испытательное оборудование представляет собой автоматизированную многоканальную аппаратуру для функционального и параметрического контроля сложных микросхем со сверхбольшой степенью интеграции от микроконтроллеров до интегральных схем специального назначения, включая микросхемы памяти, ЦАП, АЦП, а так же смарт-карты и т.д.

Ключевые слова: испытательное оборудование, аппаратные средства, метрологическое обеспечение, параметрический контроль, компьютер.

MODERN HARDWARE FOR TESTING AND CERTIFICATION OF MEASURING CHANNELS INFORMATION-MEASURING SYSTEMS

A.M. Abramov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, abramov.a.job@yandex.ru*

The summary. Advanced automated test equipment from Teradyne, National Instruments and L-CARD is analyzed. The test equipment is an automated multichannel equipment for functional and parametric control of complex microchips with an ultra-large degree of integration from microcontrollers to special purpose integrated circuits, including memory chips, DACs, ADCs, as well as smart cards, etc.

Keywords: test equipment, hardware, metrological support, parametric control, PC.

Важнейшей составляющей метрологического обеспечения является этап метрологического испытания и аттестации (поверки), как вновь созданного измерительного средства, так и периодические испытания и аттестации эксплуатируемых средств измерения в течение всего жизненного цикла их использования. Этот этап регламентируется Законом РФ "Об обеспечении единства измерений" и в нормативных документах Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ).

На современном этапе развития методов и средств измерения, с постоянно усложняющимися методическими и техническими реализациями самым серьезным образом ставится задача автоматизации метрологического испытания и аттестации, при котором не только устраняются субъективные ошибки и сокращаются сроки испытания, но и повышается полнота, надежность и единство испытания и документирования.

Естественным управляющим элементом автоматизированного комплекса метрологического испытания и аттестации становится компьютер с соответствующими внешними эталонными средствами, управляемыми от компьютера и специализированным программным обеспечением.

Современные идеи и принципы построения автоматизированного испытательного оборудования развиваются многими разработчиками и в разных странах, среди которых следует выделить Teradyne, компанию National Instruments, ЗАО «Л-КАРД», LTX-Credence, Advantest и др.

В 2017 году ООО «Совтест АТЕ» получило официальное свидетельство об утверждении типа средств измерений для измерительных стендов БИС и СБИС J750Ex-HD. Государственный документ выдан Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (номер в ГРСИ РФ: 65940-16).

Система J750Ex-HD (рисунок 1) предназначена для функционального и параметрического контроля сложных микросхем со сверхбольшой степенью интеграции VLSI (Very-Large-Scale Integration) от микроконтроллеров до интегральных схем специального назначения ASIC (Application-Specific Integrated Circuit), включая микросхемы памяти, ЦАП, АЦП, а так же смарт-карты, RFID и т.д. Используется для контроля параметров полупроводниковых компонентов и микросхем на пластине и в корпусе.



Рис. 1. Внешний вид испытательного оборудования J750Ex

Испытательное оборудование J750Ex представляют собой относительно недорогое бюджетное решение для производителей цифровых и гибридных микросхем, а также для предприятий использующих входной контроль компонентов. Базовая комплектация J750, включающая в себя набор цифровых модулей, может быть легко расширена за счёт установки специализированных модулей для контроля АЦП и ЦАП, микросхем памяти, смарт-карт и т.д.

Технология модульных приборов National Instruments объединяет в себе высокоточное высокоскоростное измерительное оборудование и программное обеспечение, оптимизированное для сбора и анализа результатов измерений. Платформа модульных приборов NI основана на использовании компактного, высокопроизводительного оборудования, функционального программного обеспечения и встроенных систем синхронизации и тактирования, обеспечивающих проведение гибких, точных и высоко-

производительных измерений и тестов. NI предлагает модульные приборы, выполненные в форматах PXI, PCI, PCMCIA и USB и работающих в диапазоне частот сигналов от постоянного тока до радиочастот [1]. Характерной особенностью контрольно-измерительной платформы NI является синхронизированная работа нескольких модульных приборов, предназначенных для обработки сигналов разного типа. Технологии NI базируются на совместном использовании модулями системных устройств запуска, синхронизации и тактирования, что обеспечивает наиболее точное и гибкое взаимодействие всех компонентов системы. Использование различных специализированных модульных приборов для создания гибких, полнофункциональных, реконфигурируемых тестовых систем позволяет пользователю конструировать свою систему, отвечающую именно его задачам. Технология виртуальных приборов предоставляет новые возможности по интеграции модулей в составе единой системы [2, 3], позволяя с помощью программного обеспечения изменять ее функциональность в случае необходимости (рисунок 2).

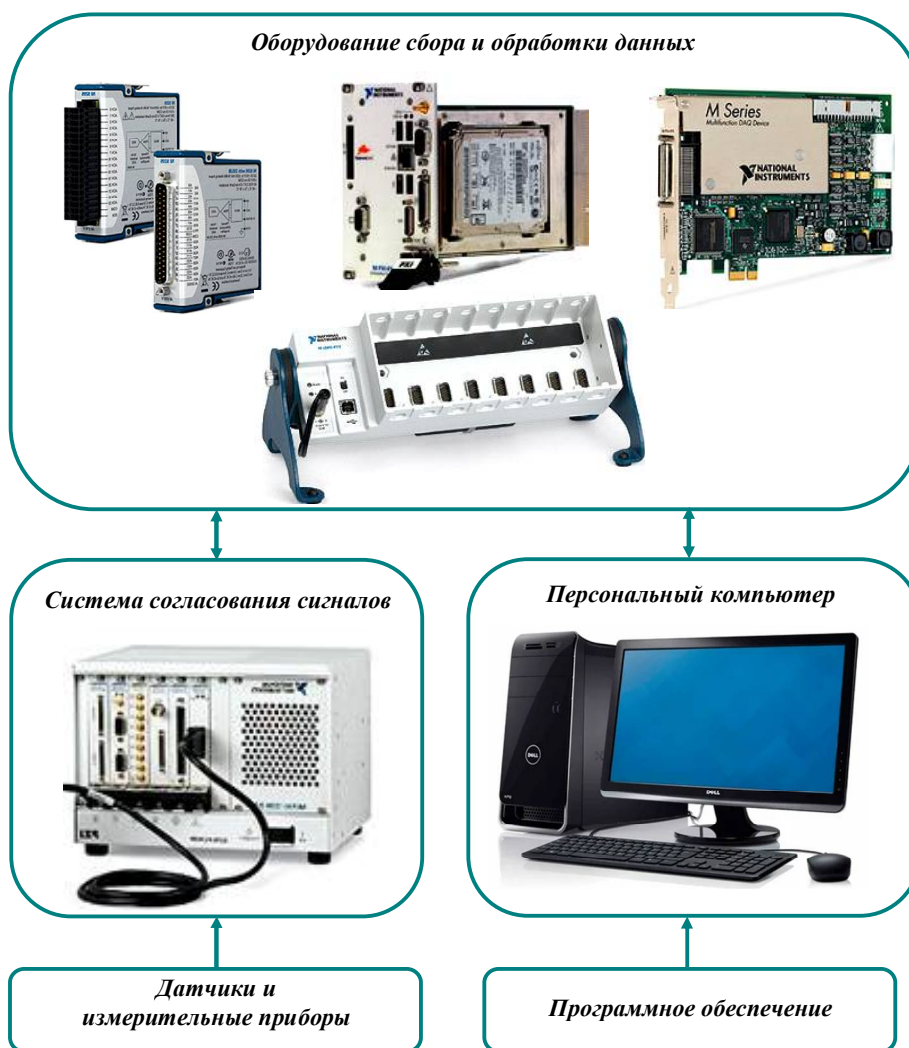


Рис. 2. Типичная компьютерная система сбора данных

Крейтовая система LTR - внешняя конфигурируемая модульная станция сбора данных и управления внесена в Госреестр средств измерений РФ. Применение унифицированных интерфейсов, а также возможность использования конструктивов с различным количеством установочных мест для измерительных модулей LTR-серии позволяет с оптимальными технико-экономическими параметрами реализовывать широкий спектр систем с различным числом измерительных каналов, как для автоматизации небольших экспериментальных ус-

тановок, так и для больших технологических процессов с большим числом параметров распределенных на большой площади. Модульный тип конструкции и большая линейка универсальных, а также специализированных модулей LTR-серии позволяют построить системы с различным сочетанием контролируемых параметров.

На кафедре ИИБМТ ФГБОУ ВО «РГРТУ» на базе реконфигурируемой модульной системы сбора данных LTR был разработан автоматизированный эталонный комплекс [4] для проведения комплексных сертификационных испытаний и аттестации измерительных модулей бортовых ИИС (рисунок 3).

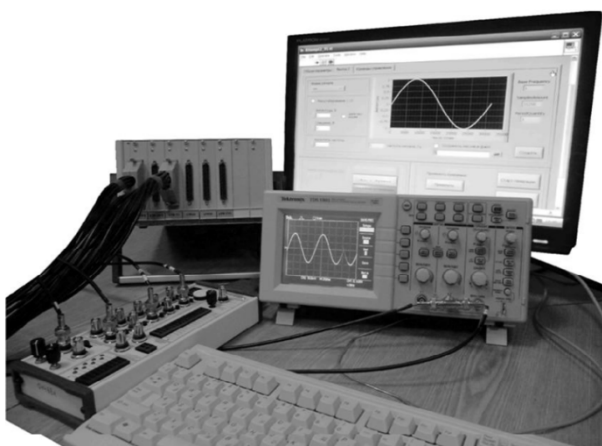


Рис. 3. Автоматизированный эталонный комплекс на базе крейтовой системы LTR

Библиографический список

1. Харуби Н. Автоматизация проектирования виртуальных приборов системах Текст. / Н. Харуби // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И.Вернадского. Тамбов: -2009.-№20.-с.161-165.
2. Абрамов А.М., Бондарцев В.В., Гуржин С.Г., Жулев В.И., Каплан М.Б. и др. Виртуальные метрологические средства испытаний модулей АЦП для систем бортовых измерений // Вестник РГРТУ. №4 (выпуск 50). Часть 1. Рязань, 2014. С. 50-54.
3. Абрамов А.М., Гуржин С.Г., Жулев В.И., Прошин Е.М., Садовский Г.А. и др. Математическое и имитационное моделирование измерительных модулей аналого-цифрового преобразования // Вестник РГРТУ. №4 (выпуск 50). Часть 2. Рязань, 2014. С. 36-41.
4. Абрамов А.М., Каплан М.Б., Никитин С.В., Садовский Г.А., Прошин Е.М. и др. Методы и средства автоматизации измерений и испытаний сложных объектов // Вестник РГРТУ. №2 – Выпуск 60. Рязань, 2017. С. 172-182.

УДК 681.128.82 ГРНТИ 59.14.21

ТРОСОВЫЙ РАДАРНЫЙ УРОВНЕМЕР НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ: ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

О.В. Аникина, П.С. Будылина, М.С. Кожевникова, Д.В. Скрипкина

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань*

Аннотация. Предложена структура тросового радарного уровнемера с функциями непрерывного измерения второго уровня раздела сред, когда в емкости находятся два продукта разной плотности, и исключения артефактов вызванных наличием паров, конденсата, пены или налипания на трос.

Ключевые слова: технология измерения уровня, тросовый радарный уровнемер, линейно-частотная модуляция.

NEW GENERATION TETHER RADAR LEVEL GAUGE: DESIGN FEATURES AND DEVELOPMENT PROSPECTS

O.V. Anikina, P.S. Budylna, M.S. Kozhevnikova, D.V. Skripkina

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan

Abstract. The structure of tether radar level meter is proposed with functions of second interface level continuous measurement when there are two products of different densities in the vessel and elimination of artifacts caused vapors, condensate, foam or sticking on tether presence.

Keywords: level measurement technology, tether radar level meter, linear-frequency modulation.

Современная промышленность немыслима без надежных и точных средств измерения, в основе которых лежат технологии, способные справиться с самыми экстремальными условиями, а также повысить производительность, прибыльность и, что самое главное, безопасность технологических процессов.

На рынке средств измерений представлены приборы, реализующие разнообразные методы измерения уровня, у каждого из которых есть как преимущества, так и недостатки. Нет универсального решения для всех случаев, но в некоторых процессах могут быть работоспособны только определенные средства измерения. К таким относятся волноводные уровнемеры, ключевыми преимуществами которых является отсутствие необходимости корректировки настроек при изменении плотности, диэлектрической постоянной или электропроводности жидкости. Изменения давления, температуры и состояния парогазового пространства над жидкостью практически не влияют на погрешность измерения. В дополнение, волноводные уровнемеры не имеют подвижных частей, что сводит к минимуму потребность в техническом обслуживании. Также важным преимуществом этого средства измерения является то, что его можно применять в резервуарах со сложной геометрией, выносных камерах и емкостях с высокими патрубками. Тросовые радарные уровнемеры можно использовать во многих видах промышленности, где требуется точное измерение уровня жидкостей или сыпучих материалов в емкостях и резервуарах [1]. Основными потребителями тросового радарного уровнемера являются: химическая промышленность (измерение уровня агрессивных, токсичных или взрывоопасных жидкостей в резервуарах и хранилищах); нефтегазовая промышленность (контроль уровня нефти, нефтепродуктов, сжиженных газов в танкерах, нефтехранилищах и газохранилищах); пищевая промышленность (мониторинг уровня пищевых продуктов, таких как молоко, вода, пиво, вино, соки и т. д. в емкостях, цистернах и резервуарах для хранения); горнодобывающая промышленность (измерение уровня сыпучих материалов, таких как уголь, руда и минералы, в шахтах и карьерах); Целлюлозно-бумажная промышленность: контроль уровня бумажной массы, воды и химикатов в варочных котлах и бассейнах; и т.д.[2].

Проблема

Было проведено проблемное интервью с заводами-производителями средств измерения уровня – НПО РИЗУР (г. Рязань)¹ и АО "ТЕККНОУ" (г. Санкт-Петербург)², в результате которого было выявлено, что существующие отечественные приборы РИЗУР-1300³ (уровнемер микроволновой (рефлекс-радарный)) и ТИТАН-370У⁴ (уровнемер волноводно-радарный):

¹ <https://rizur.ru/>

² <https://tek-know.ru/>

³ <https://rizur.ru/catalog/urovnmery/urovner-mikrovolnovoy-refleks-radarnyy-rizur-1300/>

⁴ <https://tek-know.ru/catalog/po-vidam-izmereniy/uroven/urovnmery-volnovodnye-i-radarnye/titan-370u-urovner-volnovodno-radarnyy/>

- не способны определять вторую границу раздела сред в резервуаре с жидкостями разной плотности, таких как нефть и вода, а также при измерении уровня жидкости через слой пены;

- теряют чувствительность при наличии таких артефактов, как пары, конденсат, налипание на трос и т.п.

Каждый из вышеперечисленных факторов способен повлиять на корректность производимых измерений, а следовательно, и на ход автоматизированного технологического процесса, что непростительно в условиях рынка, где прибыль прямо пропорциональна производительности, а безопасность может стоить очень дорого.

Решение

Тросовый радарный уровнемер нового поколения - новый подход в области автоматизации управления производственными процессами предприятий и организаций в различных отраслях промышленности. Разрабатываемый электронный модуль для измерения двух уровней раздела сред и сигнализации об артефактах тросового радарного уровнемера позволит модифицировать существующие российские волноводные уровнемеры, повысив тем самым конкурентное преимущество производителя.

Технология

Научный подход, основанный на методе излучения/приема сверхширокополосных сигналов с линейной частотной модуляцией представляется наиболее перспективным для решения поставленной проблемы по сравнению другими принципами, положенными в основу погружного измерения уровня. Предлагаемый новый способ цифро-аналоговой обработки измерительной информации позволит непрерывно оценивать и устранять нежелательные сигналы на фоне полезной составляющей.

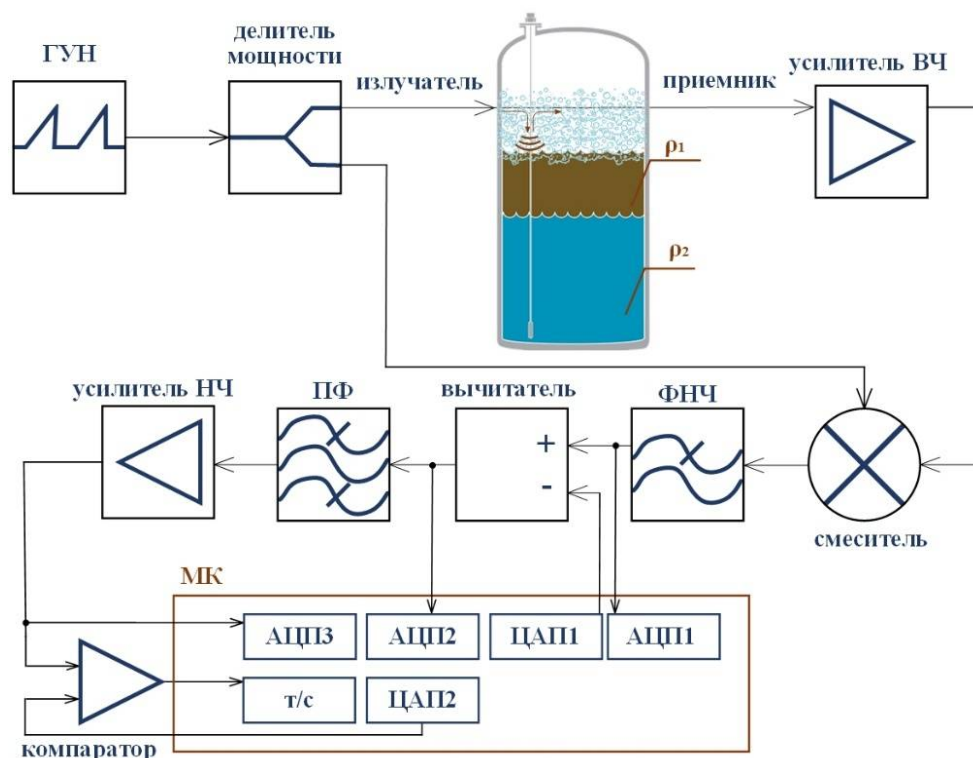


Рис. 1. Структура электронного модуля тросового радарного уровнемера

Структура разрабатываемого электронного модуля тросового радарного уровнемера (рис. 1) предполагает наличие способа синхронного выделения огибающей сигнала биений

на фоне искажений, вызванных детектором, а также сигналом авто-эха, которые оцениваются на каждом нечетном периоде пилообразного сигнала управления частотой излучаемого ВЧ-сигнала и синхронно вычитаются каждый четный период. Использование полосового фильтра с регулируемой частотой пропускания позволит выделить сигнал, отраженный от второй границы раздела фаз. Дальнейшая обработка сигнала осуществляется микропроцессорной системой и заключается в точном определении частоты полезного сигнала и пересчете ее значения в значение уровня наполнения резервуара [3].

Потребители

Таким образом, можно предположить, что разрабатываемая технология определения уровня может быть интересна российским предприятиям-разработчикам и производителям контрольно-измерительных приборов, измерительных средств и систем промышленной автоматизации. В том числе и предприятия с которыми было проведено проблемное интервью, так как разрабатываемый нами электронный модуль, усовершенствует и повысит возможности применения и использования имеющегося уровнемера.

Библиографический список

1. Рашич А. В, Сети беспроводного доступа. – Санкт-Петербург: Издательство политехнического университета, 2011.
2. Бакулин М. Г., Крейделин В. Б., Шумов А. П. Повышение скорости передачи информации и спектральной эффективности и беспроводных систем связи. – Цифровая обработка сигналов №1/2006.
3. ЭЛЕКТРОННЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ В ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. П.С. Будылина, С.А. Голь// Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы –Биомедсистемы-2023 [текст]: сб. тр. XXXVI Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 8-10 декабря 2023 г. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2023 – 332 с., ил.

УДК 621.3.088.7; ГРНТИ 76.13.15

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ ТРЕМОРА ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ПАЦИЕНТА

С.А. Новиков

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, noviserg96@gmail.com*

Аннотация. В данной статье представлен программно-аппаратный комплекс, базирующийся на использовании емкостного датчика приближения, в сочетании с программным обеспечением верхнего уровня, разработанным на языке программирования Python. Основная задача данного комплекса заключается в сборе и анализе сигналов, получаемых от датчика тремора верхних конечностей человека, с последующим измерением параметров тремора и предварительной диагностикой патологий, ассоциированных с тремором различной этиологии.

HARDWARE-SOFTWARE SYSTEM FOR THE ANALYSIS OF TREMOR PARAMETERS IN THE UPPER LIMBS OF PATIENTS

S.A. Novikov

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, noviserg96@gmail.com*

Abstract. This article presents a hardware-software system based on the use of a capacitive proximity sensor, combined with high-level software developed in the Python programming language. The primary objective of this system is to collect and analyze signals from a sensor detecting tremors in human upper limbs, followed by the measurement of tremor parameters and preliminary diagnosis of pathologies associated with tremors of various etiologies.

В современном обществе встречаются многочисленные заболевания, ассоциированные с повреждениями нервной ткани или деградацией нейронов головного мозга. Согласно данным Parkinson's Foundation, в Соединённых Штатах насчитывается приблизительно один миллион пациентов, страдающих болезнью Паркинсона, и прогнозируется рост этого числа до 1.2 миллиона к 2030 году. В России общее количество заболевших колеблется от 1,88 до 16,3 случаев на 100 тысяч населения в год.

Помимо болезни Паркинсона, тремор верхних конечностей может служить показателем многих других заболеваний, таких как гипертиреоз, сахарный диабет, болезни Вильсона-Коновалова, гипертоническая болезнь, поражения мозжечка, а также аутоиммунные заболевания и токсическое отравление.

Существует множество разнообразных технических средств для диагностики патологического тремора, однако многие из них обладают недостатками, такими как создание дискомфорта для пациента, низкая точность измерения и высокая стоимость оборудования, что затрудняет его широкое применение и, следовательно, раннюю диагностику признаков патологии.

В связи с этим возникла необходимость в разработке системы автоматизированной предварительной диагностики тремора, объединяющей в себе компактность, удобство использования и простоту исследования, а также имеющей доступную стоимость. Такая система позволила бы оснастить кабинеты терапевтов и проводить исследования в рамках анамнеза или диспансеризации.

Методология и оборудование

Аналитическое изучение различных форм тремора выявило, что особое внимание следует уделить постуральному тремору. Эта форма тремора достигает своей амплитуды при статической фиксации конечности в положении противостояния гравитационным силам, например, при горизонтальном расположении рук. Частотный спектр данного типа тремора колеблется в диапазоне 5-8 герц. В определенных позах или при выполнении специфических задач тремор может проявлять вариативность, обеспечивая подсказку для диагностики его происхождения, как указано в справочнике MSD. В связи с высокой диагностической ценностью постурального тремора было принято решение сосредоточиться на анализе его параметров.

В ходе сопоставления существующих систем и подходов к диагностике тремора [1] была отобрана концептуально сходная система с описанной в публикации [2], но с основной разницей в виде измеряемой характеристики: вместо индуктивности использовалась емкость. Это позволило применить упрощенные схемотехнические решения, способствующие национальной замене компонентов и снижению размеров датчика.

Схематически датчик представляет собой простую конструкцию, состоящую из следующих основных блоков:

- стабилизированный источник энергии;
- преобразователь емкости в частоту;
- чувствительный элемент в виде одиночного витка провода;
- микроконтроллер;
- интерфейс передачи данных UART-USB.

Графическое представление структурной схемы датчика можно увидеть на рис. 1.

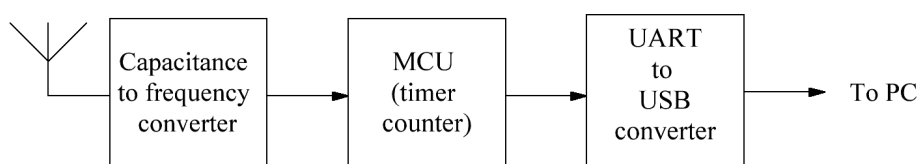


Рис. 1. Структурная схема

В зависимости от расстояния между плоскостью ЧЭ и конечностью человека емкость системы «Рука-ЧЭ» изменяется, что вызывает изменения частоты на выходе преобразователя емкость/частота. Частота изменяется в диапазоне от 5,5 до 5,0 МГц, что является достаточно большим диапазоном для точного определения колебаний конечности. Подробнее устройство датчика описано в [3].

Для оцифровки используется таймер-счетчик в микроконтроллере STM32F103RBT6, который работает по следующему алгоритму:

1. инициализируется периферия и настраиваются параметры тактирования таймеров;
2. запускается таймер 3, который отсчитывает время между запусками таймера-счетчика 1;
3. запускается таймер 2, который отсчитывает время счета импульсов таймером 1; по истечению его счета вызывается прерывание;
4. в прерывании данные из регистра таймера-счетчика 1 переносятся в регистр передатчика UART и отправляются на ЭВМ.
5. регистр таймера-счетчика 1 и таймера 2 сбрасывается, и по истечении времени таймер 3 снова запускает таймер 2 и таймер-счетчик 1.

Тайминги алгоритма настроены таким образом что бы получать данные раз в 100 мс, что является оптимальным значением для дальнейшей обработки сигнала.

Далее измеренные данные передаются на ЭВМ через эмулятор последовательного порта. программа верхнего уровня, написанная на языке программирования Python и установленная на ЭВМ. Программа получает данные через эмулятор последовательного порта.

Программа верхнего уровня и обработка сигнала

Целью разрабатываемого программного обеспечения является сбор, фильтрация и визуализация данных, зарегистрированных с использованием датчиковых устройств. На рис. 2 продемонстрирован интерфейс данного программного обеспечения, который включает в себя примеры зарегистрированных сигналов с датчика тремора, полученные как непосредственно с датчика, так и из предварительно подготовленного файла данных.



Рис. 2. Главное окно программы

Программный интерфейс был создан при помощи библиотеки Dear PyGui и организован в форме множества вкладок для удобства пользователя. В частности, вкладка «Settings» содержит элементы управления для настройки последовательного порта, параметры сохранения данных в файл, а также инструменты для осуществления процедуры фильтрации, визуализации информации и выполнения расчётов при помощи алгоритма быстрого преобразования Фурье (FFT).

На второй вкладке пользователю представляются два графика. Верхний график иллюстрирует сигнал, зафиксированный через последовательный порт. Нижний график отражает комплексный анализ амплитудной составляющей сигнала, определённый на основе быстрого преобразования Фурье, выполненного с помощью алгоритмической библиотеки Scipy. В данном контексте фазовая характеристика сигнала не принимается во внимание, поскольку на данный момент развития системы она содержит относительно меньшее количество информации, полезной для анализа.

Прежде чем приступить к извлечению спектральных характеристик сигнала методом быстрого преобразования Фурье (БПФ), необходимо выполнить предварительную обработку сигнала с целью удаления артефактов, вызванных как внешними электромагнитными помехами, так и интринсическим шумом компонентов микросхемы датчика. В контексте данной задачи было принято решение применить несколько цифровых фильтров для уменьшения уровня помех в сигнале перед его спектральным анализом. Экспериментальное сравнение позволит определить наиболее эффективный цифровой фильтр для данной обработки сигналов, чтобы обеспечивать необходимый уровень очистки сигнала для последующей работы с ним.

Выбор в пользу использования цифровых фильтров был сделан по причинам экономической эффективности: аналоговая фильтрация потребовала бы комментария, выходящего за пределы установленных параметров стоимости и сложности устройства, что является неприемлемым в соответствии с заданными нами критериями проектирования.

Для фильтрации сигнала было определено использовать не рекурсивный фильтр с бесконечной импульсной характеристикой (ИИР) первого порядка, также известный как экспоненциальный фильтр, описываемый уравнением (1). Выбор данного фильтра был обусловлен его рядом преимуществ, включающих:

Для фильтрации сигнала было принято решение использовать выбран не рекурсивный фильтр с бесконечной импульсной характеристикой (ИИР) первого порядка (экспоненциальный фильтр), который пописывается формулой (1).

$$y_k = \alpha \cdot x_k + (1 - \alpha) \cdot y_{k-1}, \quad (1)$$

где x_k – измеренное значение в момент времени k ;
 y_k – фильтрованное значение в момент времени k ;
 α – коэффициент фильтрации.

Данный фильтр был выбран так как имеет ряд преимуществ, а именно:

- 1) Эффективность вычислений за счет простоты алгоритма;
 - 2) Отсутствие необходимости в сохранении множества прежних значений сигнала;
 - 3) Способность подавлять внезапные выбросы в измерительных данных, обеспечивая сглаживание шумов;
 - 4) Быстрая адаптация к новым значениям сигнала после мгновенного изменения.
- Результаты обработки сигнала представлены на рисунке 3.

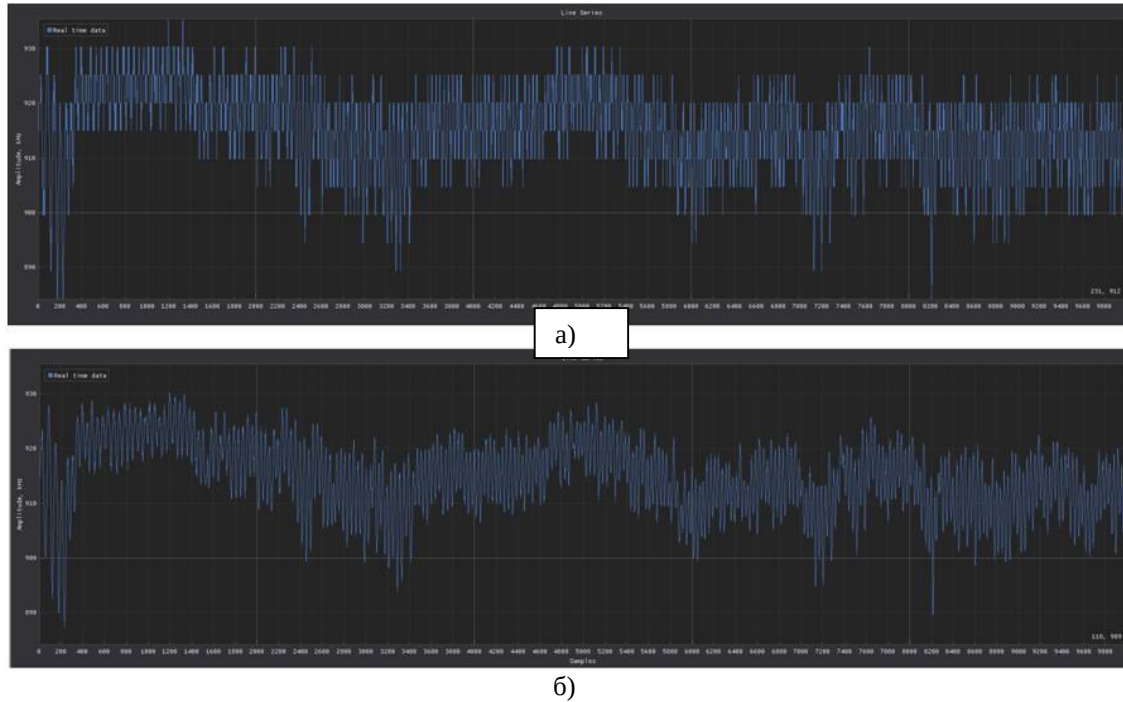


Рис. 3. Запись сигнала с тремором патологического характера до обработки (а) и после обработки (б)

Результаты исследования и итоги

Изображения, представленные на рисунке 2, демонстрируют треморограмму патологического профиля, в то время как рисунок 4 показывает треморограмму образца, где тремор находится в пределах физиологической нормы.

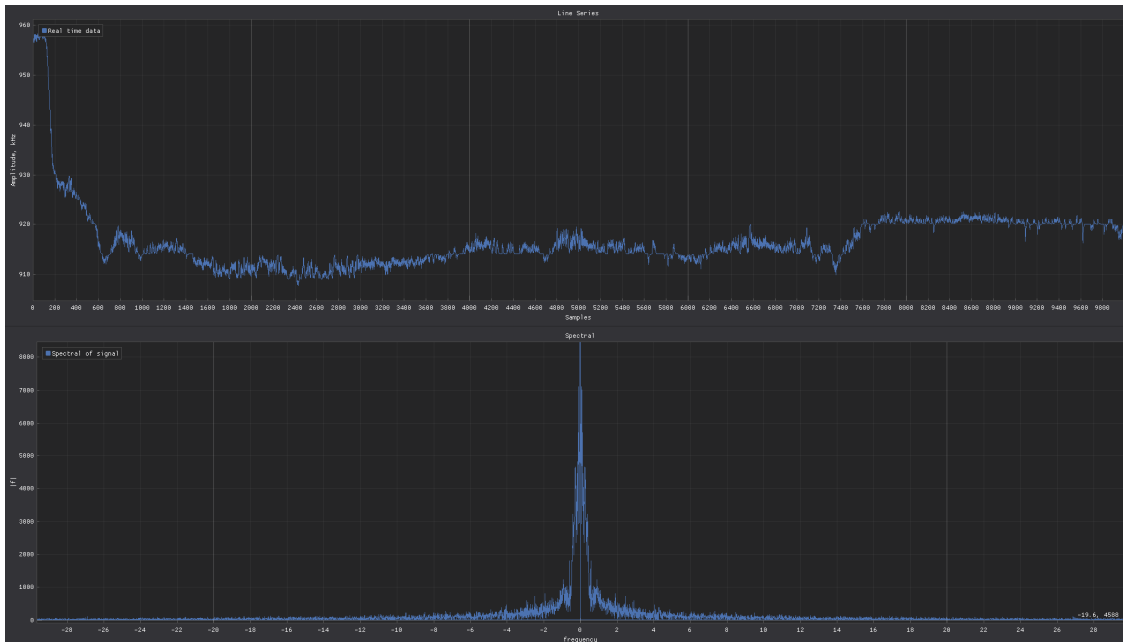


Рис. 4. Запись сигнала постурального тремора в норме

При сравнительном анализе спектров сигналов примечательно отмечается, что спектр сигнала, характеризующийся наличием патологического тремора, выделяется четко определенным пиком около 3 Гц. В контрасте, спектр сигнала без патологического тремора не про-

демонстрировал заметных пиков. Это дает основание для заключения, что анализ спектра сигнала может быть использован для диагностики патологического тремора.

Данное открытие служит основанием для проведения дальнейшего анализа данных с целью классификации треморограмм по основным критериям: наличие патологического состояния и соответствие физиологической норме. Помимо этого, предполагается дополнительная классификация по вторичным атрибутам, включающим частоту, амплитуду, стабильность частоты и наблюдаемую тенденцию (тренды), что позволит судить о конкретной этиологии тремора конкретного пациента.

Для этих целей необходимо выявление специфических паттернов, характерных для определенной этиологии тремора, таких как токсический тремор или тремор, ассоциирующийся с болезнью Паркинсона и другие дегенеративные состояния. Однако для проведения подобного анализа и выявления точных паттернов необходима коллекция обширного объема данных, накопление и обработка которых и является целью разработанного программного обеспечения.

Библиографический список

1. С.А. Новиков, М.Б. Никифоров. Анализ технической базы для определения и диагностирования тремора верхних конечностей человека. Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2021 [текст]: сб. тр. XXXIV Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец., 8-10 декабря 2021 г. / под общ. ред. В.И. Жулева. – Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2021. – 412 с., ил.
2. Shi, W. & Chiao, J.-C. (2018). Contactless hand tremor detector based on an inductive sensor. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*. 94. 10.1007/s10470-017-1055-7.
3. Olga V. Melnik, Mikhail B. Nikiforov, Sergey V. Novikov System for Non-contact Diagnostics of Tremor. *Proceedings of the 2023 International Conference on Systems and Technologies of the Digital HealthCare (STDH – 2023) October 4-6, 2023*, 167-170.

СЕКЦИЯ «СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ»

УДК 005.92; ГРНТИ 84.15.23

ПРОБЛЕМЫ БУМАЖНОГО И ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Д.А. Рубцова

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань*

Аннотация. В работе рассматриваются основные проблемы и последствия при ведении бумажного документооборота технической документации в организации. В статье представлен способ решения такой проблемы путем внедрения электронного документооборота. Также рассмотрены проблемы, с которыми можно столкнуться при переходе на электронный документооборот технической документации.

Ключевые слова: документооборот, автоматизация документооборота, техническая документация, информация.

PROBLEMS OF PAPER AND ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT TECHNICAL DOCUMENTATION

D.A. Rubtsova

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan*

The summary. The paper discusses the main problems and consequences of maintaining a paper document flow of technical documentation in an organization. The article presents a way to solve this problem by introducing electronic document management. The problems that can be encountered when switching to electronic document management of technical documentation are also considered.

Keywords: document management, document management automation, technical documentation, information.

Работа с документацией составляет основу всей управленческой деятельности и организация такой работы – важная часть процессов управления, которые существенно влияют на оперативность, эффективность и качество принимаемых решений.

В век современных информационных технологий становится ясно, что традиционные методы управления технической документацией не справляются с огромным объемом работы, который существует в настоящее время. Проблема работы с документами знакома практически каждому, независимо от сферы деятельности и занимаемой должности. Постоянные исправления и дополнения к документу, который приходится многократно перепечатывать, а затем собирать подписи всех ответственных лиц и передавать в обработку. Кроме того, в конце жизненного цикла документ необходимо хранить, и часто срок хранения достаточно большой, при этом он занимает место, которое можно было бы использовать с большей пользой. Поэтому традиционный (бумажный) документооборот заменяется электронным. Это связано с тем, что электронные документы в настоящее время становятся все более популярными благодаря сокращению времени, затрачиваемого на работу с ними, возможности удаленного ведения делопроизводства и, как следствие, сокращению бумажной волокиты [3,4].

При ведении бумажного документооборота в документационной деятельности различных организаций через некоторое время, как правило, возникают проблемы:

- потеря документации и, как следствие, информации;
- попадание документов и содержащейся в них информации третьей стороне;
- избыточность документооборота, большая потеря времени на обработку входящей и исходящей корреспонденции, внутренних документов и на ознакомление с документацией;

- большие временные затраты на подготовку и согласование документации, как следствие – низкая скорость обработки информации и медленная реакция на новые воздействия;
- противоречивость принимаемых решений и отсутствие возможности быстрой передачи исходной документации и информации должностным лицам, принимающим решения;
- невозможность установить историю работы с документацией;
- отсутствие контроля со стороны исполнителей, невозможность в короткие сроки довести поручения, вытекающие из резолюций до конкретных исполнителей;
- непроизводственные затраты рабочего времени на поиск необходимой технической документации;
- избыточные расходы на бумагу при создании нескольких копий одного и того же документа.

В результате бумажный документооборот включает в себя значительную часть избыточных документов и инстанций их рассмотрения, а принятые решения могут противоречить друг другу или дублироваться. Это приводит к фактической неуправляемости организации, что выражается в неспособности руководителей отследить прошлую и текущую деятельность отдельных отделов и исполнителей с документами, а также историю подготовки и рассмотрения конкретной документации. Для разрешения проблем в области делопроизводства некоторые руководители прибегают к использованию компьютерных технологий, но использование простых организационных решений лишь в минимальной степени соответствует уровню организационных задач. Например, часто используемый подход заключается в создании и поддержании разумной схемы расположения файлов на сервере в качестве механизма совместной работы, использовании электронной почты в качестве средства передачи документов и контроля исполнения. Практика показывает, что подобные меры работают только до определенного момента. Когда задачи, решаемые организацией, становятся все более сложными, ее размеры растут в масштабах, а возможности этих решений становятся недостаточными, организация снова приближается к информационно-управленческому хаосу.

Единственный способ решить подобные проблемы – автоматизировать документооборот организации путем внедрения электронного документооборота (ЭДО) [5]. В результате внедрения новых технологий, проблемы в организации не исчезают полностью, вместо них возникают новые, такие как:

- уязвимость электронной информации, несанкционированный доступ к конфиденциальной информации посторонних лиц;
 - вероятность потери цифровых данных из-за сбоев технического оборудования, проникновения в компьютерные сети вирусов, разрушающих систему или некомпетентных действий пользователей;
 - технические проблемы, такие как быстрая смена носителей, программ и способов передачи документации, которые препятствуют стабильности делопроизводственных процессов в управлении и использованию существующих документальных массивов;
 - высокая стоимость внедрения, которая требует дополнительных затрат на оборудование, приобретение лицензированного программного обеспечения, обучение персонала.
- Кроме того, возникают проблемы нормативного характера:
- отсутствие процедуры признания государственными органами и судами юридической силы электронных документов;
 - отсутствие официально признанных методик (стандартов) работы с электронными документами, которые обеспечивают признание их юридической силы;

– отсутствие методики экспертизы ценности электронных документов, передачи их на архивное хранение, уничтожение, работы с грифованными электронными документами и другие [2].

Таким образом, бумажный и электронный документооборот имеют свои как недостатки, так и преимущества. Традиционный документооборот имеет преимущество, связанное с бумагой как носителем информации, что важно при долговременном хранении информации с сохранением возможности восприятия. С другой стороны, необходимо использовать преимущества ЭДО при работе с копиями документов, подлинники которых существуют на бумажных носителях, поскольку в сфере управления основным требованием является оперативность, своевременность, быстрота получения и доведения информации и ее полнота. Для оперативного информационного обеспечения ЭДО имеет неоспоримые преимущества. Кроме того, внедрение ЭДО устраняет необходимость в использовании большого количества бумаги, поскольку техническая документация существует только в виде цифровой информации.

Несмотря на проблемы и сложности ЭДО, они носят условный характер и могут быть легко решены при грамотном подходе. Внедрение и использование технологических инноваций в профессиональной сфере требует от современных сотрудников высокого уровня компетентности, но позволяет улучшить качество их работы и увеличить скорость выполнения производственных задач. Поэтому, несмотря на большие затраты и необходимость адаптации персонала к новой системе, ЭДО во многих аспектах превосходит традиционный (бумажный) документооборот, например по скорости и точности выполнения операций и является более удобным. В ближайшем будущем ЭДО станет неотъемлемой частью делопроизводства в современных организациях, однако для эффективной организации документационного обеспечения управленческой деятельности в настоящий момент рекомендуется сочетать документы на бумажном и электронном, а при необходимости и на других носителях информации применительно к конкретным задачам [1].

Работа выполнена под руководством к.т.н. доцента Губарева А.В.

Библиографический список

1. Мещерякова К.И., Иванов Д.Р., Иванова И.Г. Сущность системы электронного документооборота // Экономика и бизнес, 2020. с. 38-39.
2. Чорна О.И. Могут ли электронные документы служить доказательством надлежаще выполненных обязательств // Делопроизводство. 2015. №1. с. 54-59.
3. Швырева А.В., Лопина М.В. Система электронного документооборота в российской федерации // Техника и безопасность объектов уголовно-исполнительной системы, 2016. с. 219-221.
4. Рубцова Д.А., Губарев А.В. Принципы и условия применения электронного документооборота технологической документации // Сб. тр. XXXVI Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец. «Биомедсистемы-2023». – Рязань: ИП Коня-хин (Book Jet), 2023. С. 58-61.
5. Назарцева А.А., Губарев А.В. Совершенствование процесса нормоконтроля технической документации посредством внедрения электронного документооборота // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. Сборник научных трудов 14-ой Международной научно-практической конференции. Курск: Юго-Западный государственный университет. 2019. С. 149-152.

УДК 616-71; ГРНТИ 76.13.01

УПРАВЛЕНИЕ РАЗРЕШИТЕЛЬНОЙ ДОКУМЕНТАЦИЕЙ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ

А.В. Губарев

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, gubarev.a.v@rsreu.ru

Аннотация. В работе рассматриваются основные этапы управления разрешительной документацией для медицинских изделий, такие как получение, применение, отмена, хранение и утилизация. Приведена нормативная документация, регламентирующая вопросы получения разрешительных документов.

Ключевые слова: разрешительный документ, регистрация документа, управление документацией, утилизация документа.

MANAGEMENT OF PERMITS FOR MEDICAL DEVICES

A.V. Gubarev

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, gubarev.a.v@rsreu.ru

The summary. The paper discusses the main stages of the management of permits for medical devices, such as receipt, application, cancellation, storage and disposal. The normative documentation regulating the issues of obtaining permits is provided.

Keywords: authorization document, document registration, document management, document disposal.

Управление документацией является одной из сложных процедур системы качества и заключается в получении, использовании, отмене, хранении и утилизации информации. Все перечисленные действия упорядочивает система документооборота организации, поэтому при разработке процедур управления разрешительной документацией медицинских изделий много внимания уделяется составу документации, ее движению и правилам ее обработки.

Для каждого разрешительного документа существует свой нормативный документ, который регулирует условия и требования его получения:

- а) информация о получении регистрационного удостоверения представлена в Постановлении Правительства РФ от 27.12.2012 №1416;
- б) особенности декларирования указаны в ТР/ТС 020/2011;
- в) заключение Минпромторга выдается в соответствии с Правилами выдачи заключения о подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 17 июля 2015 г. № 719.

Организация, желающая получить заключение должна иметь документы, соответствующие 3 критериям:

1 критерий – наличие специального инвестиционного контракта, заключенного с Российской Федерацией.

2 критерий – наличие Акта экспертизы Торгово-промышленной палаты РФ о соответствии производимой промышленной продукции требованиям, предусмотренным приложением к постановлению № 719 (далее – акт экспертизы ТПП РФ).

3 критерий – наличие Сертификата о происхождении товара или продукции, согласно которому РФ является страной происхождения товара/продукции (СТ 1).

г) европейский сертификат - CE сертификат и CE маркировка медицинского изделия, означают, что медицинское изделие соответствует регуляторным требованиям Европейского Союза. Регуляторные требования изложены в европейских регламентах:

- 1) ЕС IVDR 2017/746 – для изделий для *in vitro* диагностики (IVD);

2) ЕС MDR 2017/745 – для остальных медицинских изделий.

д) акт экспертизы на продукцию регулируется Приказом Торгово-промышленной палатой РФ «Об утверждении положения о порядке выдачи документов для целей подтверждения производства промышленной продукции на территории РФ» от 30 мая 2018 г. N 52;

е) сертификат об утверждении типа средств измерений (СИ) выдается только в том случае, если параметры СИ соответствуют характеристикам, прописанные в Федеральном законе РФ «Об обеспечении единства измерений»;

ж) условия получения Свидетельства на товарный знак указаны на сайте РОСПАТЕНТА «Федеральный институт промышленной собственности».

Рассмотрим условия регистрации разрешительной документации.

Международный стандарт ИСО 15489-1 является частью серии стандартов ИСО 15489 «Информация и документация. Управление документами» Международный стандарт ИСО 15489-1 содержит понятия и принципы создания, ввода в систему и управления документами. Данный стандарт является основополагающим и содержит дальнейшие руководства и инструкции в отношении основных концепций, технических приемов и практических методов создания, ввода в систему и управления документами.

В пункте 4 вышеуказанного стандарта указано, что документы, независимо от формы или структуры, являются подлинными доказательствами деятельности в том случае, когда они соответствуют характеристикам аутентичности, достоверности, целостности и пригодности для использования.

Также в данном стандарте прописываются положения ответственности управления документацией. Специалисты в данной области отвечают за аспекты управления документами, за обеспечение соблюдения требований к документации, все сотрудники являются ответственными за создание и сохранение точной и полной документации, отражающей их деятельность.

Необходимо проводить регулярный мониторинг используемой документации. Это необходимо для подтверждения того, что учитываются изменения в требованиях к документации и отслеживается актуальность ее содержания, поддерживается постоянное совершенствование управления документами. Проверяется актуальность и достоверность имеющихся документов.

В 9 пункте данного стандарта размещены условия получения, использования и хранения документации.

Процесс управления документацией имеет важную роль в работе любой организации. Управление входящими и исходящими документами в большинстве случаев начинается с процедуры регистрации.

Регистрация – это присвоение документу регистрационного номера и внесение данных о документе в регистрационно-учетную форму.

Из определения следует, что регистрация прежде всего придает юридическую силу документу, так как фиксирует факт его создания или получения. Пока документ не зарегистрирован, не получил своего номера, он считается неоформленным и можно сказать, что даже не существует.

Регистрация документа производится после его подписания или утверждения. Документы обычно нумеруются в пределах календарного года.

Регистрационный номер документа – цифровое или буквенно-цифровое обозначение, присваиваемое документу при его регистрации.

Регистрационный номер и дата регистрации документа проставляются на подлиннике документа от руки в реквизитах бланка и на копии с визами, которая остается в организации и подшивается в дело, в соответствии с номенклатурой дел. Первый экземпляр отправляется адресату.

Для фиксации информации о документах можно использовать следующие журналы:
 а) журнал регистрации документов собственности, сертификатов, лицензий и договоров (со сроком действия больше года). Шаблон шапки журнала представлен на рисунке 1;

№ п/п	Дата регистр.	Наименование документа с регистрац. номером и кратким содержанием	Получение документа			Передача документа на хранение			Примечание
			От кого поступил Подпись	Дата	Д-т Принял Подпись	Получил Подпись	Дата	Д-т пе- редал Под- пись	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Рис. 1. Шаблон шапки журнала

б) журнал регистрации доверенностей. Шаблон шапки данного журнала представлен на рисунке 3.

№ п/п	Дата регистра-ции	Срок действия дове-ренности	Кому выдана доверенность	Доверенность пе-редана в отдел №

Рис. 2. Шаблон шапки журнала

Форма и способ их заполнения организации регламентируют посредством методологических инструкций.

Далее рассмотрим условия хранения и утилизации разрешительной документации.

Порядок хранения и уничтожения документов в РФ регламентируют следующие законы и нормативные акты:

а) Федеральный закон от 22.10.2004 №125-ФЗ «Об архивном деле в Российской Федерации»;

б) перечень типовых управленческих документов, образующихся в деятельности организаций, с указанием сроков хранения от 06.10.2000;

в) основные правила работы архивов организации от 06.02.2002.

Согласно вышеуказанным документам, сроки хранения для различных документов делятся на кратковременные (до 10 лет) и долговременные (свыше 10 лет). При этом при определении сроков действуют следующие правила:

а) архивное хранение документов может осуществляться постоянно, до замены новым и до исчезновения надобности;

б) исчисление срока хранения осуществляется с 1 января года, следующего за годом окончания делопроизводства данного документа.

Конкретные сроки хранения для отдельных видов документов организация определены непосредственно в Перечне типовых управленческих документов. Например, сертификат соответствия, декларация о соответствии – 3 года, экспертное заключение – 5 лет, информация, связанная с финансированием (отчеты, сметы, инвестиционные планы и т.д.) - хранятся постоянно,

Несмотря на то, что в законе указан конкретный срок, документы организации хранятся постоянно. Это означает, что указанные документы, образовавшиеся в деятельности источников комплектования государственных или муниципальных архивов, подлежат передаче на постоянное хранение в эти архивы после истечения сроков их временного хранения в организациях. Срок хранения указанных документов в организациях, не являющихся источниками комплектования государственных или муниципальных архивов, не может быть менее десяти лет.

Федеральный закон, в свою очередь, определяет сроки хранения для отдельных видов документов, которые отсутствуют в Перечне. Например, согласно №125-ФЗ, проектная документация хранится 20 лет, научная - 15 лет, фотоматериалы – 5 лет.

В первую очередь, следует отметить, что уничтожению подлежат только те документы, срок действия которых уже истек. Ликвидация информации раньше времени влечет за собой административную, а в отдельных случаях - и уголовную ответственность.

Для уничтожения разрешительных документов для медицинских изделий создается специальная экспертная комиссия, в состав которой входят как члены самой организации, так и архивного учреждения. Проводится определенная процедура, комиссия проводит экспертизу ценности бумаг, отбирает документацию, подлежащую уничтожению, и составляет соответствующий акт.

В большинстве случаев документы, указанные в акте, утилизируются без согласования с органами Росархива. Но если имеется соответствующее указание органов исполнительной власти, бумаги направляются на рассмотрение в данную организацию.

По факту уничтожения документов также составляется акт, подтверждающий, что бумаги были утилизированы в полном объеме и с соблюдением правил безопасности и конфиденциальности.

Таким образом в данной статье были рассмотрены основные этапы управления разрешительной документацией медицинских изделий.

Библиографический список

1. Губарев А.В. Требования регламента MDR к безопасности и производительности медицинских изделий / С.В. Губарева, Е.А.Ефремова // : Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы - Биомедсистемы-2022. Сборник трудов XXXV Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Под общей редакцией В.И. Жулева. Рязань, 2022. С. 236-240.

2. ГОСТ Р ИСО 15489-1-2019 Национальный стандарт РФ «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Информация и документация. Управление документами. Часть 1». – Введ. 01.01.2020 Введен Взамен: ГОСТ Р ИСО 15489-1-2007– М.: Стандартиформ, 2019 – 19 с.– Текст: непосредственный.

УДК 65.018; ГРНТИ 84.01.75

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ

А.А. Рубцова

Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, aleksandrarubcova1304@gmail.com

Аннотация. В работе рассматриваются методы оценки результативности. Дана краткая характеристика каждого метода оценки результативности СМК и обоснована целесообразность их применения. Приводятся их основные особенности, достоинства и недостатки.

Ключевые слова: система менеджмента качества, СМК, результативность, методы.

METHODS OF PERFORMANCE ASSESSMENT

A.A. Rubtsova

Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, aleksandrarubcova1304@gmail.com

The summary. The paper discusses the methods of performance assessment. A brief description of each method of evaluating the effectiveness of QMS is given and the expediency of their application is justified. Their main features, advantages and disadvantages are given.

Keywords: quality management system, QMS, effectiveness, methods.

Оценка результативности системы менеджмента качества (СМК) осуществляется в ходе ее анализа на основе установленного обобщенного показателя результативности СМК изготовителя, характеризующего состояние СМК или ее отдельных процессов.

Существует большое количество методов оценки результативности СМК. Методики имеют разные показатели результативности, которые не позволяют перейти к единой методологии оценки результативности СМК организаций в целом. Несмотря на наличие единых требований к системам управления, в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001 руководство каждой организации самостоятельно решает, какие способы использовать для оценки и повышения результативности собственной системы менеджмента качества.

Оценку уровня выполнения показателей результативности процессов СМК осуществляет изготовитель по количественным и/или качественным признакам на основе листов оценки результативности СМК [2].

При проведении оценки результативности используются следующие методы обработки информации:

а) метод прямого счета (отношение планового и фактического значений показателя, выраженного в процентах);

б) качественный метод (фиксирование одного из состояний: выполнено или не выполнено);

в) балльный метод (вычитание из максимального значения штрафных баллов либо назначение определенного количества баллов за выполненную работу).

Общий подход к формированию методики количественной оценки результативности СМК и ее функционирования может быть представлен следующим образом:

а) оценка результативности СМК выражается некоторым коэффициентом (от 1 до 100; от 0 до 1);

б) значение коэффициента получается суммированием оценок критериев, которые могут быть ранжированы и иметь некоторый весовой коэффициент;

в) критерии определяются организацией в зависимости от способности охарактеризовать СМК;

г) оценка может быть представлена в виде некоторой абсолютной величины или как отношение к идеальным значениям коэффициентов (критериев) или базовому значению (за какой-то период).

Укрупненная схема решения задачи оценки результативности СМК с использованием метода анализа иерархий (МАИ) представлена на рисунке 1.

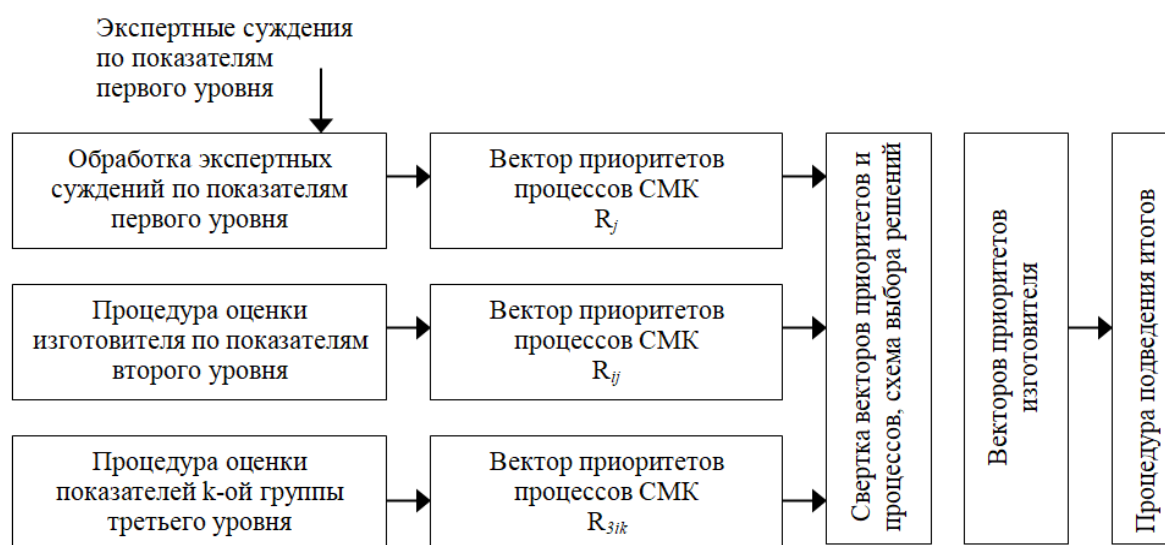


Рис. 1. Схема решения задачи оценки результативности СМК

В работе рассмотрены три метода оценки результативности по способу установки показателей, по которым осуществляется оценка:

- а) по реализации установленных требований;
- б) на основании конкретных показателей;
- в) по степени достижения целей («по целям»).

При оценке результативности по реализации установленных требований система считается результативной, когда все требования стандарта реализованы, то есть документально подтверждены, и система работает стабильно. Такая оценка применима на этапе создания системы, когда необходимо внедрить СМК. При этом для развитой системы этот метод является неэффективным, так как все требования уже реализованы. В этом методе показатели результативности заменяются показателями, используемыми при мониторинге СМК. Метод не отражает самой деятельности по процессам, но позволяет найти наиболее проблемные места в организации для развития системы [1].

Оценка результативности на основании конкретных показателей является удобной для оценки деятельности организации в целом. Этот метод устанавливает конкретные показатели результатов основных процессов в организации. Данный метод предполагает расчет интегрального показателя результативности, механизм которого устанавливается самой организацией.

Если все показатели результативности первого уровня результативны, то интегральный показатель результативности находится на достаточно высоком уровне. Если этот показатель принимает значения от 85 % до 95 %, то СМК признается достаточно результативной, то есть система работает вполне стабильно, но не все требования стандартов реализованы полностью. Если выполняется менее 84,9 % требований стандарта, то СМК признается нерезультативной и необходимо провести дополнительный анализ причин невыполнения требований стандартов [6].

Данный метод достаточно универсальный и применим для различных организаций. Расчеты при использовании данного метода являются трудоемкими, но дают довольно полную информацию о существующей системе.

Для оценки результативности СМК бывает достаточно второго метода, но он не всегда учитывает быстрое изменение внешней среды организации.

Оценка результативности по степени достижения цели позволяет более подробно развивать «проблемные» участки системы. Сущность данного подхода состоит в определении процессов СМК и соответствующих показателей, оценивании выделенных показателей с определенной периодичностью и получении комплексного показателя результативности.

Данный метод применяется в организациях с внедренной и развитой СМК. Деятельность основных процессов отражается в ежегодных целях организации. При данном методе высшее руководство внимательно изучает все процессы организации и устанавливает только те цели, которые приведут к улучшению деятельности организации. Все остальные показатели оцениваются владельцами процессов в рамках мониторинга и периодического анализа текущей деятельности. Оценка результативности в таком случае оценивается как степень достижения целей за исследуемый год. При этом цели могут реализовываться различными подразделениями, а общую оценку их достижений сводит служба качества и осуществляет руководитель организации или ответственный представитель руководства по СМК. Плюсом такого метода является акцентирование внимания, как на всех процессах, так и на проблемных, а также быстрая адаптация к изменяющимся внешним условиям. Ответственность за поддержание и текущий мониторинг деятельности при данном методе ложится на владельцев процессов и основных исполнителей. Данный метод позволяет сократить ресурсы на анализ итоговой информации, но увеличивает ответственность руководства за установку правильных целей (показателей результативности) [3, 4].

В российских организациях оценка результативности СМК чаще всего определяется как степень соответствия частных критериев результативности в баллах или как средневзвешенная оценка по определенным показателям и критериям, а также с учетом дополнительных требований стандартов по отраслям промышленности (например, ГОСТ РВ 15.002 для предприятий ОПК). Весовые коэффициенты частных критериев определяются методом экспертных оценок.

На основе экспертной оценки результативности СМК по выбранным показателям построен метод анализа иерархий, который уже упоминался выше. Этот метод признан одним из наиболее эффективных методов по оценки результативности системы менеджмента качества. Выбираемые в данном методе показатели включают в себя четыре взаимосвязанных уровня, на каждом из которых необходимо рассчитать весомость каждого критерия оценки, так как показатели результативности имеют разную степень влияния на значения итогового показателя.

Также существует следующее разделение методик оценки результативности СМК:

- а) анализ степени достижения установленных числовых значений показателей целей в области качества и/или всей деятельности организации;
- б) оценка результативности процессов СМК;
- в) оценка функционирования выделенных объектов, существенно важных для организации (качество продукции, технологическая дисциплина, удовлетворенность потребителей, результаты внутренних аудитов, метрологическое обеспечение, качество закупок, управление документацией, затраты на качество, качество испытаний);
- г) анализ работы структурных подразделений предприятия;
- д) анализ выполнения пунктов стандарта, содержащего требования к построению СМК и ее функционированию;
- е) информация о результатах внутреннего аудита [5].

Таким образом, выбор методов зависит от деятельности организации, целей анализа результативности и основных задач руководства. Для только внедряющихся систем рекомендуется применять метод оценки результативности по реализации установленных требований. Метод, основанный на определении конкретных показателей, применим для организаций с уже развитой системой управления. Он основывается на детальном анализе результатов процессов и рекомендован для организаций с прозрачной и установившейся системой производства. Метод «по целям» является наиболее быстрым и развивающим организацию, но он требует хорошей подготовки руководителей в части стратегического менеджмента и планирования.

Работа выполнена под руководством к.т.н. доцента Губарева А.В.

Библиографический список

1. Ерлыченкова А.С., Губарев А.В. Совершенствование системы менеджмента качества // Сб. тр. XXXIV Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец. «Биомедсистемы-2021». – Рязань: ИП Коняхин (Book Jet), 2021. С. 246-247
2. Бортникова, К.С. Обзор методов оценки результативности на примере СМК / К.С. Бортникова, Д. М. Спиридонов. // Физика. Технологии. Инновации: сборник статей VIII Международной молодежной научной конференции (Екатеринбург, 17–21 мая 2021 г.). – Екатеринбург: УрФУ, 2021. – С. 77-87.
3. Губарев А.В., Пименова А.В. Система менеджмента риска как инструмент совершенствования деятельности организации // Сб. тр. XXXII Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец. «Биомедсистемы-2019». – Рязань: ИП Коняхин (Book Jet), 2019. С. 311-313.
4. Назарова Д.И., Губарев А.В. Подходы к совершенствованию системы менеджмента качества на предприятии // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование. Сборник научных трудов 4-й Международной молодежной научно-практической конференции. В 3-х томах. 2017. С. 91-93.

5. Рычкова А.А., Воронов М.П. Методы оценки результативности в системах менеджмента качества // Научное обозрение. Экономические науки. – 2017. – № 4. – С. 83-90.
6. Рубцова А.А., Губарев А.В. Подходы к оценке результативности системы менеджмента качества // Сб. тр. XXXVI Всерос. науч.-техн. конф. студ., мол. ученых и спец. «Биомедсистемы-2023». – Рязань: ИП Коняхин (Book Jet), 2023. С. 55-58.

УДК: 658.5; ГРНТИ 84.01

ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКИ И УЧЕТА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

С.В. Губарева

*Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина,
Российская Федерация, Рязань, volkovasvetlan@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассматривается процесс разработки и учета технической документации. Представлены основные этапы данного процесса. Также внимание уделено процессу проведения нормоконтроля технической документации и анализу его результатов с помощью соответствующей базы данных.

Ключевые слова: база данных, нормоконтроль, разработка, техническая документация, учет.

THE PROCESS OF DEVELOPING AND ACCOUNTING FOR TECHNICAL DOCUMENTATION

S.V. Gubareva

*Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin,
Russia, Ryazan, volkovasvetlan@yandex.ru*

The summary. The paper considers the process of developing and accounting for technical documentation. The main stages of this process are presented. Attention is also paid to the process of conducting standard control of technical documentation and analyzing its results using the appropriate database.

Keywords: database, standard control, development, technical documentation, accounting.

Важным аспектом повышения уровня жизни является качество продукции, производимой предприятиями. Формирование качества начинается уже с этапа проектирования. Важным фактором в формировании качества продукции является качество сопроводительных документов. Однако под влиянием различных факторов техническая документация не всегда является точной, что часто приводит к некачественной продукции и финансовым потерям компании. В связи с этим регламентация процесса разработки и учета технической документации является одним из условий обеспечения ее качества.

Техническая документация (ТД) – совокупность документов, необходимая и достаточная для непосредственного использования на каждой стадии жизненного цикла продукции (конструкторская, технологическая, ТЗ и др.).

Техническая документация подразделяется на:

- исходную (заявка на разработку, рекомендации по разработке, аванпроект, ТЗ и т.п.),
- проектную,
- рабочую,
- информационную (каталоги, отчет о патентных исследованиях, экспертные заключения, акты и протоколы испытаний и др.).

Обобщенный маршрут разработки, согласования и утверждения технической документации (ТД) представлен в таблице 1.

Таблица 1. Обобщенный маршрут разработки, согласования и утверждения ТД

Действия	Исполнитель	Подразделение
Разработка	Разработчик документа	Подразделение разработчик
Проверка	Начальник сектора	Подразделение разработчик
Контроль применения ЭРИ	Контролер применения ЭРИ	Отдел применения ЭРИ
Контроль технологический	Технолог	Технологическое бюро
Утверждение	Начальник отдела	Подразделение разработчик
Метрологическая экспертиза	Эксперт-метролог	Отдел метрологии
Согласование	Главный конструктор изделия (виза)	
Контроль надежностный	Контролер по надежности	Служба надежности
Контроль унификационный	Контролер по унификации	Служба унификации
Нормоконтроль	Нормоконтролер	Служба нормоконтроля
Утверждение	Главный конструктор (зам. главного конструктора)	
Подготовка и сдача в БТД	Нормоконтролер	Служба нормоконтроля
Контроль и учет в БТД	Работник группы учета БТД	Служба БТД
Контроль и внесение в фонд подлинников	Работник фонда подлинников БТД	Служба БТД

Началом является получение задания (ТЗ) на конструирование (разработку конструктива продукции). Производится регистрация и учет ТЗ. Далее следует предварительный анализ ТЗ и принятие решения о передаче ТЗ в соответствующий сектор или бюро для выполнения по нему необходимых работ в соответствии с планом.

После этого ТЗ анализируют для оценки трудоемкости и передают для выполнения по нему соответствующих работ конструктору-разработчику и конструкторам-соисполнителям.

Далее проводится изучение технических требований, подбор необходимых информационных материалов и чертежей-прототипов, проведение предварительных компоновочных работ и необходимых расчетов; согласование полученных результатов с ведущим инженером-конструктором, начальником сектора (бюро), начальником отдела, с составителем ТЗ, принятие необходимых решений по замечаниям от вышеперечисленных лиц для их дальнейшего устранения.

Затем составляются и согласовываются с начальниками секторов (бюро) и начальником отдела исходные данные для индивидуального задания (ИЗ) на разработку и детальную проработку входящих узлов, и соответствующие ИЗ передаются конструкторам-соисполнителям (конструкторам-дизайнерам) в соответствующие сектора (бюро).

После этого осуществляется детальная проработка входящих узлов, происходит компоновка отдельных узлов и модулей, проработка дизайна изделия (при необходимости). Проводятся необходимые конструкторские расчеты. Разрабатываются рабочие чертежи и передаются конструктору-разработчику для анализа.

Далее следует провести проверку оригиналов рабочих чертежей, их анализ, увязка отдельных узлов и модулей между собой для получения единой законченной конструкции изделия. Конструктора-исполнители подписывают чертежи и передают их на проверку начальнику сектора (бюро), который проверяет оригиналы комплекта ТД на изделие и выдает соответствующие замечания конструкторам для доработки.

После анализа и устранения конструктором-разработчиком полученных от начальника сектора (бюро) замечаний чертежи подписываются начальником сектора (бюро) в графе "проверил".

Затем технологическое бюро производственного отдела проводит технологический контроль, выдает соответствующие замечания конструкторам для доработки. После анализа

и устранения замечаний, полученных от технологов, начальник технологического бюро производственного отдела подписывает ТД в графе "т. контр."

После этого эскизная ТД готова к использованию.

Если ТД не эскизная, то начальник конструкторского отдела проводит проверку оригиналов комплекта ТД на изделие, выдает соответствующие замечания конструкторам для доработки, после чего, если замечания устранены, подписывает чертежи в графе "утвердил".

Если разработанная ТД визируется заместителем руководителя договора по конструкторской части, то он производит проверку оригиналов комплекта ТД на изделие, выдает соответствующие замечания и после их устранения визирует ТД.

Затем проводится проверка ТД руководителем договора, и после устранения замечаний подписание ТД. После этого ТД передается на унификационный контроль. Служба унификации после устранения выявленных замечаний визирует ТД и передает ее на нормоконтроль.

После устранения конструктором-разработчиком выявленных при нормоконтроле замечаний нормоконтролер визирует ТД в графе "н. контр."

Затем ТД передаются на нормоконтроль.

Контролю со стороны специализированной функциональной службы НК подвергается как рабочая, так и проектная ТД следующих видов:

- конструкторская (КД);
- программная (ПД);
- технологическая (ТхлД);
- документы на АС (проектно-сметные и эксплуатационные);
- РУК;
- таблицы систематизации и унификации;
- стандарты предприятия;
- строительные документы;
- извещения об изменении вышеперечисленных документов.

После их проверки нормоконтролер выдает разработчику замечания, изложенные в предъявленном вместе с ТД листе «Замечания нормоконтролера».

После устранения ошибок и замечаний разработчик повторно предоставляет ТД нормоконтролеру, который визирует их на поле для подшивки, если им приняты замечания и качество оригиналов ТД соответствует нормативной документации.

Далее следует подписание разработанной ТД у заместителя главного конструктора — главного инженера, который проверяет оригиналы ТД. После устранения разработчиком замечаний, полученных от главного инженера, последний визирует ТД.

Перед окончательной сдачей ТД нормоконтролеру разработчик предъявляет их в службу унификации, сотрудник которой переносит с них необходимую информацию в базу данных и затем передает их нормоконтролеру, который подписывает ТД в основной надписи.

Затем оригиналы ТД передаются нормоконтролером в БТД для изготовления с них подлинников.

При получении из множительного бюро проверенных на качество подлинников, последние визируются сотрудником БТД на поле для подшивки и разработчиком в основной надписи, после чего принимаются на учет и хранение в соответствующие службы БТД.

Для учета и управления качеством ТД целесообразно использовать базу данных, вносить данные в которую могли бы все нормоконтролеры. При этом персонал должен пройти соответствующее обучение по работе с базой данных (ввод данных, их обработка, описание технической документации, поступающей на контроль).

Информация из базы данных со статистикой по результатам контроля может быть использована в интересах пользователей различных категорий для подготовки различного рода отчетов, отражающих качество и количество технической документации.

На основе сформированных отчетов осуществляется обработка статистических данных, рассчитываются показатели ошибок в технической документации. Также данные по ошибкам могут быть представлены и в графическом виде, что позволяет более наглядно представить структуру ошибок.

Эти данные и рекомендации нормоконтролеров данные на основе анализа статистических данных о качестве проверяемой технической документации целесообразно предоставлять представителю руководства по качеству, руководителям подразделений разработчиков и размещать на внутреннем сайте организации.

Библиографический список

1. Назарцева А.А., Губарев А.В. Совершенствование процесса нормоконтроля технической документации посредством внедрения электронного документооборота /А.А. Назарцева, А.В. Губарев // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. сборник научных трудов 14-ой Международной научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. 2019. С. 149-152.
2. Назарцева А.А., Губарев А.В. Совершенствование процесса нормоконтроля технической документации /А.А. Назарцева, А.В. Губарев // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование. сборник научных трудов 5-й Международной молодежной научно-практической конференции. 2018. С. 84-87.
3. Титкин К.А., Губарев А.В. Нормативное обеспечение процесса проектирования изделия /К.А. Титкин, А.В. Губарев// : Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы - Биомедсистемы-2020. Материалы XXXIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань, 2020. С. 178-180.

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИЯ О VII МЕЖДУНАРОДНОМ ФОРУМЕ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ» СТНО-2024».....	3
МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ».....	6
Секция «ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ».....	6
Васильев Е.П., Нгуен Д.Х. Алгоритм оптимизации микроволновых переключателей методом Пауэлла.....	6
Овчинников В.А., Ушенкин В.А. Программное обеспечение нейросетевых вычислений при обработке спутниковых данных.....	13
Кокунов А.А., Таганов А.И. Оптимизация надежности алгоритмических процессов.....	16
Таганов А.И., Кокунов А.А. Анализ системной концепции усовершенствования процессов предприятия в соответствии с моделью СММІ.....	21
Гришин Д.В. Использование преобразования вейвлета для сжатия изображений.....	30
Гусев С.И., Кузнецов Л.Л. Сравнительный анализ методов поляриметрической классификации объектов на радиолокационных изображениях.....	34
Бодров О.А., Поборуева М.С. Анализ характеристик трафика промышленного интернета вещей.....	39
Васильев Е.П., Климчук Н.В. Электродинамическое моделирование и исследование функциональных устройств РЭС летательных аппаратов.....	42
Васильев Е.П., Лыу Т.Д. Вероятностное моделирование селективных устройств методом ядерных оценок.....	45
Васильев Е.П., Лыу Т.Д. Алгоритм моделирования селективных устройств методом ядерных оценок.....	50
Елатников Н.В., Москвитин А.Э. Геометрическое высокоточное совмещение разновременных изображений от гидрометеорологических космических систем.....	55
Васильев Е.П., Нгуен Д.Х. Оптимизация переключателей с учетом интегральных критериев качества.....	57
Васильев Е.П., Нгуен Д.Х. Метод параметрического синтеза переключателей.....	64

Рябинин С.А. Использование преобразования вейвлета для декомпозиции изображений.....	68
Секция «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБОРО- И МАШИНОСТРОЕНИИ».....	71
Некрасов Н.Ж. Разработка автоматизированной системы учёта запасных частей промышленных станков...	71
Шишкин Д.М., Дятлов Р.Н. Автоматизация технологического процесса литейного производства.....	74
Буланов Д.Ю., Дятлов Р.Н. Использование SCADA-технологий в современных автоматизированных системах управления.....	78
Зеленков К.А., Тинина Е.В. Анализ автоматизированных систем ограничения допуска на предприятии.....	82
Сухарев Е.В., Сосулин Ю.А. Многофакторный анализ устойчивости инвестиционных проектов.....	87
Бочаров В.В. Автоматизированная информационная система подразделения предприятия.....	90
Розанельский М.С. Исследование слияния SCADA с IIOT (Industrial Internet of Things) для создания интегрированных и интеллектуальных промышленных систем.....	93
Дятлов Р.Н. Тепловые процессы на электродах при электроэрозионной обработке.....	97
Сморчков С.Г., Ленков М.В. Разработка системы автоматического управления котельной на базе ПЛК.....	102
Волобуев В.Д., Миловзоров О.В., Грибов Н.В. Разработка мини-САПР конструктивно-подобных корпусных деталей с использованием массивов в системе T-Flex CAD 3D.....	108
Грибов Н.В., Мичкидяев М.Ю., Миловзоров О.В. Применение технологических возможностей УЧПУ Siemens для упрощения программирования стандартных элементов детали.....	113
Фокин И.В., Романов И.Н. Универсальные системы дистанционного управления бытовыми приборами с использованием радиоволн.....	119
Володина А.В. Методы и средства автоматизации процессов перфорации металлических изделий.....	122
Немтинов К.В., Ерусланова М.А., Ерусланов К.А. Система поддержки проектно-технологических решений при проектировании посевных машин.....	124
Городничева Е.В., Сосулин Ю.А. Задачи планирования эксперимента при исследовании объектов с ограничениями на функцию отклика.....	127

Петина Я.А., Лашин В.А. Современные методы механической обработки корпусных заготовок.....	132
Кузьмина Е.М., Лашин В.А. Моделирование работы пассивного корректора дуги постоянного тока.....	137
Меркулов Ю.А., Ленков М.В. Оптимизация существующей транспортной системы на основе корректировки показателя эффективности.....	141
Меркулов Ю.А., Ленков М.В. Формирование и автоматизированная обработка массива данных для построения транспортных моделей.....	148
Меркулов Ю.А., Ленков М.В. Программная реализация поиска оптимальных параметров транспортной системы на микроуровне.....	153
Ястребцев Н.О., Сосулин Ю.А. Построение точных D-оптимальных экспериментальных планов.....	157
Фадеев Р.Н. Совершенствование систем управления технологическими процессами на основе прогнозирующих моделей.....	161
Белоусов Д.В., Грибов Н.В., Миловзоров О.В. Особенности модернизации станка плазменной резки с ЧПУ.....	165
Фокин И.В., Романов И.Н. Математическая модель преобразования сетевых адресов и отображения портов.....	168
Ермичёв А.О. Разработка основных узлов специального 3D принтера ОРТ ТЕХ МЕД для мобильного комплекса создания средств реабилитации травмированных конечностей человека (часть 1)	173
Ермичёв А.О., Ленков М.В., Романов И.Н. Разработка основных узлов специального 3D принтера ОРТ ТЕХ МЕД для мобильного комплекса создания средств реабилитации травмированных конечностей человека (часть 2)	178
Дерябин А.И., Ленков М.В. Решение практических задач на основе разработанного автоматизированного средства измерения диэлектрических свойств материалов.....	183
Урускин Н.Е., Ленков М.В. Разработка технологической модели автоматизированной системы анализа рабочих параметров радиоэлектронных компонентов с применением технологии 3D-печати.....	188
Секция «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ В ТЕХНИКЕ И МЕДИЦИНЕ».....	192
Даровских С.Н., Шонозаров П.М., Прокопов И.И. Модифицирующее действие магнитного поля с хаотическим изменением параметров вектора магнитной индукции на процесс кристаллизации поваренной соли из насыщенного раствора.....	192

Абрамов А.М. Моделирование модифицированного метода связанных гистограмм при метрологических испытаниях АЦП.....	198
Румянцев С.С. Измерение температуры воды методом импульсной рефлектометрии в диапазоне от 275 до 370 К.....	202
Степанов М.С., Каплан М.Б. Проектирование автономного устройства для магнитопунктуры.....	206
Мендакулов Ж.К. Сравнительный анализ геомагнитных вариаций и уточнение временных характеристик землетрясения.....	210
Мендакулов Ж.К. Анализ геомагнитных вариаций при землетрясении магнитудой $M=7.0$, произошедшего 22 января 2024 года.....	213
Гуржин С.Г., Шуляков А.В., Жулев В.И. Методика измерения длительностей кардиоинтервалов пульсовой волны при действии помех и артефактов в ходе сеанса магнитотерапии.....	216
Каплан М.Б. Электрическая модель измерителя тонуса мышц.....	222
Абрамов А.М. Современные аппаратные средства для проведения испытаний и аттестации измерительных каналов информационно-измерительных систем.....	226
Аникина О.В., Будылина П.С., Кожевникова М.С., Скрипкина Д.В. Тросовый радарный уровнемер нового поколения: особенности конструкции и перспективы развития.....	229
Новиков С.А. Аппаратно-программный комплекс для анализа параметров тремора верхних конечностей пациента.....	232
Секция «СТАНДАРТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ».....	238
Рубцова Д.А. Проблемы бумажного и электронного документооборота технической документации.....	238
Губарев А.В. Управление разрешительной документацией для медицинских изделий.....	241
Рубцова А.А. Методы оценки результативности.....	244
Губарева С.В. Процесс разработки и учета технической документации.....	248

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ**Научное издание****В 10 томах****Том 6**

Под общей редакцией О.В. Миловзорова.

Подписано в печать 15.06.24. Формат 60x84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

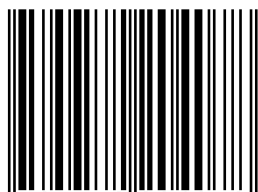
Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л..

Тираж 100 экз. Заказ №.

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Редакционно-издательский центр РГРТУ,
390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

ISBN 978-5-7722-0407-8



9 785772 204078 >